

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

# **ВІСНИК**

**Донбаської національної академії  
будівництва і архітектури**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

Видається з грудня 1995 року  
Виходить 8 разів на рік

**Випуск 2012-5(97)**

**БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ  
ТА СПОРУД: ПРОЕКТУВАННЯ,  
ВИГОТОВЛЕННЯ, РЕКОНСТРУКЦІЯ  
ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ**

Макіївка 2012

### **Засновник і видавець**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 9643  
видано 02 березня 2005 року Державним комітетом телебачення і радіомовлення України

Автори надрукованих матеріалів несуть відповідальність за вірогідність наведених відомостей, точність даних за цитованою літературою і за використання в статтях даних, що не підлягають відкритій публікації.

У випадку використання матеріалів посилання на «Вісник ДонНАБА» є обов'язковим.

Друкується за рішенням вченої ради  
Донбаської національної академії будівництва і архітектури  
Протокол № 2 від 29.10.2012

### **Редакційна колегія:**

Горохов Є. В., д. т. н., професор (головний редактор);  
Мущанов В. П., д. т. н., професор (відповідальний редактор);  
Калмиков Ю. Ю., к. т. н., доцент (відповідальний редактор випуску);  
Назим Я. В., к. т. н., доцент (відповідальний секретар випуску);  
Левін В. М., д. т. н., професор;  
Шевченко Є. В., д. т. н., професор;  
Югов А. М., д. т. н., професор;  
Кінаш Р. І., д. т. н., професор;  
Кулябко В. В., д. т. н., професор;  
Пічугін С. Ф., д. т. н., професор;  
Корсун В. І., д. т. н., професор;  
Завялов В. М., к. т. н., доцент;  
Роменський І. В., к. т. н., доцент.

Коректори Л. М. Лещенко, О. В. Гнєздилова  
Програмне забезпечення С. В. Гавенко  
Комп'ютерне верстання Є. А. Солодкова

Підписано до друку 26.11.2012 Формат 60х84 1/8. Папір багатофункціональний офісний.  
Друк різнографічний. Умов. друк. арк. 11.75 Тираж 300 прим. Заказ 251-12

### **Адреса редакції і видавця**

Україна, 86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури  
Телефони: (0622) 90-29-38; (0623) 22-20-51, (0623) 22-24-67  
Тел./факс: (0623) 22-06-16, E-mail: [vestnik@donnasa.edu.ua](mailto:vestnik@donnasa.edu.ua),  
[http://donnasa.edu.ua/ru/publishing\\_house/vestnik](http://donnasa.edu.ua/ru/publishing_house/vestnik)

Постановою Президії ВАК України від 27.05.2009 р. № 1-05/2 журнал внесено до переліку  
наукових фахових видань із технічних наук та архітектури

Надруковано у поліграфічному центрі ДонНАБА  
86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2

© Донбаська національна академія  
будівництва і архітектури, 2012

УДК 624.074

**В. Ф. МУЩАНОВ, М. П. КАЩЕНКО, Ю. В. СИВОКОНЬ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ МЕМБРАННОГО ПОКРЫТИЯ НА КВАДРАТНОМ ПЛАНЕ**

В статье обоснована целесообразность проведения экспериментальных исследований модели мембранного покрытия на квадратном плане. Рассмотрены достоинства и недостатки металла и пластика в экспериментальной модели. Выполнены экспериментальные исследования физико-механических свойств пластика (поливинилхлорида) с применением клея Cosmofen CA12. Вычислены значения масштабных коэффициентов для пластиковой модели. Проведен анализ численных испытаний исследуемого покрытия и модели из пластика.

**напряженно-деформированное состояние, модель мембранного покрытия, поливинилхлорид, диаграмма растяжения**

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Потеря устойчивости элементов конструкций часто происходит в упруго-пластической стадии деформирования. Поэтому актуальными являются вопросы разработки методики численного моделирования поведения систем в состояниях, близких к критическим и закритическим, с учетом геометрической нелинейности и реальных диаграмм деформирования материала. Для проверки результатов численного эксперимента и адекватности фактической конструкции математической модели сооружения (расчетной схемы) следует провести экспериментальные исследования на модели мембранного покрытия [8]. С помощью проведения экспериментальных исследований планируется уточнить установленные теоретически закономерности в изменениях напряженно-деформированного состояния опорного контура мембранного покрытия.

### **ЦЕЛЬ**

Разработать план и методику проведения экспериментальных исследований, определить физико-механические свойства пластика.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Твёрдый поливинилхлорид (ПВХ) представляет собой однородные листы с гладкой поверхностью, изготовленные методом экструзии, этот материал легко поддается механической обработке, сравнительно недорогой, благодаря чему он более удобен для использования при моделировании конструкций по сравнению со стальными моделями. Для соединения деталей, изготовленных из ПВХ, применяется клей Cosmofen CA12, который характеризуется быстрым временем схватывания и не требует применения дополнительных приспособлений, как например оборудования для сварочных работ при изготовлении стальных моделей конструкций. Для изготовления описанной крупномасштабной модели будет использоваться листовой ПВХ.

### **ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛА**

Для проведения экспериментальных исследований мембранного покрытия положительной гауссовой кривизны на квадратном плане планируется изготовить крупномасштабную модель с размерами полуосей покрытия  $a = b = 36$  м, начальная стрела провиса  $f = 1,6$  м, толщина мембраны  $t = 2$  мм. Начальную форму поверхности покрытия принимаем по формуле

$$z = f_0 \left( 1 - \frac{x^n}{a^n} \right) \left( 1 - \frac{y^n}{b^n} \right),$$

где  $a, b$  — половина сторон прямоугольного плана покрытия;  
 $f_0$  — начальная стрела провиса в центре покрытия;  
 $x, y$  — текущие координаты.

Для этого был испытан образец из листового пластика размерами  $0,3 \times 4,0$  см и длиной 65 см. Толщина листа, использованного для изготовления образца, 1 мм. Образец изготавливался послойным склеиванием клеем Cosmofem CA12.

В диапазоне напряжений до 5,0 МПа для пластика выполняется линейная зависимость между напряжениями и деформациями в пластике. Поэтому при  $\sigma < 5$  МПа материал можно применять для моделирования. При моделировании использован принцип прямого геометрического подобия с масштабным коэффициентом  $m_l = 1/50$ . Модуль упругости пластика  $E_{pl} = 2,26 \cdot 10^9$  Па, коэффициент Пуассона  $\mu_{pl} = 0,414$ .

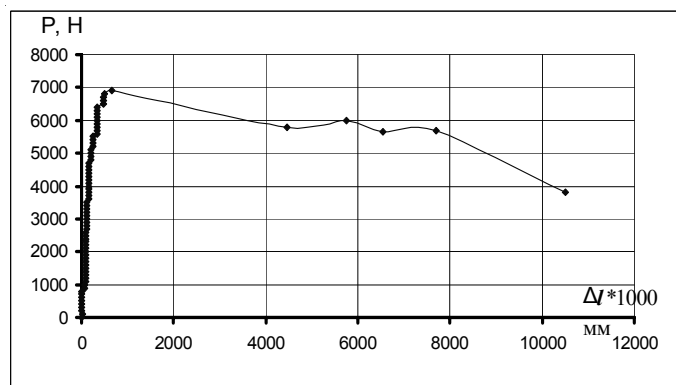


Рисунок 1 — Диаграмма растяжения пластика.

В дальнейшем предполагается уточнить поведение диаграммы растяжения пластика с учетом фактора длительности нагружения.

На рис. 2 представлено конструктивные решения модели и отдельных узлов с размерами в плане  $2a \times 2b = 1,44 \times 1,44$  м.

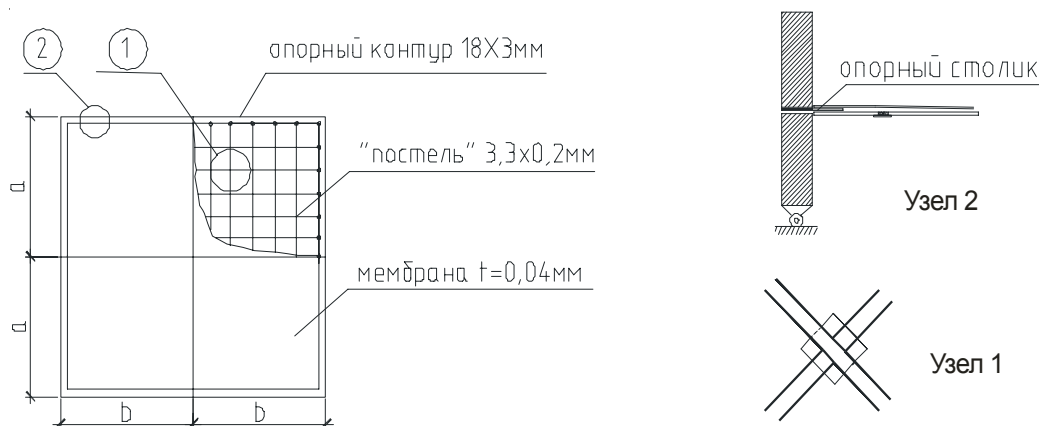


Рисунок 2 — Конструктивные решения модели и отдельных узлов.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приведены два варианта численного расчета исследуемого покрытия и модели из пластика. На рис. 3 показана расчетная схема исследуемого мембранного покрытия в масштабе 1:1 с размером в плане 72×72 м. В таблице 1 приведены показатели НДС исследуемого покрытия. Значения показателей были определены численными и аналитическими методами. Аналогично был проведен численный расчет для модели (табл. 2), где геометрический масштаб был принят 1:50 к натуре (рис. 4). Масштаб модели был выбран из условий размещения модели в испытательной лаборатории и расположения измерительных приборов. Учитывая, что при простом геометрическом подобии трудно смоделировать мембрану толщиной 0,04 мм, была предложена численная модель из пластика ПВХ с размерами в плане 1,44×1,44 м. Сравнение результатов расчета исследуемого покрытия и модели по SCAD показано в табл. 3.

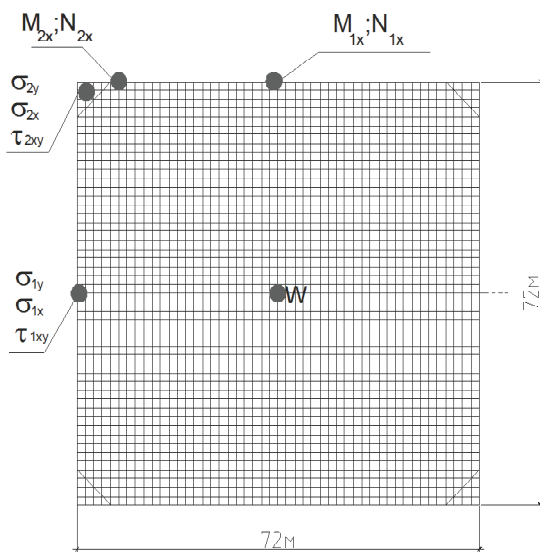


Рисунок 3 — Расчетная схема исследуемого покрытия М 1:1.

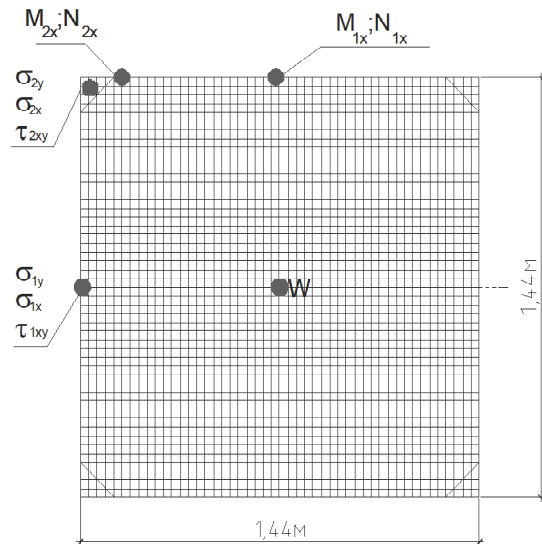


Рисунок 4 — Расчетная схема модели покрытия из пластика М 1:50.

Таблица 1 — Показатели НДС исследуемого покрытия (расчетная нагрузка  $q = 2,652 \text{ кН/м}^2$ )

Показатели НДС	Ед. измерения	Расчетные значения	
		SCAD	Аналит. методика
W	мм	–1 606	1 674
$\sigma_{\text{хmax}}$	МПа	501,7	$\sigma_{\text{max}} = 505$
$\sigma_{\text{ymax}}$	МПа	453,3	–
$\sigma_{1x}$ (пролет)	МПа	837,0	–
$\sigma_{1y}$ (пролет)	МПа	–966,7	–
$\tau_{1xy}$ (пролет)	МПа	61,5	–
$\sigma_{2x}$ (угл)	МПа	–65,7	–
$\sigma_{2y}$ (угл)	МПа	–115,5	–
$\tau_{2xy}$ (угл)	МПа	185,2	–
$N_1$	кН	11 661,6	17 723,4
$M_{1x}$	кН·м	172,5	726,2
$N_2$	кН	5 737,3	10 567,5
$M_{2x}$	кН·м	250,1	12 476,5
$u_x$	мм	143	286

**Таблица 2** – Показатели НДС модели покрытия из пластика (расчетная нагрузка  $q = 0,0315 \text{ кН/м}^2$ )

Показатели НДС	Ед. измерения	Расчетные значения	
		SCAD	Аналит. методика
W	мм	-32,3	-34,8
$\sigma_{x\max}$	МПа	4,95	$\sigma_{\max} = 5,85$
$\sigma_{y\max}$	МПа	4,90	–
$\sigma_{1X}$ (пролет)	МПа	8,0	–
$\sigma_{1y}$ (пролет)	МПа	-9,6	–
$\tau_{1XY}$ (пролет)	МПа	0,7	–
$\sigma_{2X}$ (угл)	МПа	-2,9	–
$\sigma_{2y}$ (угл)	МПа	-2,9	–
$\tau_{2XY}$ (угл)	МПа	2,0	–
$N_1$	кН	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$8,2 \cdot 10^{-2}$
$M_{1X}$	кН·м	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$
$N_2$	кН	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$
$M_{2X}$	кН·м	$0,14 \cdot 10^{-4}$	$11,56 \cdot 10^{-4}$
$u_x$	мм	2,9	6,0

**Таблица 3** – Сравнение результатов расчета исследуемого покрытия и модели по SCAD

Показатели НДС	Исследуемое покрытие	Модель пластиковая
$W$ , мм	-1 606	-32,3
$\sigma_{1X}$ (пролет) МПа	837,0	8,0*
$\sigma_{1y}$ (пролет) МПа	-966,7	-9,6*
$\tau_{1XY}$ (пролет) МПа	61,5	0,7
$\sigma_{2X}$ (угл) МПа	-65,7	-2,9
$\sigma_{2y}$ (угл) МПа	-115,5	-2,9
$\tau_{2XY}$ (угл) МПа	185,2	2,0

\* – напряжения, превышающие  $\sigma_{\text{упр}}$  для ПВХ пластика. Требуется проведение дополнительных уточняющих расчетов с учетом пластических деформаций ПВХ.

При сравнении результатов расчета для исследуемого покрытия и модели из пластика следует указать на полное совпадение их безразмерных параметров  $\bar{n} = (EI)_k / Et \cdot a^3 = 8,75 \cdot 10^{-5}$  и  $\bar{k} = (EF)_k / Et \cdot a = 1,75$ .

Учитывая геометрически нелинейный характер работы конструкции и сложность установления зависимостей НДС, обусловливаемых влиянием пространственно-жесткостных параметров опорного контура и пролетной части, при  $m_l = l' / l = 1/50 = 0,02$ ;  $m_E = E' / E = (2,26 \cdot 10^9 \text{ Па}) / (2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}) = 0,011$ ;  $m_q = m_E \cdot m_l = 0,011 \cdot 0,02 = 2,2 \cdot 10^{-4}$ .

Значения коэффициентов подобия по напряжениям и перемещениям приведены в таблице 4.

На рис. 5 показаны изополя вертикальных перемещений и нормальных напряжений на половине мембранного покрытия с указанием зоны потери устойчивости.

Коэффициент запаса устойчивости ( $K_{\text{уст}}$ ) исследуемого покрытия определялся из условия  $\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq \phi R$  для стали С390. В угловой зоне  $K_{\text{уст}}^{\text{угл}} = 1,29$  и в пролете опорного контура  $K_{\text{уст}}^{\text{прол}} = 0,77$  (потеря устойчивости ожидается в середине пролета опорного контура).

Конструкция покрытия, опорный контур, элементы «постели» будут выполнены из пластика ПВХ. Для измерения напряжений будет применен метод тензометрии, а прогибы и перемещения будут определяться с помощью индикаторов часового типа. Нагрузка будет прикладываться в виде пакетов с песком. Величина равномерно распределенной нагрузки составит соответственно для постоянной и временной нагрузок  $g = 0,0015 \text{ кН/м}^2$  и  $s = 0,03 \text{ кН/м}^2$ . Схема размещения измерительных приборов приведена на рис. 6.

Таблица 4 — Значение коэффициентов подобия

Коэффициенты подобия	$m_w$	$m_{\sigma_{1x}}^{пол}$	$m_{\sigma_{1y}}^{пол}$	$m_{\tau_{1xy}}^{пол}$	$m_{\sigma_{2x}}^{усл}$	$m_{\sigma_{2y}}^{усл}$	$m_{\tau_{2xy}}^{усл}$
Модель пластиковая М 1:50	0,020	0,010	0,010	0,011	0,044	0,025	0,011

где  $m_w = w' / w$  — коэффициент подобия по перемещениям,  
 $w'$  — перемещения в модели,  
 $w$  — перемещения в исследуемом покрытии;  
 $m_{\sigma} = \sigma' / \sigma$  — коэффициенты подобия по нормальным напряжениям,  
 $\sigma'$  — нормальные напряжения в модели,  
 $\sigma$  — нормальные напряжения в исследуемом покрытии;  
 $m_{\tau} = \tau' / \tau$  — коэффициенты подобия по касательным напряжениям,  
 $\tau'$  — касательные напряжения в модели;  
 $\tau$  — касательные напряжения в исследуемом покрытии.

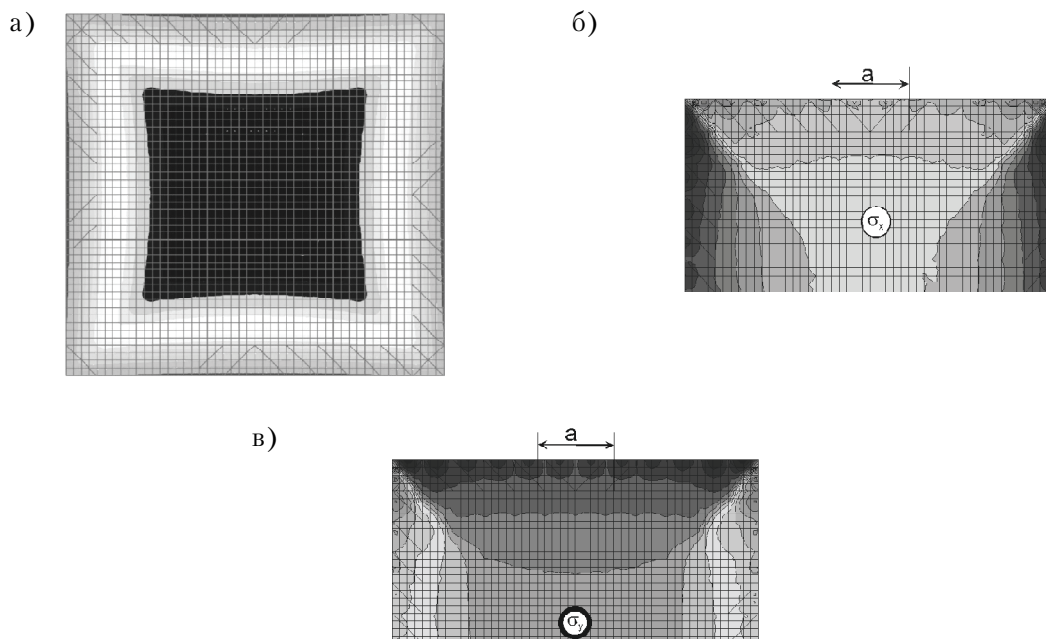


Рисунок 5 — Изополя: а) вертикальных перемещений; б) нормальных напряжений  $\sigma_x$  (вверху); в) нормальных напряжений  $\sigma_y$  (внизу).

## ВЫВОДЫ

1. Предложена расчетная и конструктивная схемы модели покрытия для проведения экспериментальных исследований на действие статической нагрузки, параметры которой должны обеспечить возможность изучения потери устойчивости сжато-изогнутого опорного контура в плоскости мембранного покрытия ( $K_{уст} = 0,77$ ).
2. Вычислены значения масштабных коэффициентов для модели из пластика, обеспечивающие переход от результатов испытаний модели к параметрам НДС реального покрытия.
3. На основании результатов численных исследований НДС модели выбрана схема расстановки и тип измерительных приборов для изучения потери устойчивости сжато-изогнутого опорного контура мембранного покрытия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлические конструкции [Текст] : Учебник для вузов / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников и др. — Москва : Стройиздат, 1986. —156 с.

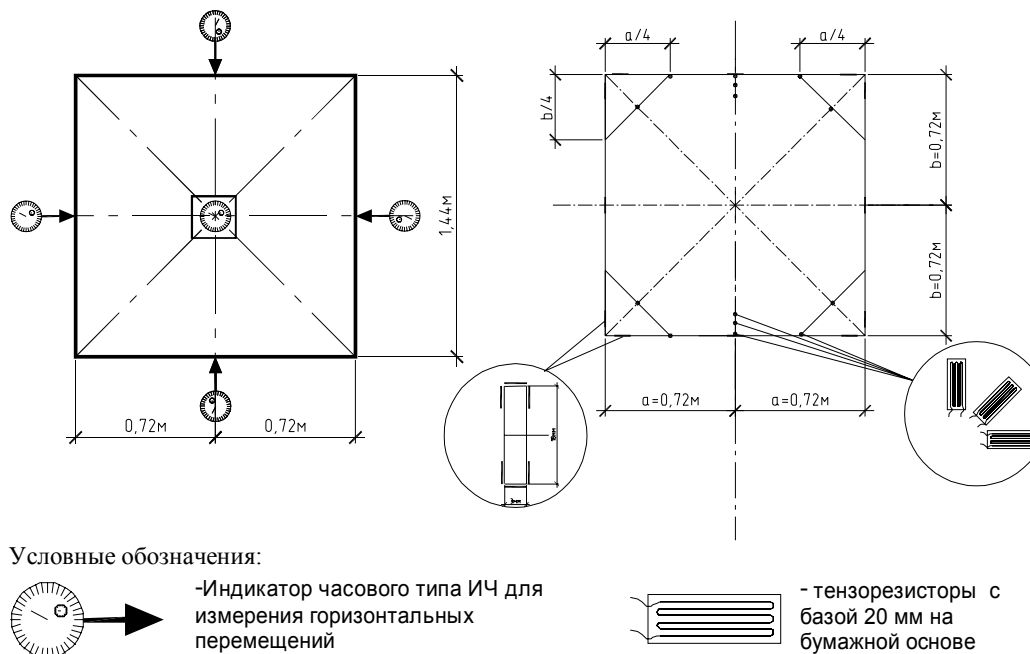


Рисунок 6 — Схема размещения измерительных приборов.

- ДБН В.2.6.-163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. — На заміну СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции», крім розділів 15\*—19; СНиП III-18-75 «Металлические конструкции», крім розділів 3—8; СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции» у частині, що стосується монтажу сталевих конструкцій, крім пп. 4.78—4.134 ; чинні від 2011-12-01. — К. : Мінрегіонбуд України, 2011. — 127 с.
- Поляков, Л. П. Моделирование строительных конструкций [Текст] / Л. П. Поляков, В. М. Файнбурд. — Киев : Будівельник, 1975. — 144 с.
- Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. Перельмутер, В. Сливкер. — Киев : ВВП «Компас», 2001. — 448 с.
- Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы) [Текст]. Справочник / Ю. А. Дыховичный, Э. З. Жуковский, В. В. Ермолов и др.; под ред. Ю. А. Дыховичного, Э. З. Жуковского. — М. : Высш. шк., 1991. — 543 с.
- Мембранные конструкции зданий и сооружений [Текст] : Справ. пособие : В 2 ч. Ч 1 / Под ред. В. И. Трофимова и П. Г. Еремеева; ЦНИИ строительных конструкций им. В. А. Кучеренко. — М. : Стройиздат, 1990. — 248 с.
- СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции [Текст]. — Взамен СНиП II-B.3-72., СНиП II-H-И.9-62, СН 376-67 ; введ. 1982-01-01. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1991. — 96 с.
- Сивоконь, Ю. В. Мембранные оболочки покрытий над трибунами стадионов с большими вырезами на эллиптическом плане [Текст] : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Сивоконь Ю. В. — Макеевка, 2007. — 21 с.

Получено 04.09.2012

# В. П. МУЦАНОВ, М. П. КАЩЕНКО, Ю. В. СИВОКОНЬ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ МЕМБРАННОГО ПОКРИТТЯ НА КВАДРАТНОМУ ПЛАНІ Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті обґрунтовано доцільність проведення експериментальних досліджень моделі мембранного покриття на квадратному плані. Розглянуто переваги і недоліки металу і пластика в експериментальній моделі. Виконано експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей пластику (полівінілхлориду) із застосуванням клею Cosmofen CA12. Отримані значення масштабних коефіцієнтів для пластикової моделі. Проведено аналіз чисельних випробувань покриття, що досліджується, та пластикової моделі.

**напружено-деформований стан, модель мембранного покриття, полівінілхлорид, діаграма розтягу**

VOLODYMYR MUSHCHANOV, MARGARITA KASHCHENKO, YULIA SYVOKON  
JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF EXPERIMENTAL MODEL OF  
MEMBRANE COVERING ON A SQUARE PLAN

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In the article the usefulness of experimental research model of membrane covering on a square plan has been proved. The advantages and disadvantages of metal and plastic in an experimental model have been given. Experimental studies of physical and mechanical properties of the plastic (PVC) using glue Cosmofen CA12 have been carried out. The values of the scale factor for the plastic model have been determined. The analysis of the numerical testing of the covering and plastic model have been given.

**stress-strain state, the model of membrane covering, PVC, tension diagram**

**Мушчанов Володимир Пилипович** — д. т. н., професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, проректор з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та міжнародної асоціації «Просторові конструкції», аудитор системи сертифікації УкрСЕПРО. Академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

**Кашченко Маргарита Павлівна** — асистент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: аналіз напружено-деформованого стану мембранного покриття на прямокутному плані і забезпечення стійкості опорного контуру з урахуванням спільної роботи з мембраною.

**Сивоконь Юлія Володимирівна** — к. т. н., доцент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування і дослідження напружено-деформованого стану мембранних оболонок.

**Мушчанов Владимир Филиппович** — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член международной организации «Институт гражданских инженеров» и международной организации «Пространственные конструкции», аудитор системы сертификации УкрСЕПРО. Академик Академии строительства Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

**Кашченко Маргарита Павловна** — ассистент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: анализ напряженно-деформированного состояния мембранного покрытия на прямоугольном плане и обеспечение устойчивости опорного контура с учетом совместной работы с мембраной.

**Сивоконь Юлия Владимировна** — к. т. н., доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование и исследование напряженно-деформированного состояния мембранных оболочек.

**Volodymyr Mushchanov** — DSc (Eng.), Professor; the Head of Theoretical and Applied Mechanics Department, vice-principal on the scientific work of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization «Institute of Civil Engineer» and international organization of «Spatial Structures», an auditor of certification UKRSEPRO system. The academician of the Engineering Academy in Ukraine. Scientific interests: the reliability theory, calculation, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

**Margarita Kashchenko** — assistant, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: analysis of the tensely-deformed state of membrane roofs on a rectangular plan and providing of stability of supporting contour taking into account joint work with a membrane.

**Yulia Syvokon** — PhD (Eng.), associate professor, Theoretical and Applied Mechanic Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing and research of the tensile-deformed membrane casing.

УДК 699.86.001.63

**Є. С. КОЛЕСНИК <sup>а</sup>, О. М. БІЛОУС <sup>б</sup>**

<sup>а</sup> Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», <sup>б</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури

## **МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ ҐРУНТ**

У статті наведено аналіз існуючих методик розрахунку теплопередачі через ґрунт, що визначені національним стандартом ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 та міжнародним стандартом EN ISO 13370:2007. На прикладі розрахункової моделі показано, що максимальна похибка при визначенні теплопередачі через конструкції підлог по ґрунту за вказаними методиками становить 20 %. На підставі проведеного аналізу визначені основні переваги та недоліки національної та міжнародної методологій та окреслені перспективи подальших досліджень.

**теплопередача через ґрунт, опір теплопередачі підлог по ґрунту, розрахункова модель**

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ**

У грудні 2010 року Верховна Рада України ратифікувала Договір Європейського Енергетичного співтовариства (ЕСТ), згідно з яким Україна стала учасником Договору та взяла на себе зобов'язання щодо виконання Директив Європейського Економічного Союзу з питань енергетики, енергозбереження та відновлювальних енергоресурсів. Щодо енергозбереження в будівлях існує Директива 2010/31/ЄС про енергетичні характеристики (енергетичне функціонування) будівель (EPBD) [1], згідно з якою серед інших вимог є необхідною розроблення та прийняття методології розрахунку енергоефективності будівель на національному рівні. Зараз Україна готує Закон про енергетичну ефективність житлових та громадських будівель [2], направлений на відображення вимог Директиви 2010/31/ЄС про енергетичні характеристики будівель (EPBD). Згідно з [1] енергетична ефективність будівель повинна визначатися на базі розрахункової або фактичної річної енергії на задоволення різноманітних потреб, пов'язаних з її типовим використанням у будинку. До вказаних потреб повинні бути віднесені потреби в енергії на опалення та охолодження для підтримання заданої температури, а також потреби в енергії на гаряче водопостачання.

До недавню відповідних постанов, які б підтримували впровадження проекту Закону [2] відносно методології розрахунку енергоефективності будівель, в Україні не було підготовлено. Існуючі методики щодо визначення показників енергоефективності будівель, які визначені нормативними документами [3, 4] враховують лише річні енергопотребы будівель на опалення і не беруть до уваги витрати енергії на охолодження та підготовку гарячої води.

У ЄС серед різноманітних існуючих стандартів розрахунку енергоефективності будівель Європейського Комітету по стандартизації центральне місце займає один стандарт, який пов'язує більшість стандартів в логічну послідовність етапів розрахунку — EN ISO 13790 [5]. Україна не пішла окремим шляхом і не стала розробляти самостійну методику, а прийняла національний стандарт ДСТУ Б EN ISO 13790 [6], що має ступінь відповідності ідентичний (IDT) до міжнародного стандарту [5].

Методика розрахунку енергоспоживання на опалення та охолодження, що визначена у [6], передбачає врахування теплопередачі трансмісією до ґрунту. Методичні підходи, що визначені у [6], по розрахунку вказаної характеристики обумовили основну **мету даної роботи**, що полягає в оцінці наведених у [6] методів розрахунку теплопередачі через ґрунт шляхом порівняння результатів розрахунків еталонної моделі з розрахунками за методами, визначеними у вітчизняних стандартах.

### **ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Методики розрахунку теплопередачі через ґрунт.

© Є. С. Колесник, О. М. Білоус, 2012

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Згідно з [6] розрахунок теплопередачі через ґрунт здійснюється згідно з EN ISO 13370 [7], що включає врахування віртуального шару нижче від конструкції підлоги та температуру, що змінюється протягом року, нижче від цього віртуального шару як граничні умови.

У [7] визначено, що теплопередача через ґрунт характеризується:

- тепловим потоком, що проходить через поверхню підлоги по ґрунту, залежно від конструкції підлоги;
- тепловим потоком, що проходить по периметру підлоги по ґрунту, залежно від типів теплопровідних включень на границі підлоги (враховується згідно з [9, 10]);
- річним періодичним тепловим потоком, що також проходить по периметру підлоги, який є результатом теплової інерції ґрунту.

Стандарт [7] надає три можливі типи конструкцій огорожень, що контактують із ґрунтом, для яких наведені розрахункові формули. Виділені:

- підлоги по ґрунту (рис. 1);

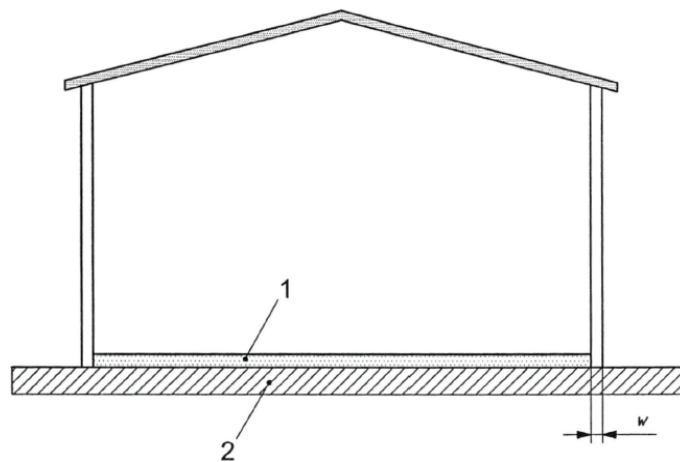


Рисунок 1 — Схема будинку з підлогою першого поверху по ґрунту.

- перекриття над вентиляльованими приміщеннями (рис. 2);

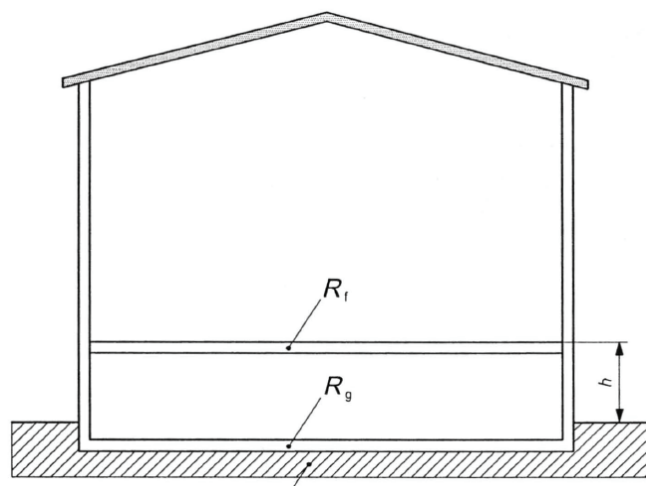


Рисунок 2 — Схема будинку з перекриттям над вентиляльованим приміщенням.

- підвали (рис. 3), що розглядаються як опалювальні, неопалювальні та частково опалювальні.

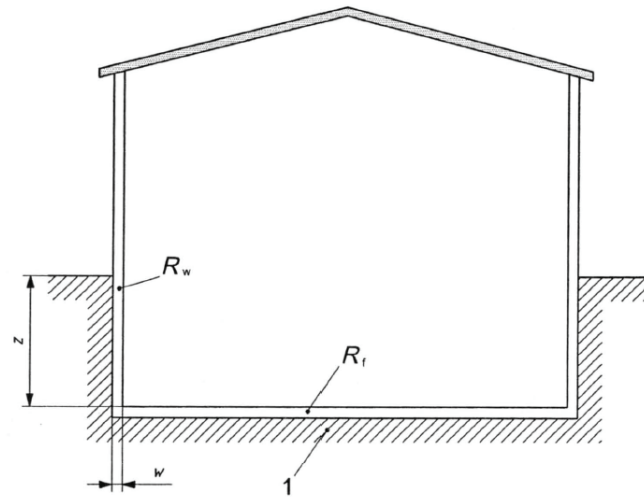


Рисунок 3 — Схема будинку з підвальним приміщенням.

В Україні для визначення теплопередачі через огороження, які контактують із ґрунтом, необхідно використовувати Стандарт [4]. Стандартом встановлено, що опір теплопередачі зазначених огорожень необхідно визначати за зонами шириною 2 м, паралельними зовнішнім стінам за формулою:

$$R_{\text{нцл}} = R_{\text{прц}} + \frac{\delta}{\lambda}, \quad (1)$$

де  $R_{\text{прц}}$  — опір теплопередачі, (м<sup>2</sup>·К)/Вт, що приймається рівним 2,1 для I зони, 4,3 — для другої зони, 8,6 — для третьої зони, 14,2 — для площі, що залишилась. Зони шириною 2 м починають намічати від лінії контакту стіни підвалу з ґрунтом вниз по стіні з переходом на підлогу підвалу. Зони визначаються послідовно від усього периметра контакту стін з ґрунтом в напрямку середини будинку;  
 $\delta$  — товщина теплоізолювального шару, м, при теплопровідності утеплювача  $\lambda < 1,2$  Вт/(м·К).

Для оцінки наведених у [4] та [7] методів розрахунку теплопередачі через ґрунт розроблено еталонну модель з наступними параметрами:

— розміри будівлі 10×10 м (рис. 4);

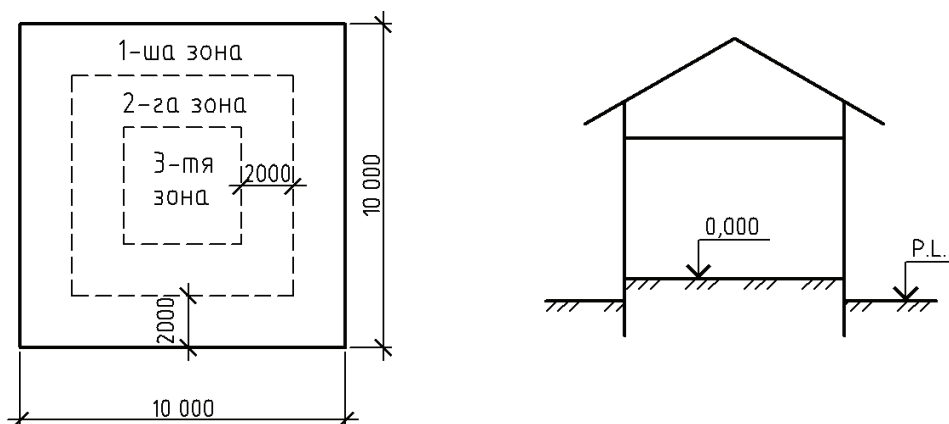


Рисунок 4 — Розрахункова схема еталонної будівлі.



— конструкція підлоги — залізобетонна плита ( $\delta = 150$  мм,  $\rho = 2\,400$  кг/м<sup>3</sup>), утеплювач — екструдований пінополістирол ( $\delta = 50$  мм,  $\lambda = 0,04$  Вт/(м·К)), цементно-піщана стяжка ( $\delta = 50$  мм,  $\rho = 1\,800$  кг/м<sup>3</sup>), шари покриття підлоги не взяті до уваги у зв'язку з тим, що величина їх опору теплопередачі близька до нуля;

— конструкція стін — цегляна кладка ( $\delta = 380$  мм,  $\rho = 1\,800$  кг/м<sup>3</sup>), утеплювач з мінеральної вати ( $\delta = 100$  мм,  $\lambda = 0,042$  Вт/(м·К)), решта шарів не взяті до уваги в зв'язку з тим, що величина їх опору теплопередачі близька до нуля;

— відмітка підлоги вище від планувальної відмітки ґрунта (рис. 4).

### РОЗРАХУНОК ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗГІДНО З EN ISO 13370 [7]

Теплопередачу розраховуємо залежно від теплоізоляції підлоги.

Коли  $d_t < B'$  (холодні або середньо утеплені підлоги)

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right). \quad (2)$$

Коли  $d_t \geq B'$  (добре утеплені підлоги)

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}, \quad (3)$$

де  $d_t$  — еквівалентна товщина підлоги по ґрунту, знаходиться за формулою (4);

$B'$  — площа підлоги, віднесена до напівпериметра:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (4)$$

де  $w$  — товщина зовнішніх огорожувальних конструкцій, у випадку, що розглядається, становить 0,48 м;

$\lambda$  — теплопровідність незамерзаючого ґрунту, обираємо значення для суглинку з таблиці G.1 EN ISO 13370 [7] рівним 1,5 Вт/(м·К);

$R_{si}$  — внутрішній поверхневий опір, згідно з EN ISO 6946 [8] дорівнює 0,17 м<sup>2</sup>К/Вт;

$R_f$  — термічний опір конструкції підлоги по ґрунту, визначається за формулою (5);

$R_{se}$  — зовнішній поверхневий опір, згідно з [8] дорівнює 0,04 м<sup>2</sup>К/Вт.

Термічний опір конструкції підлоги по ґрунту знаходимо за формулою:

$$R_f = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (5)$$

де  $\delta$  — товщина  $i$ -го шару конструкції підлоги, м;

$\lambda_i$  — теплопровідність  $i$ -го шару конструкції підлоги, Вт/(м·К).

Таким чином, згідно з формулою (5) отримуємо:

$$R_f = \frac{0,05}{0,58} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,15}{1,69} = 1,42 \text{ м}^2\text{К/Вт}.$$

Еквівалентна товщина згідно з формулою (4) дорівнюватиме:

$$d_t = 0,48 + 1,5(0,17 + 1,42 + 0,04) = 2,925.$$

Площа підлоги, віднесена до напівпериметра, буде дорівнюватиме  $100/(0,5 \cdot 40) = 5$ .

Порівнявши значення  $d_t = 2,925 < B' = 5$ , робимо висновок, що підлога еталонної будівлі відноситься до типу — середньо утеплена підлога. Подальший розрахунок теплопередачі ведемо згідно з формулою (2).

$$U = \frac{2 \cdot 1,5}{3,14 \cdot 5 + 2,925} \ln \left( \frac{3,14 \cdot 5}{2,925} + 1 \right) = 0,3 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

## РОЗРАХУНОК ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗГІДНО З ДСТУ-Н Б А.2.2-5 [4]

Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, що контактують із ґрунтом  $R_{n1}$ ,  $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , визначають згідно з СНиП 2.04.05 за зонами шириною 2 м, паралельними зовнішнім стінам за формулою (1). Термічний опір конструкції підлоги знаходиться за формулою (5).

Таким чином, для 1-ї зони  $R_{n1} = 2,1 + 1,34 = 3,44 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ;

2-ї зони  $R_{n2} = 4,3 + 1,34 = 5,64 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ;

3-ї зони  $R_{n3} = 8,6 + 1,34 = 9,94 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ .

Приведене значення опору теплопередачі підлоги по ґрунту,  $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , буде дорівнюватиме:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum \frac{F_i}{R_{ni}}} = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{\frac{F_1}{R_{n1}} + \frac{F_2}{R_{n2}} + \frac{F_3}{R_{n3}}}, \quad (6)$$

де  $F_1, F_2, F_3$  — площі зон відповідно,  $\text{м}^2$ .

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{100}{\frac{64}{3,44} + \frac{32}{5,64} + \frac{4}{9,94}} = 4,05 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}.$$

Теплопередача є зворотною величиною опору теплопередачі, тобто

$$U = 1 / R_{\Sigma \text{пр}} = 1 / 4,05 = 0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}).$$

Максимальна різниця між двома методиками знаходження теплопередачі дорівнює:

$$((0,30 - 0,25) / 0,25) \cdot 100 = 20 \text{ \%}.$$

## ВИСНОВКИ

Проведена оцінка показала, що існуюча в Україні методика оцінки теплопередачі через ґрунт дає відносно невелику похибку у порівнянні з методами, визначеними у міжнародних стандартах. Цей факт показує, що при розрахунках енергоспоживання на опалення та охолодження згідно з [6] в частині визначення теплопередачі через ґрунт можливо використовувати національну методологію, а не міжнародну методику згідно з [7]. Водночас, поряд з тим, що національна методологія є «простішою», з точки зору розуміння, та консервативною, однак має один суттєвий недолік — відсутність можливості алгоритмізувати процес розрахунку через необхідність розбиття площі огорожень, що контактують із ґрунтом на зони, яка може мати безліч варіантів виконання. Поряд із цим методика міжнародних стандартів дозволяє алгоритмізувати процес розрахунку теплопередачі через ґрунт, що, при досить трудомістких розрахунках згідно з [6], має велику перевагу при розробленні та застосуванні програмного комплексу для розрахунків загального енергоспоживання на опалення та охолодження та визначення показників енергоефективності будинку.

Таким чином, на національному рівні повинно бути вирішено, чи застосовувати визначену європейськими документами методику розрахунку теплопередачі через ґрунт, чи використовувати вітчизняну методологію. Таке рішення необхідно прийняти після оцінки усіх методів розрахунку для визначених стандартом [7] типів конструкцій огорожень, що контактують із ґрунтом. Відповідна оцінка є предметом подальших досліджень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings [Електронний ресурс] / The European Parliament and the Council of the European Union // Official Journal of the European Union. — 2010. — 18.6. — P. L 153/13—L 153/35. — Режим доступу : <http://www.energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf>.
2. Про енергоефективність [Електронний ресурс] : проект Закону України : Номер реєстрації 5016 від 23.07.2009 / Ініціатори законопроекту: С. М. Тітенко, С. В. Пашинський, О. Ф. Дубовий, Є. П. Шаго, В. С. Олійник, Є. В. Мармазов // Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. — 14 с. — Режим доступу : [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb\\_n/webproc4\\_1?pf3511=35895](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb_n/webproc4_1?pf3511=35895).
3. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. — На заміну СНиП II-3-79 ; чинний від 2007-04-01. — К. : Мінбуд України, 2006. — 64 с. — (Державні будівельні норми України).

4. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції [Текст]. — Уведено вперше ; чинний від 2008-07-01. — К. : Мінрегіонбуд України, 2008. — 44 с. — (Державний стандарт України).
5. EN ISO 13790:2008. Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling [Текст]. — Brussels : CEN, 2008. — 162 p.
6. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні [Текст]. — На заміну ГОСТ 26629-85 ; чинний з 01.01.2013. — К. : НДІБК, 2011. — 229 с. — (Державний стандарт України).
7. EN ISO 13370:2007. Thermal performance of buildings — Heat transfer via the ground — Calculation methods [Текст]. — Brussels : CEN, 2007. — 48 p.
8. EN ISO 6946:2007. Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method [Текст]. — Brussels : CEN, 2007. — 34 p.
9. EN ISO 14683:2007. Thermal bridges in building constructions — Linear thermal transmittance — Simplified methods and default values [Текст]. — Brussels : CEN, 2007. — 28 p.
10. ISO 13789:2007. Thermal performance of buildings — transmission and ventilation heat transfer coefficient — Calculation methods [Текст]. — Brussels : CEN, 2007. — 18 p.

Отримано 07.10.2012

Е. С. КОЛЕСНИК <sup>a</sup>, А. Н. БЕЛОУС <sup>b</sup>  
МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ГРУНТ

<sup>a</sup> Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт строительных конструкций», <sup>b</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

В статье приведен анализ существующих методик расчета теплопередачи через грунт, определенных национальным стандартом ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 и международным стандартом EN ISO 13370:2007. На примере расчетной модели показано, что максимальная погрешность при определении теплопередачи через конструкции полов по грунту согласно указанных методик составляет 20 %. В соответствии с проведенным анализом определены основные преимущества и недостатки национальной и международной методологии и очерчены перспективы дальнейших исследований.  
**теплопередача через грунт, сопротивление теплопередачи полов по грунту, расчетная модель**

IEVGEN KOLESNYK <sup>a</sup>, ALEKSEY BELOUS <sup>b</sup>  
METHODS FOR CALCULATION HEAT TRANSFER VIA THE GROUND

<sup>a</sup> The State Enterprise «Research Institute of Building Constructions», <sup>b</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper contains an analysis of the existing methods for calculation of heat transfer via the ground which are defined in national standard ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 and in international standard EN ISO 13370:2007. On the example of the calculation model, it is shown that maximum error in the determination of the heat transfer through the slab-on-ground floors in accordance to the specified procedures is 20 %. According to an analysis, the advantages and disadvantages of national and international methodology have been made and the prospects for further research have been outlined.

**heat transfer via the ground, thermal resistance of the slab-on-ground floor, calculation model**

**Колесник Євген Сергійович** — науковий співробітник відділу будівельної фізики та ресурсозбереження Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». Наукові інтереси: розробка державних будівельних норм та стандартів, проведення комплексних експериментальних досліджень, розробка методик розрахункової оцінки теплотехнічних параметрів зовнішніх огорожувальних конструкцій та енергетичних параметрів будівель в цілому.

**Білоус Олексій Миколайович** — доцент кафедри архітектури промислових та цивільних будівель Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток методики випробувань конструктивних елементів будівель; участь в розробці будівельних норм проектування.

**Колесник Евгений Сергеевич** — научный сотрудник отдела строительной физики и ресурсосбережения Государственного предприятия «Научно-исследовательский институт строительных конструкций». Научные интересы: разработка государственных строительных норм и стандартов, проведение комплексных экспериментальных исследований, разработка методик расчетной оценки теплотехнических параметров наружных ограждающих конструкций и энергетических параметров зданий в целом.

**Белоус Алексей Николаевич** — доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие методики испытаний конструктивных элементов зданий; участие в разработке строительных норм проектирования.

**Ievgen Kolesnyk** — the researcher of Buildings Physics and Resources Saving Department of the State Enterprise «Research Institute of Building Constructions». Scientific interests: development of state buildings codes and standards, conduction of complex experimental researchers, development of techniques of thermal parameters outdoor constructions' estimation and of building's energy performance in general.

**Aleksey Belous** — lecturer, Architecture of Industrial and Civil Building and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of method of tests of structural elements of buildings; participating in development of building norms of planning.

УДК 624.95:620.193

**С. Б. ПЧЕЛЬНИКОВ, Е. А. КРИВЕНКО, Р. Б. НИКИТИН**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА НА СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

В данной статье рассматривается взаимосвязь степени и скорости коррозионного износа элементов резервуара на срок его службы путем оценки изменения НДС во времени. Определяются зависимости, описывающие изменение НДС от величины коррозионного износа и от остаточной толщины стенки. Представленный в работе подход позволяет прогнозировать срок эксплуатации резервуара в соответствии с приведенной стратегией обслуживания.

**резервуар, напряжения, НДС, эксплуатация, коррозионный износ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Интенсивное расширение резервуарного парка Украины происходило в период с 1960 по 1990 г.г. Но в последующие годы темпы строительства в значительной мере снизились. На сегодняшний день около 74 % стальных резервуаров находится в эксплуатации более 20 лет (это нормативный срок службы), около 40 % более 30 лет. Вопрос обслуживания таких объектов выходит на первое место при обеспечении их надежной эксплуатации, т. к. старение резервуарного парка приводит к увеличению эксплуатационных затрат и к снижению общего уровня надежности.

В процессе эксплуатации в стальных резервуарах, используемых для хранения нефти и нефтепродуктов, накапливаются повреждения, которые снижают надежность резервуара. Интенсивность и характер физического износа нефтяных резервуаров зависит, прежде всего, от следующих факторов:

- коррозионная активность хранимого продукта;
- частота заполнений резервуара нефтепродуктом;
- температура окружающей среды (в основном, влияние оказывают низкие зимние температуры);
- грунтовые условия.

Наиболее распространенным видом износа нефтяных резервуаров является коррозия. Скорость и характер коррозии может изменяться в широком диапазоне в зависимости от вида хранимого продукта, условий контакта поверхностей конструктивных элементов с коррозионной средой, частотой нагружений резервуара и др. В данной работе рассматривается лишь равномерный коррозионный износ цилиндрической стенки резервуара.

Для определения мероприятий по обслуживанию и эксплуатации резервуаров необходимо знать законы изменения основных характеристик напряженно-деформированного состояния в зависимости от коррозионного износа резервуара, как наиболее распространенного и опасного фактора физического износа, и их граничные значения. Зная эти величины, можно прогнозировать как время и состав мероприятий, так и возможные риски вследствие отсутствия проведения мероприятий.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Для решения задачи был выбран типовой стальной вертикальный цилиндрический резервуар объемом 1 000 м<sup>3</sup>, выполненный из малоуглеродистой стали с расчетным сопротивлением 240 МПа. Высота данного резервуара составляет 12 м, диаметр — 10,4 м. Исследуемая цилиндрическая стенка состоит из шести поясов шириной по 2 м каждый.

Основными эксплуатационными нагрузками являются гидростатическое давление хранимого нефтепродукта и избыточное давление паров в газовом пространстве резервуара. Указанные нагрузки приводят к возникновению в большей части стенки растягивающих напряжений. Способность восприятия рассмотренных нагрузок обеспечивается прочностью поясов цилиндрической стенки.

При отсутствии в резервуаре нефтепродукта опасными для стенки становятся нагрузки, вызывающие возникновение в ней напряжений сжатия. В меридиональном направлении это нагрузки от собственного веса конструкций и оборудования, установленного на крыше, снеговая нагрузка и вакуум, который может образоваться в газовом пространстве резервуара. В радиальном направлении это ветровая нагрузка и тот же вакуум. Сопrotивляемость указанным нагрузкам обеспечивается устойчивостью цилиндрической стенки.

Был произведен расчет толщины стенки, на вышеизложенные комбинации нагрузок, по прочности и по устойчивости. Также были учтены конструктивные требования норм, предъявляемые к данному резервуару. Данные расчетов и требования норм приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Определение толщины стенки

Критерий	Нормативные требования	Значение	Ед. изм.
Обеспечение прочности	$t \geq \frac{n_1 H \gamma + n_2 p}{\gamma_c R_{\text{изу}}} \cdot r$	2,9	мм
Обеспечение устойчивости	$\frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{кр1}}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{\text{кр2}}} \leq \gamma_c$	3,8	мм
Конструктивные требования	Табл. 5 [1] при $D \leq 15$ м	5	мм

Так как наиболее распространенным видом износа является коррозия, скорость и характер которой меняется в зависимости от хранимого продукта, условий контакта поверхностей конструктивных элементов с коррозионной средой, частотой нагружений резервуара, проводилось зонирование с учетом коррозионного воздействия (рис. 1).

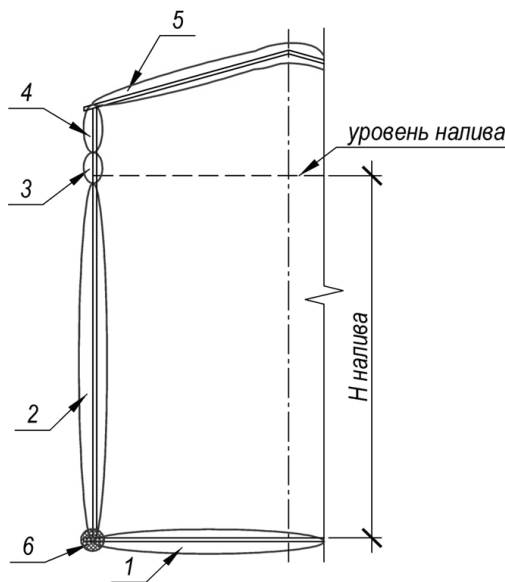


Рисунок 1 — Зонирование с учетом коррозионного воздействия: 1 — зона коррозии дна при взаимодействии с хранимым продуктом, осадком от хранимого продукта, осевшими продуктами коррозии от расположенных выше конструкций; 2 — зона коррозии стенки при взаимодействии с хранимым продуктом; 3 — зона коррозии стенки с периодичным смачиванием; 4 — зона коррозии стенки в паровоздушной среде; 5 — зона коррозии элементов крыши в паровоздушной среде; 6 — зона уторного узла.

Расчет должен производиться с учетом различных скоростей коррозии по отдельным зонам, что значительно усложняет моделирование процесса коррозионного износа. Как один из вариантов решения данной проблемы, можно моделировать лишь равномерный коррозионный износ, а различные скорости развития данного процесса по зонам учитывать поправочными коэффициентами.

Для определения показателей НДС стенки резервуара производилось моделирование данного резервуара в проектно-вычислительном комплексе SCAD (рис. 3а) и в расчетном комплексе Lira (рис. 3б). Расчетная схема представлена на рисунке 2.

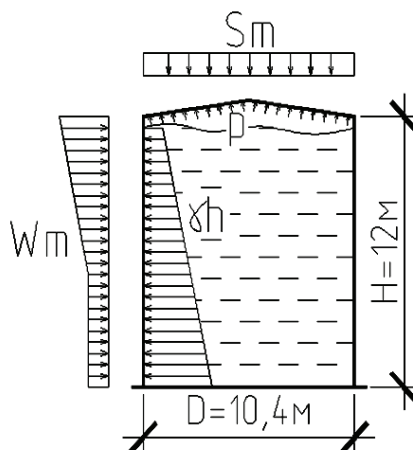


Рисунок 2 — Расчетная схема резервуара.

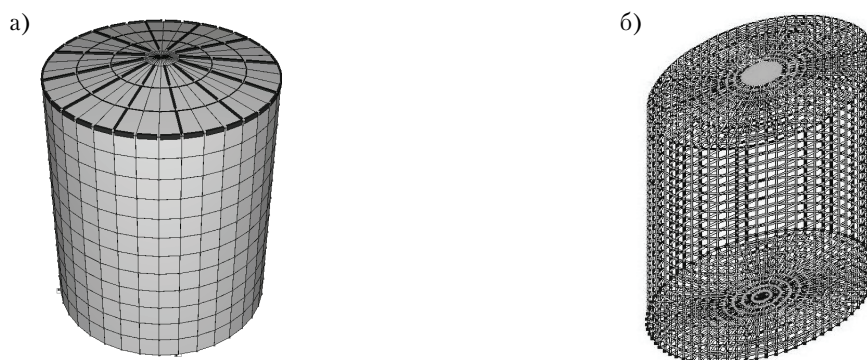


Рисунок 3 — Расчетные модели резервуаров: а — расчетная модель резервуара в среде SCAD; б — расчетная модель резервуара в среде Lira.

Учитывалось, что при равномерном коррозионном износе цилиндрической стенки происходит потеря определенной части толщины стенки ( $\Delta t$ , мм). Был построен ряд моделей в SCADe и Lire с разной толщиной стенки с учетом равномерного коррозионного износа всей стенки, т. е. без перепада значений по различным поясам для одной модели.

В результате расчета были получены поля напряжений (меридиональных, кольцевых и касательных) в элементах стенки (рис. 4), которые в дальнейшем были использованы при определении характера зависимость напряженно-деформированного состояния резервуара от величины коррозионного износа оценкой по приведенным напряжениям:

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 + 3\tau^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_1$  — меридиональные напряжения;  
 $\sigma_2$  — кольцевые напряжения;  
 $\tau$  — касательные напряжения.

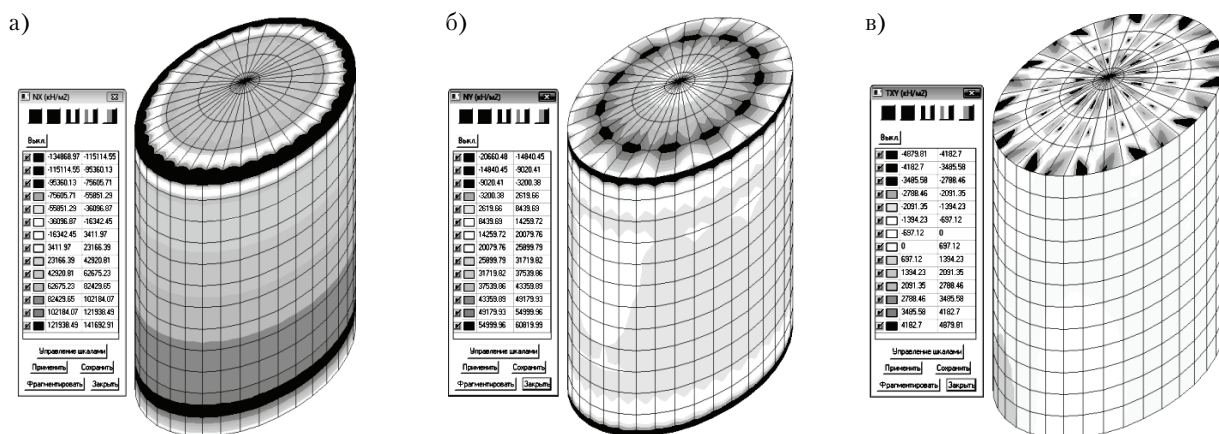


Рисунок 4 — Поля напряжений от расчетного сочетания нагрузок: а — кольцевые напряжения; б — меридиональные напряжения; в — касательные напряжения.

На рисунке 5 представлен график зависимости приведенных напряжений  $\sigma_{np}$  от остаточной толщины стенки  $t$  для всех поясов рассматриваемого резервуара.

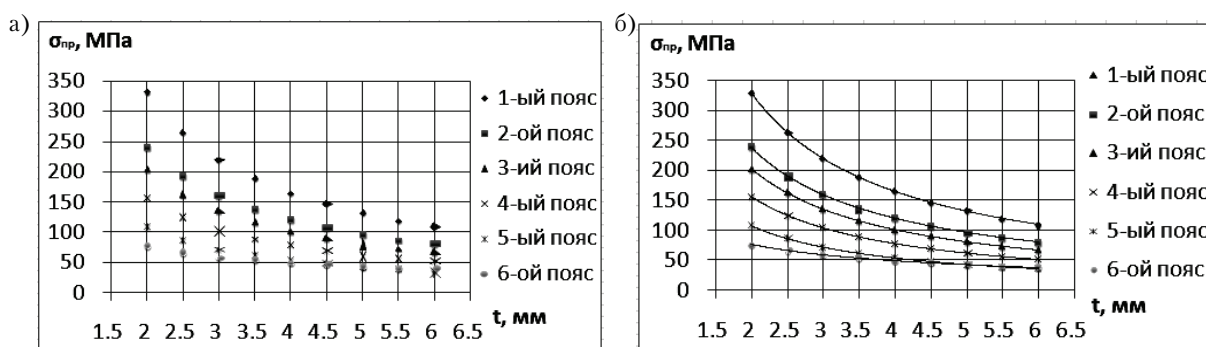


Рисунок 5 — Значения приведенных напряжений в поясах разных моделей: а — значения, полученные в результате численного эксперимента; б — график аппроксимации заданного коррозионного процесса степенной функцией.

Данную зависимость с достаточно высокой степенью корреляции отображает степенная функция. Данные аппроксимации зависимости приведенных напряжений в стенке резервуара от остаточной толщины стенки приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Данные аппроксимации зависимости  $\sigma_{np}$  от  $t$

№ пояса	Вид зависимости	Достоверность аппроксимации, $R^2$
1	$\sigma_{np} = 662,8 \cdot t^{-1}$	$R^2 = 1$
2	$\sigma_{np} = 478,7 \cdot t^{-0,99}$	$R^2 = 1$
3	$\sigma_{np} = 406,3 \cdot t^{-0,99}$	$R^2 = 1$
4	$\sigma_{np} = 312,2 \cdot t^{-0,99}$	$R^2 = 1$
5	$\sigma_{np} = 217,9 \cdot t^{-1}$	$R^2 = 1$
6	$\sigma_{np} = 116,7 \cdot t^{-0,61}$	$R^2 = 0,999$



Учитывая, что показатель степени равен «-1» (или очень близок к этому значению), то данную зависимость можно представить в виде простого отношения некоего эмпирического коэффициента  $k$  к толщине стенки:

$$\sigma_{np} = \frac{k}{t}. \quad (2)$$

Из таблицы 2 видно, что зависимость (2) справедлива для 5-ти поясов из 6-ти. Для шестого пояса отличие вида зависимости от (2) может быть вызвано всплеском напряжений (так называемый краевой эффект), вызванном резким изменением геометрии оболочки в месте примыкания крыши, однако этот момент требует дополнительного изучения.

Определение значений коэффициента  $k$  требует дополнительных исследований. Однако, исследовав структуру приведенных напряжений, для данного случая было определено, что 85–97 % от приведенных составляют кольцевые напряжения и лишь 3–15 % меридиональные. Таким образом, в первоначальных приближениях в качестве определяющих для таких резервуаров можно учитывать только кольцевые напряжения. В этом случае коэффициент  $k$  может быть определен на основании [8].

На основании данных изменения приведенных напряжений в стенке от остаточной толщины (рис. 5) строим график изменения приведенных напряжений при равномерном коррозионном износе (рис. 6), отталкиваясь от начальной толщины  $t_0 = 6$  мм для того, чтобы иметь возможность проследить за «хвостами» зависимости.

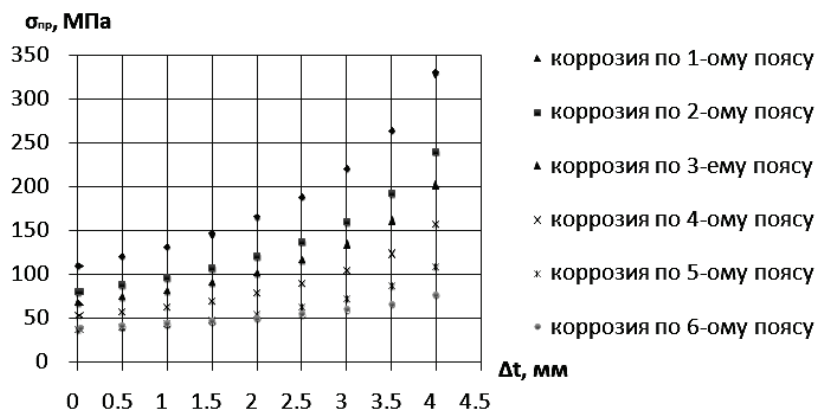


Рисунок 6 — Значения приведенных напряжений в поясах стенки при соответствующих величинах коррозионного износа.

Т. к. в данном случае наиболее точно аппроксимирует коррозионный износ стенки резервуара обратно квадратичная функция ( $\sigma_{np} = 1/(a + bt + ct^2)$ ), где коэффициент корреляции  $r = 0,999995$  и среднеквадратичная ошибка  $S = 0,268$ , то строим график изменения напряженного состояния стенки резервуара от коррозионного износа (рис. 7), используя данную функцию.

В дальнейшем наглядно будет рассматриваться только первый пояс, как наиболее нагруженный. Анализируя кривую изменения напряженного состояния стенки от коррозионного износа, можно выделить скорость изменения напряжений от величины коррозионного износа  $V = \Delta\sigma_i / \Delta t_i$  (рис. 8), критерием которой является тангенс угла наклона касательной обратно квадратичной функции, что

есть первая производная данной функции  $tg\alpha = \frac{-1 \cdot (b + 2cx)}{(a + bx + cx^2)^2}$ .

Полагаясь на принятую функцию и используя данные табл. 1, можно выделить область работы стенки (область допустимого коррозионного износа из условий прочности и устойчивости (табл. 1)) и построить график зависимости скорости роста напряжений от коррозионного износа (рис. 9).

На основании анализа такого рода графиков возможно выделение различных подходов к эксплуатации резервуара (стратегии эксплуатации). В первом приближении можно выделить три стратегии, которые характеризуют «минимальную», «среднюю» и «максимальную» скорости роста напряжений (рис. 10) (количество стратегий может определяться собственником).

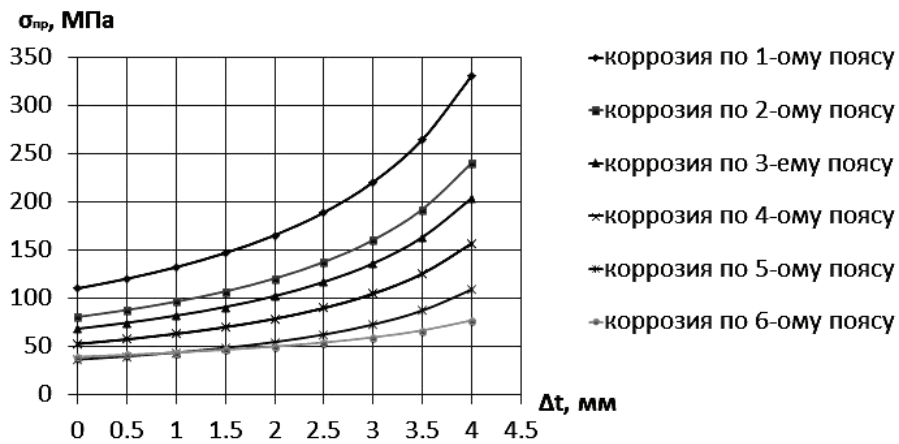


Рисунок 7 — График изменения напряженного состояния стенки резервуара от коррозионного износа.

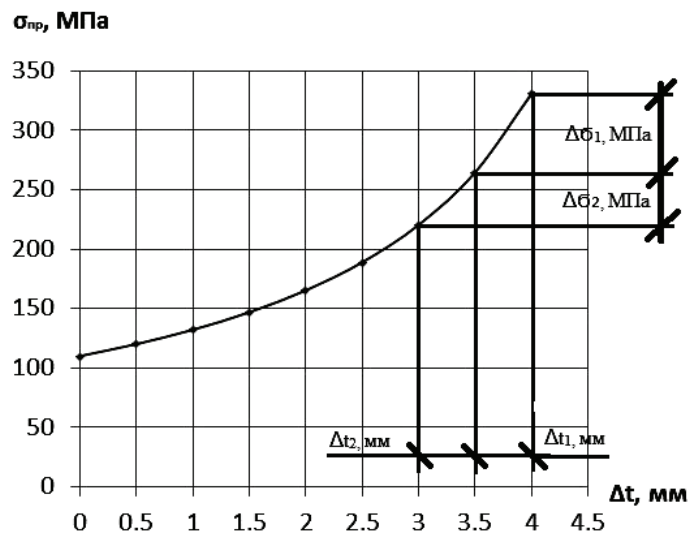


Рисунок 8 — Зависимость скорости изменения напряжений от коррозии.

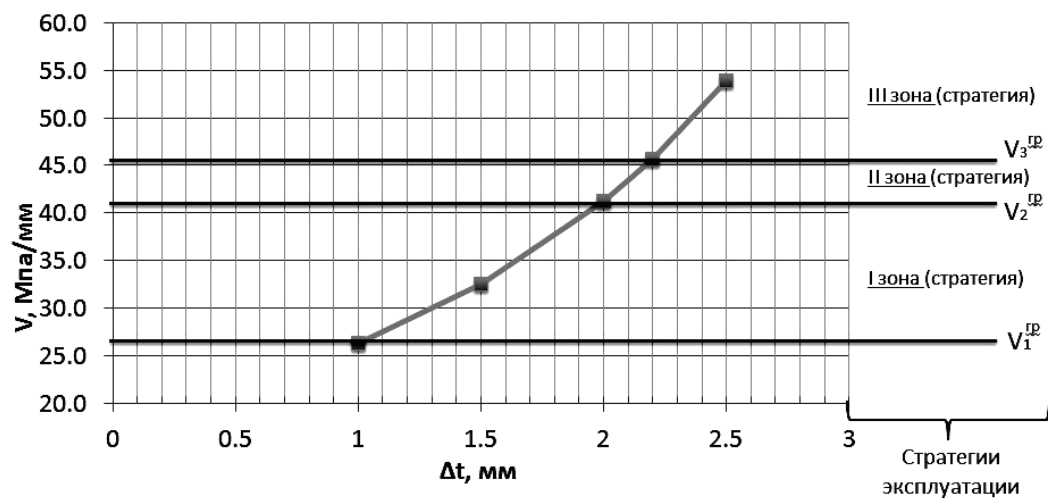
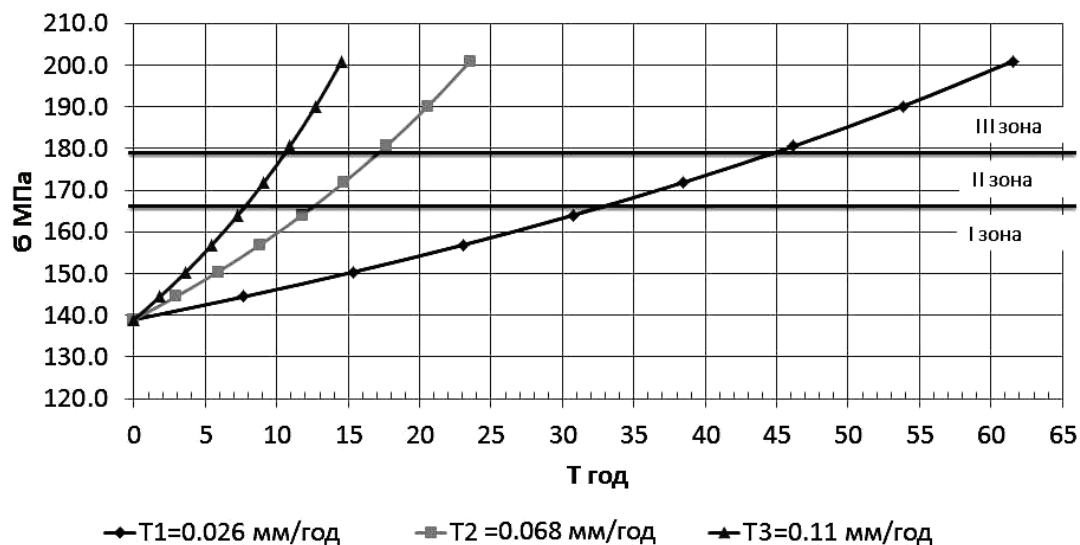


Рисунок 9 — Зависимость скорости роста напряжений от коррозионного износа.



**Рисунок 10** — Зависимость изменения напряжений от скорости коррозии: I зона — ответная эксплуатация; II зона — плановая эксплуатация; III зона — предупредительная эксплуатация.

По графику зависимости изменения напряжений от скорости коррозии определяется используемая стратегия. Стратегия эксплуатации зависит от скорости коррозии, которую можно регулировать проведением защитных мероприятий (один из примеров — окрашивание резервуара).

### ВЫВОДЫ

1. Систематизированы основные причины, влияющие на напряженно-деформированное состояние (НДС) стенки вертикального цилиндрического резервуара.
2. На примере рассмотрения равномерного коррозионного износа изучено изменение НДС для вертикальных цилиндрических резервуаров с постоянной толщиной стенки.
3. Предложены зависимости, описывающие изменение НДС от величины коррозионного износа и от остаточной толщины стенки.
4. Используемые подходы позволяют оценить эксплуатационную надежность стенки с учетом прочности и устойчивости.
5. Использование представленного в работе подхода для учета основных повреждений резервуаров позволяет прогнозировать необходимость и частоту проведения ремонтов, оценивать риски при отсутствии проведения эксплуатационных мероприятий и оценивать сроки их эксплуатации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуары вертикальные стальные для хранения нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше 93,3 кПа [Текст]. — Введ. 1994-10-01. — Киев : Госкомнефтегаз, 1994. — 98 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. — Замість СНИП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. — К. : Мінбуд України, 2006. — 61 с.
3. Лессиг, Е. Н. Листовые металлические конструкции [Текст] / Е. Н. Лессиг, А. Ф. Лилеев, А. Г. Соколов. — М. : Стройиздат, 1970. — 488 с.
4. Мельников, Н. П. Металлические конструкции: Современное состояние и перспективы развития [Текст] / Н. П. Мельников. — М. : Стройиздат, 1983. — 541 с.
5. Металлические конструкции. Общий курс [Текст] : Учебник для вузов / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Веденников и др.; Под общ. ред. Е. И. Беленя. — М. : Стройиздат, 1986. — 560 с.
6. Сафарян, М. К. Металлические резервуары и газгольдеры [Текст] / М. К. Сафарян. — М. : Недра, 1987. — 200 с.
7. Displacement and stresses in oil storage tanks caused by differential settlement [Текст] / [Ed. by N. Kamyab and others]. — London : [s. n.], 1987. — 256 p.

8. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. — На заміну СНиП II-23-81\* окрім розділів 15\*—19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3—8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78—4.134 ; чинні від 2011-12-01. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. — 127 с.

Получено 04.10.2012

**С. Б. ПЧЕЛЬНИКОВ, Є. А. КРИВЕНКО, Р. Б. НІКІТІН**  
**ОЦІНКА ВПЛИВУ КОРОЗИЙНОГО ЗНОСУ НА ТЕРМІН ЕКСПЛУАТАЦІЇ**  
**РЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ**  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У цій статті розглядається взаємозв'язок ступеня і швидкості корозійного зносу елементів резервуара на термін його служби шляхом оцінки зміни НДС у часі. Визначаються залежності, що відображають зміну НДС від величини корозійного зносу і від залишкової товщини стінки. Наданий у роботі підхід дозволяє прогнозувати термін експлуатації резервуара згідно з наведеною стратегією обслуговування.  
**резервуар, напруження, НДС, експлуатація, корозійний знос**

**SERGEY PCHELNIKOV, EVGEN KRIVENKO, RUSLAN NIKITIN**  
**AN ASSESSMENT OF CORROSIVE WEAR INFLUENCE ON LIFE TIME OF OIL**  
**TANKS**  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In this article the interrelation between rate and speed of corrosive wear of elements of tank and life time of tank by an assessment of change of mode of deformation in time is considered. The dependences of changing of mode of deformation from corrosive wear rate and residual thickness of a wall are defined. This technique allows prognosticating life time of the tank as provided by the defined strategy of maintenance.  
**tank, tension, mode of deformation, maintenance, corrosive wear**

**Пчельников Сергей Борисович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: забезпечення експлуатаційної надійності будівельних конструкцій; імовірнісні методи розрахунку будівельних конструкцій; планування експлуатаційного процесу будівель і споруд.

**Кривенко Євген Олександрович** — магістрант кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: забезпечення експлуатаційної надійності будівельних конструкцій.

**Нікітін Руслан Борисович** — магістрант кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних конструкцій.

**Пчельников Сергей Борисович** — кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: обеспечение эксплуатационной надежности строительных конструкций; вероятностные методы расчета строительных конструкций; планирование эксплуатационного процесса зданий и сооружений.

**Кривенко Евгений Александрович** — магистрант кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: обеспечение эксплуатационной надежности строительных конструкций.

**Никитин Руслан Борисович** — магистрант кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных конструкций.

**Sergey Pchelnikov** — PhD (Eng.), an Associate Professor of the Theoretical and Applied Mechanics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: a support of in-service reliability of building structures; probabilistic design of building structures; a maintenance of building and structures.

**Evgen Krivenko** — graduate student, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: in-service reliability of building structures.

**Ruslan Nikitin** — graduate student, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: in-service reliability of building structures.

УДК 621.882

**В. Н. ВАСЫЛЕВ, А. С. КАРАБАНОВ, Н. В. АГБАШ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТА ОДНОБОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО УКРАИНСКИМ И ЗАРУБЕЖНЫМ НОРМАМ**

В опорах линий электропередачи разрушение болтовых соединений происходит из-за среза болта, а не из-за смятия соединяемых элементов. Но так как для опор характерно применение профиля с малыми толщинами — от 4 до 12, разрушения таких элементов должно происходить из-за смятия соединяемых поверхностей. Разница в определении усилий, которые может воспринять одноболтовое соединение на смятие и срез, определенная по новым ДБН «Сталеві конструкції» и аналогичным нормам, применяемым в других государствах, состоит в том, что используются различные расчетные характеристики смятия соединяемых поверхностей. Для ДБН расчетной характеристикой является  $R_{bp}$  (расчетное сопротивление болта на смятие), в нормах ENи ANSI —  $f_u$  (временное сопротивление стали). Существует также разница в коэффициентах, которые применяются в методиках различных норм.

**линии электропередачи, одноболтовые соединения, расчетные характеристики, отказ работы соединения**

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ**

В связи с переходом большинства стран на нормы, применяемые в Европе, возник вопрос о конкурентоспособности украинских и зарубежных.

Помимо действующего СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции», в 80-е годы были разработаны ведомственные нормы для заводов изготовителей металлических опор высоковольтных линий электропередачи. Ведомственные нормы отличались от действующего СНиП. С переходом на новые ДБН расчетные сопротивления изменились.

Анализируя методику расчета болтовых соединений, применяемых в ДБН и EN, видна разница в расчете и расчетных характеристиках. Применяя методику европейских норм, получаем усилия несколько больше, чем при использовании отечественных норм, а при использовании норм США значения превышают результаты EN.

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Анализ характера отказа в работе одноболтового соединения и расчет соединений по различным нормативным документам.

### **РАСЧЕТ И РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ**

Несущая способность одноболтового соединения на смятие по ДБН:

$$N_b = R_{bp} \sum t \cdot d \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (1)$$

где  $N_b$  — усилие, которое может быть воспринято одним болтом;  
 $R_{bp}$  — расчетное сопротивление болта на смятие;  
 $\sum t$  — наименьшая суммарная толщина элементов;  
 $d$  — наружный диаметр;  
 $\gamma_b$  — коэффициент, зависящий от отношения расстояния от обреза элемента до центра отверстия  $a$  и диаметра отверстия  $d$ .

Расчетное сопротивление  $R_{bp}$  по ДБН, для болтов класса точности В и С, зависит от временного сопротивления стали  $R_u$ :

© В. Н. Васылев, А. С. Карабанов, Н. В. Агбаш, 2012

$$R_{bp} = 1,35 R_u. \quad (2)$$

Несущая способность одноболтового соединения на смятие по нормам EN:

$$F_{b,Rb} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}, \quad (3)$$

где  $f_u$  — временное сопротивление стали;  
 $k_1$  — коэффициент, принимаемый вдоль усилия 2,5;  
 $\gamma_{M2}$  — коэффициент безопасности, рекомендуется 1,25;  
 $\alpha_b$  — коэффициент, принимаемый меньший из значений  $\alpha_d$  и  $f_{ub}/f_u$  или 1,0;  
 $\alpha_d$  — зависит от следующего соотношения:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}, \quad (4)$$

где  $e_1$  — расстояние от обреза элемента до центра отверстия;  
 $d_0$  — диаметр болта.

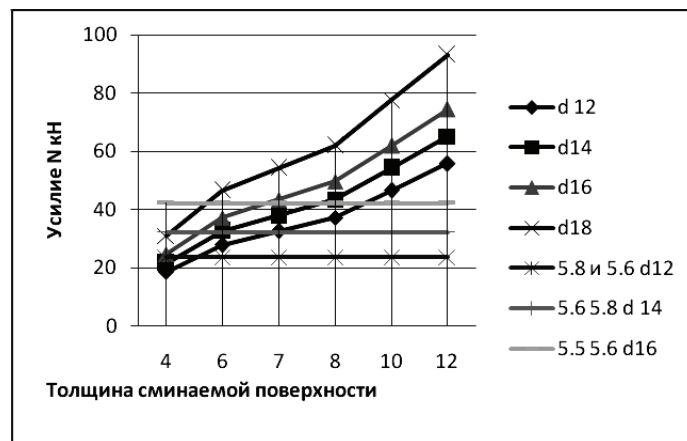
По нормам ANSI напряжение смятия не должно превышать  $1,5F_u$ , а максимальные напряжения смятия рассчитываются как частное деление усилия на произведение диаметра болта и толщины соединяемой детали:

$$\sigma = \frac{P}{d \cdot t} \leq 1,5 F_u. \quad (5)$$

Усилие, воспринимаемое одним болтом:

$$P = 1,5 \cdot F_u \cdot d \cdot t. \quad (6)$$

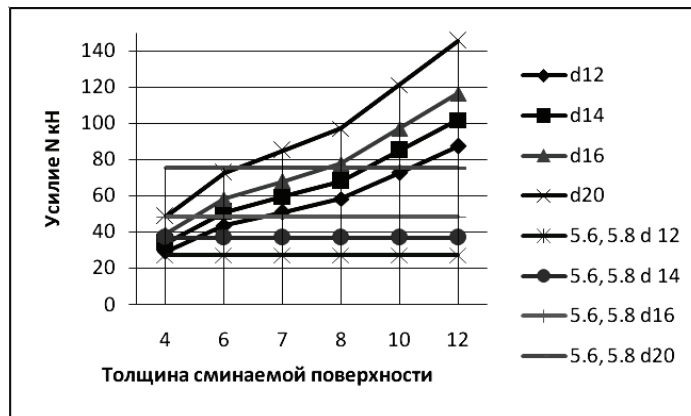
При расчете болтового соединения на смятие, чтобы не происходили разрушения, необходимо увеличить либо толщину металла, либо диаметр болта. Такую зависимость можно проследить на рисунках 1 и 2. Увеличение толщины элемента не целесообразно из-за увеличения металлоемкости конструкции, а изменение диаметра на больший невозможно из-за применяемых размеров профиля.



**Рисунок 1** — Усилие, которое может воспринять одноболтовое соединение на смятие и срез с одной плоскостью среза, посчитанное по ДБН (горизонтальные линии — усилие среза, наклонные — смятие).

На графиках 1 и 2 видна разница в усилиях на смятие и срез, определенные по ДНБ и EN. Усилие смятия, определенные по методике действующих правил в Украине, при толщинах от 4 до 8 значительно меньше усилия среза при тех же диаметрах и толщинах сминаемых элементов.

В действующих украинских нормах расчет соединений ведется по временному сопротивлению  $R_{bp}$ , для класса точности В или С. Аналогичный расчет в зарубежных нормах напрямую зависит от временного сопротивления стали  $f_u$  и ряда коэффициентов, которые зависят от конструктивных особенностей болтового соединения и от направления усилия, действующего в соединении.



**Рисунок 2** — Усилие, которое может воспринять одноболтовое соединение на смятие и срез с одной плоскостью среза, посчитанное по EN (горизонтальные линии — усилие среза, наклонные — смятие).

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СМИНАЕМОМ ЭЛЕМЕНТЕ

Определение максимальных напряжений в элементе является сложной задачей теории упругости, что делает ее трудоемкой и объемной. Упростить решение таких задач можно, применяя расчетные комплексы, которые основаны на методе конечных элементов. Такие программы позволяют сделать расчет как в упругой стадии, так и в пластической. Что значительно увеличивает достоверность расчетов. Также они позволяют смоделировать нелинейную задачу, что в большей степени удовлетворяет начальным параметрам задачи.

В численной модели планируется решить следующие задачи: определения наиболее рационального сгущения сетки, определение наиболее подходящего типа конечного элемента, построение кусочно-линейного закона растяжения сжатия материала, задание начальных параметров для решения контактной задачи.

На основании численной модели планируется разработка экспериментальной модели с расстановкой датчиков в наиболее опасных точках.

## ВЫВОД

Большинство разрушений болтовых соединений происходит из-за среза болтов, но так как в опорах ЛЭП самыми распространенными являются элементы с толщиной полок от 4 до 12 мм, то по расчету определяющим несущим усилием является смятие. В рассмотренных зарубежных нормах, при расчете болтовых соединений, отсутствует расчетное сопротивление смятия, а используется временное сопротивление растяжению  $f_u$ . Такая разница в определении усилия приводит к разнице в усилиях, что делает не конкурентно способными отечественные нормы по сравнению с аналогичными зарубежными нормами, вследствие чего при подборе сечений происходит некоторое завышение профилей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-23-81\*. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы проектирования. Глава 23. Стальные конструкции [Текст]. — [Действующий с 14 августа 1981 г.] — М. : Центральный институт типового проектирования, 1991. — 96 с.
2. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. — На заміну СНиП II-23-81\* окрім розділів 15\*—19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3—8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78—4.134 ; чинні від 2011-12-01. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. — 127 с.
3. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1—8. Расчет соединений [Текст]. — Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010. — 133 с.
4. ANSI/ASCE 10-97. Design of Latticed Steel Transmission Structures [Текст] / American Society of Civil Engineers. — [S. l.] : ASCE Publications, 2000. — 71 p. — ISBN 0-7844-0324-4.



5. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. — К. : Наукова думка, 1988. — 734 с.
6. Броверман, Г. Б. Строительство мачтовых и башенных сооружений [Текст] / Г. Б. Броверман. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1984. — 256 с.
7. Правила устройства электроустановок [Текст] / Минэнерго СССР. — 4-е изд. — М. : Энергоатомиздат, 1965. — 464 с. — (Нормативный документ Минэнерго СССР).
8. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст]. — Офіц. вид. — К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. — III, 125 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
9. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций [Текст] : учеб. пособие для студ. строит. профиля, магистрантов, аспирантов, а также послевуз. подготов. и переподготов. / Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов, Я. В. Назим, И. В. Роменский ; под общ. ред. Е. В. Горохова ; Донбас. нац. акад. стр-ва и архитектуры. — Макеевка : [ДонНАСА], 2012. — 561 с. — ISBN 978-617-599-012-4.
10. СНиП 3.03.01-87. Строительные нормы и правила. Несущие и ограждающие конструкции [Текст]. — Взамен СНиП III-15-76; СН 383-67; СНиП III-16-80; СН 420-71; СНиП III-18-75; СНиП III-17-78; СНиП III-19-76; СН 393-78 ; введ. 1988-07-01. — М. : [б. и.], 2006. — 192 с.
11. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчет линий электропередач [Текст] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. — 2-е издание, переработанное и дополненное. — Л. : Энергия, Ленинградское отделение, 1979. — 312 с.

Получено 03.09.2012

**В. М. ВАСИЛЕВ, О. С. КАРАБАНОВ, Н. В. АГБАШ**  
**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ ОДНОБОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ ЗА**  
**УКРАЇНСЬКИМИ І ЗАРУБІЖНИМИ НОРМАМИ**  
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

В опорах ліній електропередачі руйнування одноболтових з'єднань відбувається через зріз болта, а не через зминання з'єднуваних елементів. Але так як для опор характерно застосування профілів з малими товщинами — від 4 до 12, руйнування таких елементів повинно відбуватися через зминання з'єднувальних поверхонь. Різниця у визначенні зусиль, які може сприйняти одноболтове з'єднання, визначена за новими ДБН «Сталеві конструкції» і аналогічними нормами, застосованими в інших державах, є у тому, що використовуються різні розрахункові характеристики зминання з'єднувальних елементів. Для ДБН розрахункові характеристиками є  $R_{bp}$  (розрахунковий опір болта на зминання) в нормах EN та ANSI —  $f_u$  (тимчасовий опір сталі). Існує також різниця в коефіцієнтах, які застосовуються в методиках різних норм.

**лінії електропередач, одноболтове з'єднання, розрахункові характеристики, відмова роботи з'єднання**

**VOLODYMYR VASYLEV, ALEXEY KARABANOV, NATALIA AGBASH**  
**THE COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION OF ONE-BOLTED JOINTS**  
**ON THE UKRAINIAN AND FOREIGN SIZE STANDARDS**  
 Donbas National Academy of Engineering and Architecture

In article settlement characteristics of bolted joints of various standard documents applied in Ukraine, and also applied abroad are presented. The comparative analysis of calculation of connections with application of various techniques and settlement characteristics of bolted joints on bearing and a cut is carried out. The technique of definition of the maximum contact pressure with application of settlement programs on the basis of a method of final elements is developed. Estimated characteristic for DBN is  $R_{bp}$  (design strength of stub on bearing) in a norms of EN and ANSI —  $f_u$  (ultimate resistance of steel.) There is also a differences in factors, which used in methods of different norms.

**power lines, one-bolted joints, settlement characteristics, refusal of work of connection**

**Василев Володимирович Миколайович** — к. т. н., доцент; професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури, лауреат Державної премії України в області науки і техніки. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи будівель і споруджень легких металевих конструкцій.

**Карabanов Олексій Сергійович** — асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи конструкції електромережевого будівництва.

**Агбаш Наталія Володимирівна** — асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи конструкції електромережевого будівництва.

**Василев Владимирovich Николаевич** — к. т. н., доцент; профессор кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники. Научные интересы: исследование действительной работы зданий и сооружений легких металлических конструкций.

**Карабанов Алексей Сергеевич** — ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы конструкции электросетевого строительства.

**Агбаш Наталья Владимировна** — ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы конструкции электросетевого строительства.

**Volodymyr Vasylev** — PhD(Eng.), associate professor; Professor of Metal Designs Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture, the winner of the State award of Ukraine in the field of a science and techniques. Scientific interests: research of the valid work of buildings and constructions of easy metal designs.

**Alexey Karabanov** — assistant, Metal Designs Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the valid work of a design of electro network building.

**Natalia Agbash** — assistant, Metal Designs Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the valid work of a design of electro network building.

УДК 692.2:693.27

**А. М. ЮГОВ, Д. Е. БЕРШАДСКАЯ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НЕСУЩИХ СТЕН ИЗ ШТУЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В статье рассмотрены три варианта конструкций несущих стен из керамического пустотелого кирпича, газобетонных блоков и керамических поризованных блоков Porotherm. Представлено сравнение вариантов конструкций стен. Проанализирована экономическая эффективность. Приведены преимущества и недостатки устройства стен зданий с использованием вышеуказанных материалов. **наружные несущие и самонесущие стены, кирпичная кладка, поризованные керамические блоки, газобетонные блоки, кладка блоков, технико-экономические показатели**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Несмотря на бурное развитие полносборного и монолитного домостроения, штучные материалы по-прежнему находят широкое применение в строительстве. Стены являются основным элементом, обеспечивающим конструкционную прочность всего сооружения. На протяжении десятилетий эксплуатации они должны без проблем нести нагрузку своего собственного веса, веса перекрытий и кровли, инженерных агрегатов и коммуникаций. Несмотря на то, что восточные регионы Украины расположены в сейсмически малоопасной зоне, отголоски дальних землетрясений иногда докатываются и в наши края. Поэтому известный запас прочности стены просто обязаны иметь. Также стены должны соответствовать всем требованиям по тепло- и звукоизоляции.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Чтобы построить качественное и недорогое жилье, необходимо учесть много факторов: температуру, влажность, микроклимат в помещении, эстетические требования, необходимость отделки фасада, огнестойкость, морозостойкость. При этом решение задачи возможно различными методами. Но поскольку появились новые материалы, возникает актуальная задача принятия решения, какой же материал лучше при соблюдении условий по тепло- и звукоизоляции помещений.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Любая стена жилого дома, вне зависимости от конструкции и применяемых материалов, должна совмещать выполнение ряда обязательных требований и функций [1, 2]:

1. *Конструкционная.* На практике материалы, имеющие прочность на сжатие ниже  $100 \text{ Н/м}^2$ , не используются в качестве конструкционных. Верхний предел прочности для штучных материалов принимается по силовым воздействиям.
2. *Минимизация нагрузок на фундамент.* Пренебрежение этим фактором может привести к неоправданному удорожанию нулевого цикла здания.
3. *Тепловое сопротивление.* При теплотехническом сопоставлении различных конструкций и материалов достаточно помнить, что, чем меньше коэффициент теплопроводности, тем лучше теплоизолирующие свойства ограждения.
4. *Водопоглощение.* Водопоглощение большинства стеновых материалов лежит в пределах от 6 до 15 %. Если выбранный для стен материал обладает большим водопоглощением, его эксплуатация без дополнительной влагозащиты проблематична.
5. *Огнестойкость.* Огнестойкость стен принимается в соответствии с классом здания.

6. *Морозостойкость.* Морозостойкость большинства современных стеновых материалов находится в пределах 25–35 циклов.

Один из самых популярных стеновых материалов — это кирпич. Кирпич обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, он экологичен и пригоден для самых разных архитектурных проектов. Различные виды кирпича могут использоваться как для возведения самой стены, так и для облицовки дома. Благодаря особой капиллярной системе кирпич обладает свойствами естественного кондиционера, что способствует созданию благоприятного микроклимата в доме. Но требования теплотехники диктуют необходимость возведения стен зданий толщиной в 1,5 м, либо устраивать дополнительное утепление стен, что приводит к увеличению трудозатрат.

Также к группе материалов для возведения стен, рассмотренных в данной статье, относятся газобетонные блоки, которые, как и керамблоки, имеют крупный формат и пазо-гребневое соединение в вертикальных швах кладки. Газобетонные блоки индустриального производства проходят жёсткий контроль геометрических параметров, при этом заявляемые предельные отклонения по длине блока не превышают 2 мм, а по толщине и высоте — не более 1 мм. Такие малые допуски позволяют вести монтаж блоков не на кладочный раствор, а на тонкий слой клея. Процесс сооружения стены внешне напоминает монтаж кафельной плитки: точно так же клеящая смесь распределяется зубчатой гребёнкой на одной из склеиваемых поверхностей, после чего блок укладывается на слой клея и точно позиционируется в горизонтальной плоскости. Такие сверхтонкие растворные слои уже не являются «мостиками холода» в привычном понимании этого термина, а готовую стену можно рассматривать как термически изотропную среду. Так же, как и в случае использования крупногабаритных поризованных керамических блоков, замковая система стыковки отдельных газобетонных блоков избавляет от необходимости устраивать вертикальные клеевые швы. Но низкие, в сравнении с другими стеновыми материалами (кирпичом и керамблоком), прочностные показатели требуют применения дополнительных армирующих элементов и технологических приёмов монтажа. Высокая гигроскопичность газобетона требует мероприятий по предохранению фасада от прямого воздействия атмосферных осадков.

В настоящее время получил распространение новый тип материалов на основе глины, который называется — крупноформатные поризованные керамические блоки [3]. По сравнению с обычным кирпичом поризованная керамика имеет два основных преимущества: поризованная структура и крупный формат — что значительно улучшает теплотехнические и качественные свойства продукции. Один керамический блок толщиной 380 мм заменяет 12 кирпичей, что позволяет значительно уменьшить время и средства, необходимые для строительства дома. Плотность блоков составляет 750–860 кг/м<sup>3</sup> (в два раза меньше, чем у кирпича). Прочность при этом соответствует марке М75-150. Этого достаточно для строительства несущих стен зданий высотой до 7 этажей. По модульности размеры керамических блоков кратны кирпичной кладке, что дает возможность без проблем адаптировать под Porotherm проект дома, рассчитанный на обычный кирпич.

## ЦЕЛЬ

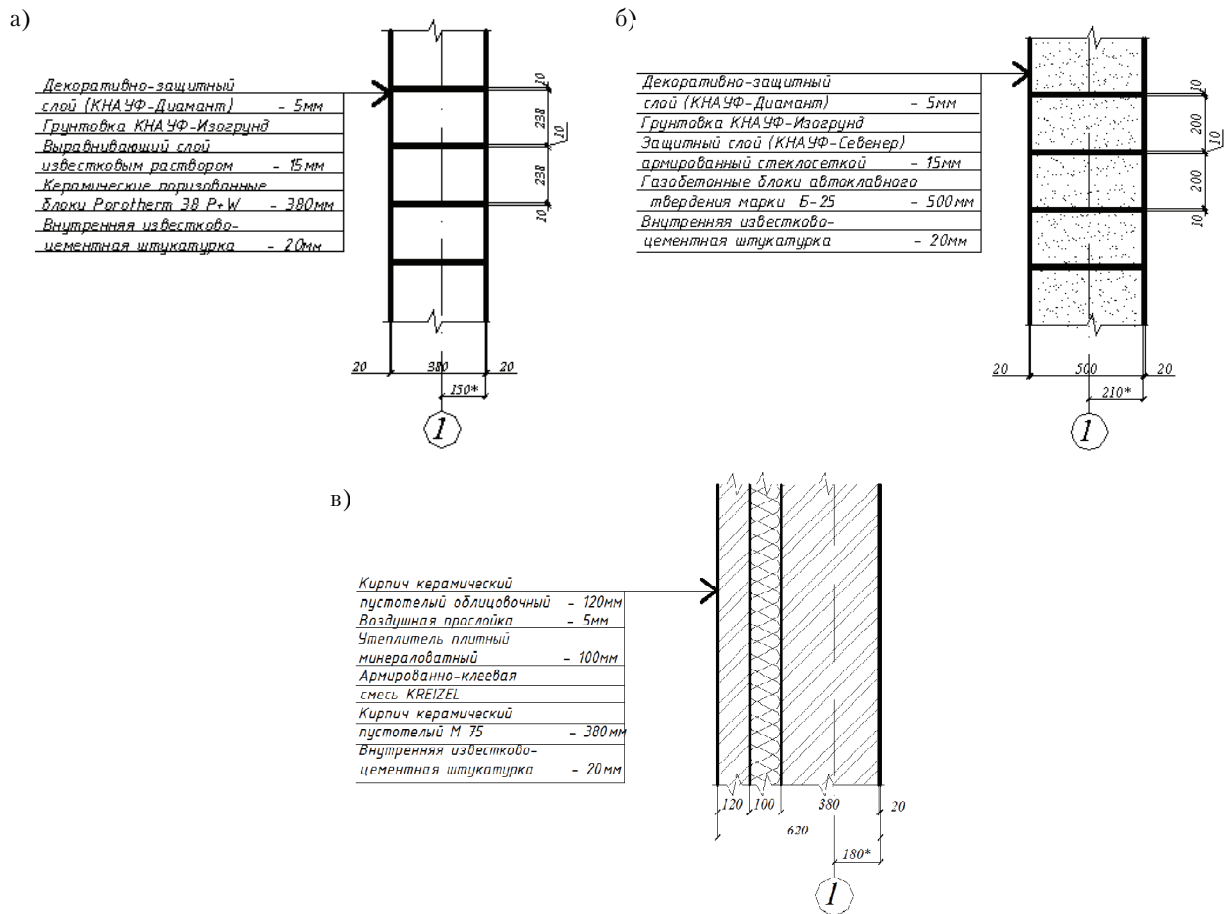
Выбор наиболее рационального конструктивного решения несущей стены гражданских зданий на основе применения современных материалов.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

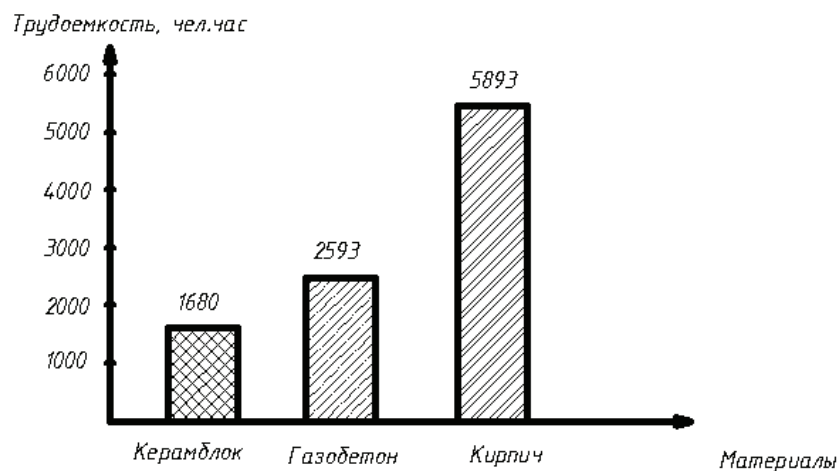
Для достижения цели за основу был принят объект — двухэтажный коттедж с мансардным этажом. Были рассмотрены три различные конструктивные схемы наружных стен здания с применением керамических поризованных блоков Porotherm (рис. 1а), газобетонных блоков (рис. 1б) и керамического пустотелого кирпича (рис. 1в). Для сравнения теплотехнических характеристик были выполнены соответствующие теплотехнические расчеты для Донецка [4]. В результате расчетов было определено, что при возведении стены из керамического кирпича толщиной 380 мм потребуются утепление стены толщиной 100 мм. Газобетонный блок, толщиной 500 мм, проходит по сопротивлению теплопередачи при условии, что кладка будет вестись на клеевом теплоизоляционном растворе, а керамический блок толщиной 380 мм, уложенный на теплое решение соответствует всем требованиям по теплотехнике (рис. 1). Также при помощи программного комплекса АВК были рассчитаны сметы на возведение стен в трех вариантах.

Сравнение вариантов дало следующие результаты, показанные на рис. 2 и 3.

По показателям трудоемкости видно, что керамический поризованный блок является наименее трудозатратным. Это достигается за счет крупного формата, пазо-гребневого соединения, уменьшения



**Рисунок 1** — Конструктивные схемы наружных стен здания с применением керамических поризованных блоков Porotherm: а) стена из керамических поризованных блоков Porotherm; б) стена из газобетонных блоков автоклавного твердения; в) стена из керамического пустотелого кирпича.



**Рисунок 2** — Показатели трудоемкости.

расхода раствора, хорошего теплотехнического качества [5]. И поскольку у поризованных блоков четкие геометрические формы, работы по выполнению работ и контролю упрощаются.

По стоимости возведения стен здания лидирующую позицию занимает керамический поризованный блок. Несмотря на высокую стоимость материала экономическая эффективность достигается за счет сокращения трудозатрат при возведении стен.

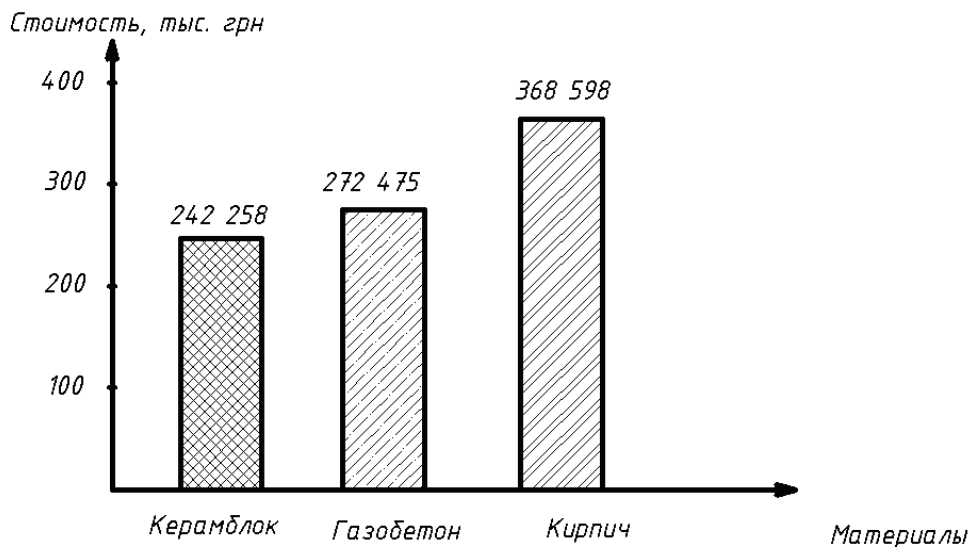
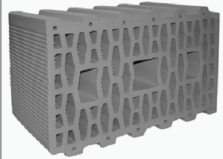
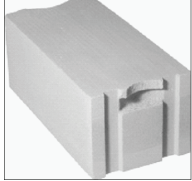
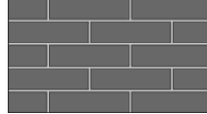


Рисунок 3 — Показатели стоимости.

Достоинством керамических и газобетонных блоков является то, что материал позволяет возвести однослойную стену, не требующую дополнительного утепления. Она будет более прочной и долговечной, чем любая многослойная. Это объясняется не только меньшей долговечностью и дороговизной утеплителей по сравнению с каменными стеновыми материалами, но и тем, что место соединения материалов является зоной потенциального разрушения конструкции.

В таблице приведены итоги сравнительного анализа.

Таблица — Характеристики несущих стен зданий из анализируемых материалов

Характеристики			
Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	128	15...30	125
Усредненная плотность, кг/м <sup>3</sup>	820	400	1 400
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,19	0,15	0,40
Водопоглощение, %	12	> 30	13
Морозостойкость, циклов	50	25	35
Нормативная толщина стены, м	0,38	0,50	0,52*
Скорость возведения стены нормативной Толщины *, час/м <sup>2</sup>	≈ 0,9	≈ 1,3	>3

Примечание. \* — под нормативной понимается такая толщина стены, которая обеспечивает достаточную несущую способность, с учетом обязательного последующего утепления.

## ВЫВОДЫ

Эффект уменьшения стоимости квадратного метра стены из керамических поризованных блоков по сравнению с кирпичной кладкой и газобетонными блоками, при одинаковых теплотехнических параметрах, составляет соответственно 35 и 12 %. Сокращение сроков монтажа здания, сокращение расходов на эксплуатацию монтажного и такелажного оборудования, снижение стоимости кладочных работ — такова экономическая и технологическая эффективность керамических поризованных блоков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. — Уведено вперше (зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751-88(СТ СЭВ 384-87), СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4668-84 ; чинні з 2009-12-01. — К. : Мінергобуд України, 2009. — 37 с.
2. СНиП 3.03.01-87. Строительные нормы и правила. Несущие и ограждающие конструкции [Текст]. — Взамен СНиП III-12-76, СН-383-67, СНиП III-16-80, СН 420-71, СНиП III-17-75, СНиП III-17-78, СНиП III-19-76, СН 393-78 ; введ. 1988-07-01. — М. : Госстрой СССР, 1988. — 190 с.
3. Карты трудовых процессов строительного производства: Кирпичная кладка стен жилых домов: ККТ-3.0-5 / ВНИПИ труда в строительстве. — М. : Стройиздат, 1987. — 36 с.
4. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. — На заміну СНиП II-3-79 ; чинний від 2007-04-01. — К. : Мінбуд України, 2006. — 64 с. — (Державні будівельні норми України).
5. Технология выполнения кладочных работ из крупноформатных керамических блоков Porotherm [Текст] / Wienerberger Building Value. — [Б. м. : б. и.], 2006. — 48 с.

Получено 25.09.2012

А. М. ЮГОВ, Д. Є. БЕРШАДСЬКА

### АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НЕСУЧИХ СТІН ЗІ ШТУЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглянуті три варіанти конструкцій несучих стін з керамічної пористілої цегли, газобетонних блоків і керамічних поризованих блоків Porotherm. Представлено порівняння варіантів конструкцій стін. Проаналізовано економічну ефективність. Наведено переваги і недоліки улаштування стін будинків з використанням вищевказаних матеріалів.

**зовнішні несучі стіни, цегляна кладка, поризовані керамічні блоки, газобетонні блоки, кладка блоків, техніко-економічні показники**

ANATOLIY YUGOV, DAR'YA BERSHADSKAYA

### ANALYSIS CONSTRUCTIVE PARTICULARITIES CARRYING SEWER FROM PIECE MATERIAL

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In article three variants design carrying wall from ceramic hollow brick, gas-concrete block and ceramic porous block Porotherm have been considered. The Presented comparison variant design sewer. The cost-effectiveness has been analyzed. The advantage and drawbacks of wall technology of buildings of the buildings with use of above mentioned materials have been given.

**external and carrying walls, brickwork, porous ceramic blocks, gas concrete blocks, block work, technical-and-economic indexes**

**Югов Анатолій Михайлович** — д. т. н., професор кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: технічна діагностика, моніторинг і оцінка технічного стану конструкцій будівель і споруд, технологія монтажу і розрахунки на монтажні стани конструкцій будівель і споруд, реконструкція будівель і споруд, системи управління якістю.

**Бершадська Дар'я Євгенівна** — викладач-стажист кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: порівняльні аспекти зведення будівель з використанням керамічних поризованих блоків Porotherm.

**Югов Анатолий Михайлович** — д. т. н., профессор кафедры технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: техническая диагностика, мониторинг и оценка технического состояния конструкций зданий и сооружений, технология монтажа и расчеты на монтажные состояния конструкций зданий и сооружений, реконструкция зданий и сооружений, системы управления качеством.

**Бершадская Дарья Евгеньевна** — преподаватель-стажер кафедры технологии и организация строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: сравнительные аспекты возведения зданий с применением керамических поризованных блоков Porotherm.

**Anatoliy Yugov** — DSc (Eng.), professor, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technical diagnostics, monitoring and estimation of the technical being of constructions of buildings and structures, technology of editing and calculations of the assembling being of constructions of buildings and structures, reconstruction of buildings and structures, quality management system.

**Dar'ya Bershadskaya** — graduate associate, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: comparative aspects of the raising of buildings with using ceramic block Porotherm.



УДК 622.268

**В. Н. ЛЕВЧЕНКО, Э. К. ФРОЛОВ, Е. Э. ЯРОШ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ РАБОТЫ АРОЧНОЙ ТРЕХЗВЕНЬЕВОЙ КРЕПИ НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ**

В данной статье на основе методов строительной механики стержневых систем была предложена методика расчета несущей способности арочной трехзвеневой крепи. Используя эту методику, была рассчитана несущая способность крепи как цельной конструкции и рассмотрена особенность нагружения элементов крепи при различных схемах нагружения верхняка. В результате анализа особенностей работы элементов крепи (стойки и верхняков) была предложена методика оценки работы крепи в податливом режиме и установлена рациональная схема нагружения, при которой металлическая трехзвеневая арочная крепь может работать как податливая конструкция при максимально возможной несущей способности, т. е. изменять периметр без деформации элементов. Теоретические расчеты были проверены на вертикальном стенде ДонУГИ, который позволяет испытывать крепь в натуральную величину.

**строительная механика, арочная крепь, верхняк, стойки, скользящий шарнир, продольная сила, поперечная сила, изгибающий момент**

Металлическая арочная крепь АКП-3 состоит из трех элементов: две стойки и верхняк. Нижняя часть стойки прямолинейная, верхняя — криволинейная с радиусом изгиба, равным радиусу изгиба верхняка. Т. к. верхняк и криволинейная часть стойки имеют одинаковый радиус кривизны, то они могут соединяться между собой внахлестку. Целостность конструкции обеспечивается наличием хомутов, которыми верхняк прижимается к стойке. Такой способ соединения элементов арочной крепи представляет собой скользящий шарнир, который обеспечивает податливый режим работы крепи. При этом следует отметить, что в отличие от рамных конструкций надземной части здания или сооружения, работающих в режиме заданных нагрузок, металлическая арочная крепь подземных сооружений работает в режиме заданных деформаций, т. е. задается податливый режим работы крепи, при котором допускается уменьшение ее периметра без нарушения эксплуатационных требований к подземному сооружению. Этим объясняется широкое применение арочной трехзвеневой крепи в горных выработках глубоких шахт. Нормальная работа крепи в податливом режиме определяется тем, что по мере опускания верхняка равномерно увеличиваются «нахлестки» на обоих узлах сопряжения верхняка со стойками. Однако опыт показывает, что обычно нормально работает только один из узлов податливости. Очень часто крепь вообще не работает в податливом режиме, что приводит к деформации элементов крепи. Чтобы исключить подобные негативные явления, необходимо оценить, будет ли установленная в данных горно-геологических условиях крепь работать в «нормальном» податливом режиме. Для этого следует установить соотношение между величиной силы, смещающей верхняк по стойке, и величиной силы, препятствующей этому смещению. Известно, что под действием внешней нагрузки в каждом сечении арки возникает изгибающий момент  $M$ , поперечная  $Q$  и продольная  $N$  силы, которые характеризуют внутренние усилия профиля в рассматриваемом сечении, определяют степень деформируемости материала крепи и, в конечном счете, — деформацию всей конструкции.

Под действием силы  $N$  материал работает на сжатие. На несущую способность крепи она не оказывает заметного влияния, и для цельной (единой) конструкции продольная сила не имеет большого значения. Но в конструкции, состоящей из нескольких элементов, продольная сила может вызвать

взаимное смещение этих элементов. Применительно к шахтной трехзвенной крепи АП-3 это означает, что продольная сила  $N$  может вызвать перемещение верхняка по стойке, что соответствует податливому режиму работы крепи. Такое явление возможно только в том случае, если сила  $N$ , возникающая на сопряжении верхняка и стойки, будет больше сопротивления этого узла податливости  $T$ .

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо определить величину продольной силы в сечениях крепи на сопряжениях верхняка со стойками и установить величину сопротивления узлов податливости, которая зависит от силы прижатия верхняка к стойке  $\Phi$  и коэффициента трения металла по металлу.

Лабораторные испытания показали, что сила  $\Phi$  не постоянна и зависит от характера взаимодействия верхняка и стойки. Минимальное значение этой силы определяется величиной предварительного натяжения хомутов. В дальнейшем она может возрасти в зависимости от величины опрокидывания стойки либо в сторону забуга, либо во внутрь выработки, а по мере увеличения нахлестки — и от перекоса хомутов.

При рассмотрении характера взаимодействия верхняка и стойки отметим следующее: в начале работы крепи сила прижатия верхняка к стойке определяется величиной предварительного натяжения соединительных хомутов; в процессе нагружения крепи в каждом ее сечении возникают поперечная  $Q$  и продольная  $N$  силы и изгибающий момент  $M$ ; если нагружается сводчатая часть крепи, то на сопряжении верхняка со стойкой возникают распоры, которые разводят концы верхняка. Одновременно эти же усилия опрокидывают стойку на забуг, поворачивая ее вокруг точки  $O$  (рис. 1).

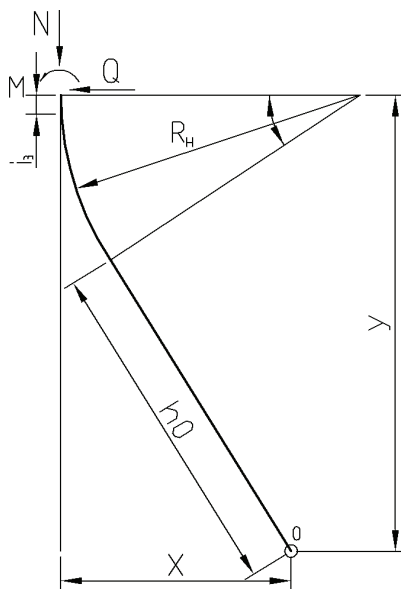


Рисунок 1 — Схема работы стойки металлической арочной трехзвенной крепи.

При этом концы верхняка поворачиваются относительно верхнего конца стойки, растягивая хомуты; под действием распорных усилий верхняк «выходит» из стойки. При этом в соединительных хомутах образуются силы взаимного прижатия элементов крепи  $\Phi$ , суммарную величину которых можно определить из следующего выражения (два случая, когда элементы крепи соединяются двумя хомутами):

$$\Phi = \frac{Q_y + N_x + M}{2l_b}, \quad (1)$$

где  $Q, N, M$  — соответственно поперечная, продольная силы и изгибающий момент в сечении арки на сопряжении верхняка со стойкой;  
 $l_b$  — величина нахлестки.

Величины  $x$  и  $y$  определяют из следующих выражений, используя геометрические параметры крепи (рис. 1):

$$x = R_H \left( 1 - \sin \frac{\alpha}{2} \right) + h_0 \cos \frac{\alpha}{2}; \quad (2)$$

$$y = R_H \cos \frac{\alpha}{2} + h_0 \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (3)$$

где  $R_H$  — радиус стойки крепи;  
 $h_0$  — длина прямой части стойки крепи;  
 $\lambda$  — центральный угол крепи.

Зная величину  $\Phi$ , можно определить сопротивление узла податливости в зависимости от коэффициента трения металла по металлу:

$$T = \Phi f. \quad (4)$$

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо знать величину внутренних усилий в сечениях крепи на соединении верхняка со стойками.

Эти усилия можно установить, если в качестве грузонесущей конструкции рассматривать только верхняк крепи. В этом случае влияние стоек крепи, соединительных хомутов, нахлестки, забутовки и различного вида заклинок уподобляется положению, когда на концы верхняка накладываются три связи (рис. 2). Расчеты по указанной схеме отличаются простотой и требуемой точностью, что весьма важно для их практического применения. Эта система (рис. 2) является трижды статически неопределимой и решается классическими методами строительной механики стержневых систем, применив метод «жестких консолей» [1].

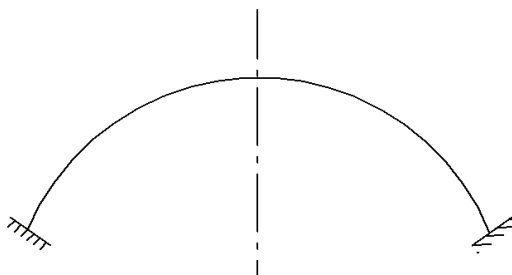


Рисунок 2 — Расчетная схема верхняка трехзвеньевой крепи.

В результате аналитического решения получены выражения для определения момента  $M$ , продольной  $N$  и поперечной  $Q$  сил в любом сечении арки при любом виде нагрузки  $P$ .

$$M = M_p + xV - yH - L; \quad (5)$$

$$Q = Q_p + V \cos \varphi + H \sin \varphi; \quad (6)$$

$$N = N_p + V \sin \varphi - H \cos \varphi, \quad (7)$$

где  $M_p, Q_p, N_p$  — момент, поперечная и продольная силы статически определимой балки с заданной нагрузкой;  
 $x, y$  — координаты рассматриваемого сечения арки;  
 $V, H, L$  — постоянные величины для данной арки и данного вида заданной нагрузки (определяются путем деления перемещений от заданной нагрузки на перемещения от единичных сил);  
 $\varphi$  — угол наклона оси арки в рассматриваемом сечении.

Для проверки расчетных данных нами были проведены испытания арочных крепей различной конфигурации на вертикальном стенде ДонУГИ. Параллельно с испытаниями эти же арки с такой же схемой загрузки (сосредоточенная сила по центру верхняка) были рассчитаны по изложенной выше методике. Степень приближения расчетных данных к экспериментальным оценивались в результате сопоставления величин несущей способности крепи, определяемых в том и другом случаях.

Таблица 1 – Результаты испытания

Параметры крепи				Результаты лабораторных испытаний		Результаты расчета				
$R_{н,с}$	$R_{н,м}$	$\frac{R_c}{R_b}$	$\lambda$ , градус	Несущая способность, кН	Величина опрокидывания стойки на забутовку, мм	Несущая способность, кН	Внутренние усилия			$\lambda = \frac{N}{T}$
							N, кН	Q, кН	M, кН·м	
2,6	1,27	2,1	106	250	50	250	-242	-113	-21,9	-0,24
2,9	1,7	1,7	80	220	85	254	-333	-113	-21,9	0,2
2,3	2,1	1,1	60	170	35	212	-262	-29	-21,9	0,24

На стенде были испытаны три пары рам металлической арочной трехзвеневой крепи с различным соотношением радиусов стойки и верхняка, изготовленных из спецпрофиля СВП 27. Результаты испытания (табл. 1) показали, что несущая способность крепи в жестком режиме возрастает с уменьшением радиуса верхняка по отношению к радиусу стойки. Однако при нагружении сосредоточенной силой в середине пролета арки крепь не работает в податливом режиме независимо от ее геометрических параметров. При этом было отмечено, что стойки крепей по мере их нагружения «заваливаются» в сторону «забутовки». В таблице приведены результаты экспериментальных испытаний указанных крепей, результаты расчета их несущей способности и коэффициент возможности работы крепей в податливом режиме  $\lambda$ .

Из данных, приведенных в таблице, следует, что величины несущей способности, определенные в лабораторных условиях и теоретически, вполне сопоставимы. Дальнейшее сопоставление фактических и расчетных данных показывает, что соотношение между продольной силой  $N$  и сопоставлением узла податливости  $T$  во всех случаях значительно меньше единицы, т. е. крепи при принятой схеме нагружения не могут работать в податливом режиме. Кроме того, учитывая, что сила  $Q$  имеет направление на забут (т. е. имеет отрицательный знак), стойки крепи должны опрокидываться также на забут. Причем наибольшее опрокидывание должно быть во втором случае.

Таким образом, сопоставление расчетных и экспериментальных данных свидетельствуют о достаточно хорошем совпадении результатов, что подтверждает целесообразность использования принятого метода расчета несущей способности крепи и предлагаемого способа оценки работы крепи в податливом режиме. При этом рекомендуется вести расчеты в следующем порядке:

- определяют максимальную несущую способность крепи (до появления пластического шарнира в каком-либо сечении арки);
- рассчитывают внутренние усилия ( $Q, N, M$ ) в сечении верхняка на сопряжении его со стойкой (формулы 5, 6, 7);
- находят величину прижатия верхняка к стойке  $\Phi$  (формула 1);
- находят величину сопротивления узла податливости  $T$  (формула 4);
- устанавливают величину  $\lambda = N/T$ . Если  $\lambda \geq 1$ , крепь будет работать в податливом режиме, если  $\lambda < 1$  – в жестком.

По предложенной методике были проведены теоретические расчеты режима работы крепи КМПА3-11,2 при следующих схемах нагружения верхняка сосредоточенной нагрузкой:

I схема – сосредоточенная нагрузка приложена по центру верхняка (вертикальной оси выработки);

II схема – сосредоточенные нагрузки приложены симметрично относительно центра верхняка на расстоянии от него по 250 мм;

III схема – сосредоточенные нагрузки приложены симметрично относительно центра верхняка на расстоянии от него по 750 мм;

IV схема – сосредоточенные нагрузки приложены симметрично относительно центра верхняка на расстоянии от него по 1 100 мм;

V схема – сосредоточенные нагрузки приложены симметрично относительно центра верхняка на расстоянии от него по 1 250 мм;

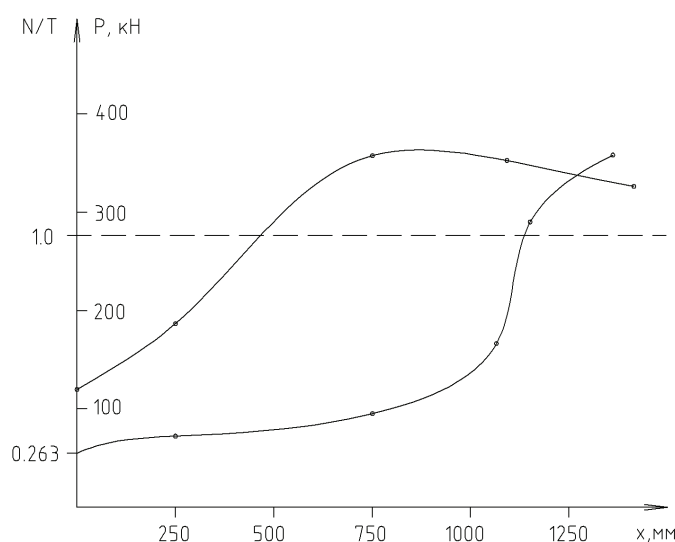
VI схема – сосредоточенные нагрузки приложены симметрично относительно центра верхняка на расстоянии от него по 1 400 мм;

VII схема – равномерно распределенная нагрузка по всему верхняку (это соответствует требованиям выполнения рекомендации «Инструкции по креплению горных выработок» [2] о необходимости полной забутовки закрепного пространства над верхняком).

Результаты расчетов представлены в табл. 2, а основные показатели (несущая способность крепи и коэффициент податливости  $\lambda$  при каждой схеме нагружения) — на рис. 3.

Таблица 2 — Результаты расчетов

Схема нагружения	Несущая способность крепи	Внутренние усилия в поперечном сечении крепи в местах соединения верхняка со стойками			Коэффициент податливости $\lambda = N/T$
		$N$ , кН	$Q$ , кН	$M$ , кН·м	
I	124	118	57	156	0,263
II	192	179	23	21,3	0,27
III	356	276	77	11,6	0,346
IV	352	210	-5	-13,8	0,634
V	335	190	-41	-21,9	1,284
VI	318	150	-65	-21,9	1,304
VII	1109	780	130	21,0	0,363

Рисунок 3 — Изменения несущей способности крепи ( $N$ ) и сопротивления узла податливости ( $T$ ).

Как видно, по мере разнесения точек приложения внешних сосредоточенных сил, относительно вертикальной оси крепи, несущая способность конструкции ( $P$ ) увеличивается и в пределах этих величин 750–1 100 мм она практически одинакова (350–352 кН). Однако при этом коэффициент податливости  $\lambda = N/T < 1,0$ , т. е. крепь работает в жестком режиме и следует ожидать появления пластических шарниров в районе сопряжения концов верхняка и стоек. При разнесении сил  $P$  на 1 250 мм от вертикальной оси крепи несущая способность уменьшается до 335 кН, а величина  $\lambda = 1,284$ , т. е. крепь будет работать в податливом режиме. Примечательно, что при этом момент и продольная сила меняют знак на отрицательный, т. е. они способствуют «заваливанию» стоек вовнутрь выработки, что соответствует нормальной работе крепи в податливом режиме.

Оптимальной величиной разноса сил  $P$  следует считать — 1 100 м от центра верхняка, что соответствует  $1/4,5$  пролета выработки. Эта же величина для заделки верхняка от  $1/3$  до  $1/4$  пролета выработки указана в нормативном документе по креплению выработок арочной крепью [2].

Следует отметить еще одно обстоятельство, вытекающее из анализа результатов расчетов (табл. 2), — равномерная забутовка крепи по всему периметру значительно увеличивает несущую способность (1 109 кН), но конструкция при этом не будет работать в податливом режиме, т. к.  $\lambda = 0,363$ . Отсюда следует вывод, что требование равномерной и плотной забутовки закрепленного пространства по всему периметру верхняка нельзя считать рациональным.

Общий вывод изложенных данных в данной статье таков: предложенный метод расчета арочных крепей соответствует фактическим данным и может быть использован для улучшения конструкции арочной крепи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булычев, Н. С. Проектирование и расчет крепи капитальных выработок [Текст] / Н. С. Булычев, Н. Н. Фотиева, Е. В. Стрельцов. — М. : Недра, 1986. — 198 с.
2. Зборщик, М. Г. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки [Текст] / М. Г. Зборщик, В. В. Назимко. — К. : Техника, 1991. — 248 с.
3. Литвинский, Г. Г. Стальные рамные крепи горных выработок [Текст] / Г. Г. Литвинский, Г. И. Гайко, Н. И. Кулдыркаев. — К. : Техника, 1999. — 213 с.
4. Рабинович, И. М. Основы строительной механики стержневых систем [Текст] / И. М. Рабинович. — М. : Госстройиздат, 1960. — 519 с.
5. Киселев, В. А. Строительная механика [Текст] / В. А. Киселев. — М. : Стройиздат, 1986. — 520 с.
6. Гелескул, М. Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок [Текст] / М. Н. Гелескул, В. Н. Каретников. — М. : Недра, 1982. — 478 с.
7. Ерофеев, Л. М. Повышение надежности крепи горных выработок [Текст] / Л. М. Ерофеев, Л. А. Мирошникова. — М. : Недра, 1988. — 247 с.
8. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчета крепи [Текст] / ВНИМИ, ВНИИ-ОМШС Минуглепрома СССР. — М. : Стройиздат, 1983. — 272 с.

Получено 11.09.2012

### В. М. ЛЕВЧЕНКО, Е. К. ФРОЛОВ, О. Е. ЯРОШ РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ РОБОТИ АРОЧНОГО ТРИЛАНКОВОГО КРІПЛЕННЯ НА ОСНОВІ БУДІВЕЛЬНОЇ МЕХАНІКИ СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У цій статті на основі методів будівельної механіки стрижневих систем була запропонована методика розрахунку несучої здатності арочної здатності триланкового кріплення. Використовуючи цю методику, була розрахована несуча здатність кріплення, як цілісної конструкції і розглянута особливість навантаження елементів кріплення при різних схемах навантаження верхняка. У результаті аналізу особливостей роботи елементів кріплення (стійок і верхняків) була запропонована методика оцінки роботи кріплення у податливому режимі і встановлена раціональна схема навантаження, при якій металеве триланкове арочне кріплення може працювати як податлива конструкція при максимально можливій несучій здатності, тобто змінювати периметр без деформації елементів. Теоретичні розрахунки були перевірені на вертикальному стенді ДонВУП, який дозволяє випробовувати кріплення в натуральну величину.

**будівельна механіка, арочне кріплення, верхняк, стійки, сквозний шарнір, поздовжня сила, поперечна сила, згинальний момент**

### VICTOR LEVCHENKO, EDUARD FROLOV, ELENA YAROSH THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF EVALUATION OF ARCH THREE — LINKED SUPPORT ON THE BASIS OF BUILDING MECHANICS OF BAR SYSTEM

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In the given article on the basis of building mechanics methods of calculated the bearing capacity of the support as an integral construction and examined the peculiarities of loading support links at different circuits of beam loading have been given. As a result of the analysis of the peculiarities of the links of the support (props and beams) function was suggested the technique of estimation of the support function in the compliant condition and was established a rational scheme of loading under which metal three - linked arch support can function as a compliant construction at maximal possible bearing capacity, i. e. to change the perimeter without deformation of elements. Theoretical analyses were tested on the vertical stand which allows to test the support of actual size.

**construction mechanics, arch lining, top, rack, slide the hinge, longitudinal force, transverse force, bending moment**

**Левченко Віктор Миколайович** — кандидат технічних наук, професор. Проректор з науково-педагогічної і виховної роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

**Фролов Едуард Костянтинович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри основ, фундаментів та підземних споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка та проектування заглиблених підземних споруд.

**Ярош Олена Едуардівна** — асистент кафедри основ, фундаментів та підземних споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування і будівництво підземної частини будівель та споруд.

**Левченко Виктор Николаевич** — кандидат технических наук, профессор. Проректор по научно-педагогической и воспитательной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

**Фролов Эдуард Константинович** — кандидат технических наук, доцент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка и проектирование заглубленных подземных сооружений.

**Ярош Елена Эдуардовна** — ассистент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование и строительство подземной части зданий и сооружений.

**Victor Levchenko** — PhD (Eng.), Professor, Vice-rector in education and pedagogic activities, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, chancellor's office. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

**Eduard Frolov** — PhD (Eng.), Associate Professor, Grounds, Foundations and Underground Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development and designing of underground structures.

**Elena Yarosh** — assistant, Grounds, Foundations and Underground Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: Design and construction of the underground part of buildings and constructions.

УДК 678+691.002.8

**А. Н. БАЧУРИН, В. В. НЕФЕДОВ, Н. А. МИРОНЧИК**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЗОЛОПЛАСТА**

В статье описан способ утилизации золы тепловых электростанций и полимерной фракции твердых бытовых отходов и получение нового композиционного материала на основе данных отходов. Предлагаемое технологическое решение позволяет решить проблему утилизации данных отходов в Украине. Разработана технология производства золопласта. Золопласт, как композиционный материал, включает в себя структурирующий наполнитель и связующую матрицу. В качестве наполнителя используется зола, а в качестве связующего — полимерная фракция твердых бытовых отходов. Также представлена технология изготовления изделий из данного материала (тротуарная плитка, смотровые люки колодцев, черепица). Приведены характеристики технологической линии и рассчитана себестоимость оборудования. Представлены отличия от традиционной линии производства аналогичных изделий. Описан процесс экструзии и представлено описание модификации экструдера.

**утилизация отходов, полимерные отходы, зола-унос ТЭС, композиционный материал, технология производства, оборудование**

### **АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

Проблема утилизации полимерной фракции твердых бытовых отходов (ТБО) и промышленных отходов имеет первостепенное значение для экологии и экономики Украины. Свалки и полигоны ТБО занимают огромные площади, к примеру в Донецкой области это более 500 кв. км. Отходы ТБО разлагаются, выделяя газы, токсичные фильтраты и другие опасные ядовитые вещества, загрязняющие грунтовые воды и окружающую среду.

В данной работе также рассматривается проблема утилизации золы-уноса ТЭС. Образование и содержание значительного количества золошлаковых отходов (ЗШО) является одной из экологических проблем для районов, где расположены ТЭС. Ежегодно в Украине образуется около 8 млн т ЗШО, большая часть которых складывается на золоотвалах. Золоотвалы ряда станций Украины близки к переполнению или уже переполнены, а их расширение требует значительных капитальных затрат, при этом землеотвод крайне затруднен, а в ряде случаев невозможен. Существующие методы утилизации золы не справляются с растущим количеством новообразующихся отходов ТЭС [1].

**Целью настоящей работы** является разработка оптимальных составов композиционных материалов на основе золы ТЭС и полимерной фракции ТБО, а также разработка технологии производства изделий из золопластовых смесей. Разработка технологической линии производства изделий из данного материала.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Одним из многочисленных компонентов ТБО является их полимерная фракция: упаковочные материалы и тара, корпуса различного оборудования, бытовой техники, трубы, мебель и многое другое. Их доля превысила 12 % в общем объеме ТБО, а ежегодный прирост составляет 10–12 % [2]. Полимеры практически не разлагаются под действием естественных факторов, как это происходит с другими органическими отходами, а те из полимеров, которые медленно, но разрушаются, в процессе разложения выделяют токсичные соединения, загрязняющие окружающую среду. Существующие способы



избавления от мусора путем простого сжигания по отношению к полимерным отходам просто недопустимы из-за токсичности газовых выделений.

В работе исследована возможность использования для переработки многих видов полимерных отходов (полиэтилен, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат, полипропилен), из которых наиболее перспективными являются отходы полиэтилентерефталата (ПЭТФ).

Полиэтилентерефталат составляет примерно 25 % общей массы полимерных отходов. В настоящее время это наиболее перерабатываемый полимер в мире, поскольку при переработке он легко гомогенизируется и не требует пластификации [3]. Полиэтилентерефталат — представляет собой продукт поликонденсации терефталевой кислоты, которая изготавливается на основе смол, добытых из нефти, и занимает ведущее место среди упаковочных материалов. ПЭТФ обладает следующими физико-механическими свойствами (таблица 1).

**Таблица 1** — Физические свойства полиэтилентерефталата

Свойство	Единица измерения	Значение
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1 360–1 400
Разрушающее напряжение при изгибе	МПа	50–70
сжатии		80–120
Модуль упругости	ГПа	2,5–3,0
Относительное удлинение при разрыве	%	2–4
Ударная вязкость	кДж/м <sup>2</sup>	30
Водопоглощение за 24 часа	%	0,3
Температура плавления	°С	255–265
Температура размягчения	°С	245–248
Температура стеклования	°С	70–80
Морозостойкость	цикл	500

В качестве второго компонента разрабатываемого композиционного материала принята зола-унос ТЭС.

Золопласт, как композиционный материал, включает в себя арматуру или армирующий материал и связующую матрицу [4]. В качестве армирующего материала используется зола-унос ТЭС, а в качестве связующего — полимерная фракция ТБО.

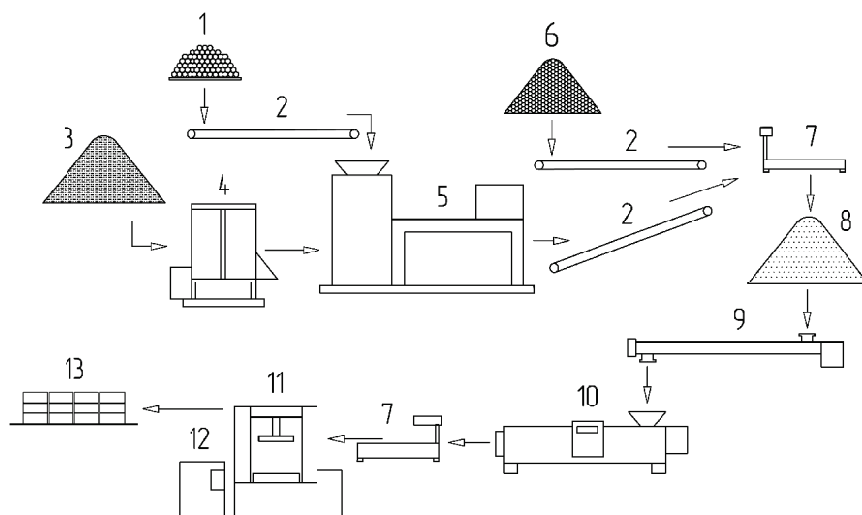
Данное решение позволит создать материал нового поколения, который по физико-механическим характеристикам не будет уступать бетону, а также позволит решить проблему утилизации полимерной фракции ТБО и золы-уноса ТЭС. Изделия из данного материала теоретически могут заменить аналогичные изделия, выполненные из бетона, такие как тротуарная плитка, дорожные плиты, бордюрный камень, мелкоштучные стеновые материалы, канализационные люки и другие изделия для жилищно-коммунального хозяйства.

На основании проведенных исследований была разработана технологическая линия производства изделий из золопласта.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЗОЛОПЛАСТА (РИС. 1)

Технология производства золопластиковых изделий состоит из нескольких этапов.

Первый этап производства заключается в подготовке полимерного сырья (ПЭТ, полиэтилена) из полимерной фракции до техногенного уровня (достаточного для промышленного использования). Полимерные отходы после сортировки по видам сырья (ПЭТ, полиэтилен) отправляются на технологическую подготовку. ПЭТ из сырьевого склада (1), по ленточному конвейеру (2), поступает в дробилку (5), где дробится до получения однородной фракции. Полиэтилен из сырьевого склада (3) поступает в агрегат агломерации (4), затем произведенный полимерный агломерат поступает на стадию дробления. Измельченные полимеры вместе с золой, транспортирующей ленточным конвейером из сырьевого склада (6), дозирование компонентов золополимерной смеси производится с помощью электронных весов (7), далее компоненты смешиваются до однородной массы. Далее золопластиковая смесь из склада (8) загружается с помощью шнекового конвейера (9) в двухшнековый экструдер (10). В экструдере смесь нагревается до рабочей температуры (230–270 °С) и с помощью шнеков, перемешиваясь,



**Рисунок 1** — Технологическая линия производства изделий из золопласта. Спецификация: 1 — склад вторичного ПЭТ сырья; 2 — ленточный конвейер; 3 — склад вторичного полиэтиленового сырья; 4 — агрегат для агломерации; 5 — дробилка для полимеров; 6 — склад золы ТЭС; 7 — электронные весы; 8 — склад золополимерной смеси; 9 — шнековый конвейер; 10 — экструдер; 11 — пресс с пресс-формой; 12 — система охлаждения пресс-формы; 13 — склад готовой продукции.

поступает в обогреваемый бункер, оснащенный дозатором готовой смеси, который выдает требуемую для изделия порцию смеси. Приготовленная сырьевая смесь дополнительно проходит весовой контроль на электронных весах. После чего готовая масса закладывается в пресс-форму, установленную на рабочем столе пресса (11). Пресс-форма имеет систему охлаждения (12). Формование изделия происходит прессованием с одновременным охлаждением пресс-формы. Длительность формования зависит от типа изготавливаемого изделия. По окончании выдержки на прессе изделие вынимается из пресс-формы и транспортируется на склад готовой продукции (13). На складе готовой продукции осуществляется выходной контроль качества готовой продукции (вес, геометрические размеры, наличие дефектов).

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Производительность линии — 500 кг/ч.

Мощность необходимая для запитки оборудования предприятия от электрической сети напряжением — 380 В, не более 48 кВт.

Производственная площадь — 80–120 м<sup>2</sup>.

Площадь складских помещений — 35–50 м<sup>2</sup>.

Количество рабочих в смену — 5 человек (2 человека работающих на этапе загрузки сырья, 2 человека работающих на этапе отгрузки золопластиковой смеси из экструдера и последующей прессовки, 1 механик смены).

Приблизительные удельные затраты электроэнергии 17–25 кВт/ч на 1 м<sup>2</sup> готовой продукции. Изделие охлаждается при помощи водоохлаждаемой пресс-формы.

Используется водяное охлаждение замкнутого типа, что приводит к уменьшению потребления воды за счет повторного использования отработанной предварительно охлажденной жидкости и исключает выброс в окружающую среду отработанной воды.

Список оборудования используемого для производства приведен в таблице 2.

В наше время быстрыми темпами развивается производство изделий из отходов полимеров. Предприятия, работающие в данной отрасли, имеют уже сложившуюся (традиционную) схему переработки и производства полимерных изделий.

Новизна данного оборудования заключается в том, что экструдер дополнительно оснащен накопительным бункером-термосом, что дает возможность накапливать материал и при необходимости проведения ремонтных и профилактических работ производить выдачу готовой смеси, в результате чего линия по производству изделий работает непрерывно. Рабочее состояние материала поддерживается за счет изоляционного слоя бункера. Между изоляционным материалом и стенкой бункера

Таблица 2 — Состав оборудования для линии производства золопластиковых изделий

№ п/п	Наименование оборудования	Количество рабочих единиц	Производительность	Предварительная стоимость (грн.)
1	Ленточный конвейер	3	25 т/ч	40 000
2	Измельчитель пластика	1	100–150 кг/час	97 350
3	Измельчитель пленочных материалов (Агломератор)	1	100–200 кг/час	85 000
4	Шнековый конвейер	1	20 т/ч	50 000
5	Экструдер двухшнековый	1	180 кг/ч	129 750
6	Пресс гидравлический	1	—	209 000
7	Пресс-форма	1	—	185 068
8	Система охлаждения	1	—	13 250
9	Вспомогательное оборудование	—	—	1 200
Предполагаемые начальные затраты на приобретение оборудования				521 018

имеется пространство, в полость которого запускается водяной пар, который подогревает смесь из золы и полимеров, сохраняя пластические свойства смеси. Для подачи материала из бункера используется вращающийся шнек, производящий равномерное дозирование материала.

Также экструдер оснащен сменной выдавливающей головкой, которая задает профиль будущего изделия. Для замены головки оператору нет необходимости прилагать много усилий, это достигается за счет доступности ко всем соединительным узлам (пазам и болтовым соединениям). Замена профилирующей головки позволит быстро перейти к изготовлению нового изделия. Таким образом, предприятие расширяет номенклатуру производимой продукции и получает возможность выполнять различные заказы, как для сферы ЖКХ, так и для физических лиц. Для этого нет необходимости кардинальной перестройки производственной линии, привлечение большого количества рабочей силы, переобучения рабочего персонала, привлечения дополнительных денежных средств, закупки нового или дополнительного оборудования.

## ВЫВОДЫ

Результатом данной научно-исследовательской работы является создание нового композиционного материала — золопласта, с использованием отходов золы ТЭС и полимерной фракции ТБО, а также разработана технологическая линия получения материала и изделий на его основе. Данная технология позволяет изготавливать широкую номенклатуру изделий и конструкций, используемых в строительном материаловедении, промышленном и гражданском строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве и дорожном строительстве.

Использование золы ТЭС и полимерной фракции ТБО позволило значительно сократить стоимость готовой продукции. Предлагаемое технологическое решение позволяет решить проблему утилизации этих отходов, остро стоящую на данный момент в Украине.

Рационально подобранное оборудование обеспечивает выполнение технологических операций на высоком уровне с большой производительностью и низкой себестоимостью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Украина привлечет Польшу для утилизации золошлаков на своей территории [Электронный ресурс] / отредактировано автором // РБК-Україна. — 2012. — 20.09. — Режим доступа : <http://www.rbc.ua/rus/newsline/show/ukraina-privlechet-polshu-dlya-utilizatsii-zoloshlakov-na-20092012172600>.
2. Клинков, А. С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов [Текст] : Учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов. — Тамбов : Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2005. — 80 с.
3. Легонькова, О. А. Отходы PET в России: необходима утилизация [Электронный ресурс] / О. А. Легонькова, С. Фидлер // PLASTINFO. — 2012. — 23.07. — Режим доступа : <http://plastinfo.ru/information/articles/405/>.
4. Айрапетов, Г. А. Строительные материалы [Текст] : Учебно-справочное пособие / Г. А. Айрапетов, Г. В. Несветаев. — Ростов : Феникс, 2004. — 541 с.
5. Кордикова, Е. И. Полимерные и композиционные материалы [Текст] : Справочное пособие по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-36 01 08 «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов» / Е. И. Кордикова. — Минск : БГТУ, 2010. — 107 с.

6. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Текст] : Учебное пособие / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин, А. А. Берлин. — СПб. : Профессия, 2008. — 560 с.

Получено 02.10.2012

**О. М. БАЧУРИН, В. В. НЕФЕДОВ, М. А. МИРОНЧИК**  
**ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИРОБІВ ІЗ**  
**ЗОЛОПЛАСТА**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті описаний спосіб утилізації золи теплових електростанцій і полімерної фракції твердих побутових відходів та отримання нового композиційного матеріалу на основі цих відходів. Пропоноване технологічне рішення дозволяє розв'язати проблему утилізації цих відходів в Україні. Розроблено технологію виробництва золопласту. Золопласт як композиційний матеріал включає в себе структурувальний наповнювач і сполучну матрицю. Як наповнювач використовується зола, а як сполучальне — полімерна фракція твердих побутових відходів. Також представлена технологія виготовлення виробів з цього матеріалу (тротуарна плитка, оглядові люки колодязів, черепиця). Наведено характеристики технологічної лінії і розрахована собівартість обладнання. Представлені відмінності від традиційної лінії виробництва аналогічних виробів. Описано процес екструзії і представлено опис модифікації екструдера.

**утилізація відходів, полімерні відходи, зола-винесення ТЕС, композиційний матеріал, технологія виробництва, обладнання**

**ALEKSEY BACHURIN, VLADISLAV NEFEDOV, NICHOLAS MIRONCHIK**  
**TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF ASH STRATUM**  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This paper describes a method of disposal of ash of thermal power plants and the polymer fraction of municipal solid waste, and receive a new composite material based on waste. The proposed technological solution allows to solve the problem of disposal of the waste in Ukraine. The technology of production ash stratum has been designed. Ash stratum as composite material includes structuring filler and binder matrix. Ash is used as filler, and as a binder — polymer fraction of municipal solid waste. Also featuring technology for manufacturing products from this material (pavers, manholes wells, tile) has been represented. The characteristics of the production line and the calculated cost of the equipment has been given. Differences from traditional lines of production of similar products have been represented. The process of extrusion and describes the modification of the extruder has been explained.

**recycling, plastic waste, fly ash thermal power plants, composite material, production technology, equipment**

**Бачурін Олексій Микитович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури, начальник відділу інтелектуальної власності. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенних твердих побутових відходів у композиційні будівельні матеріали.

**Нефедов Владислав Васильович** — студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: особливості патентування, технологія будівельних матеріалів, утилізація промислових і твердих побутових відходів, композиційні матеріали.

**Мирончик Микола Анатолійович** — студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: механіка виробництва та дорожнього будівництва, обладнання для виробництва будівельних матеріалів.

**Бачурин Алексей Никитович** — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, начальник отдела интеллектуальной собственности. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенных твердых бытовых отходов в композиционные строительные материалы.

**Нефедов Владислав Васильевич** — студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: особенности патентования, технология строительных материалов, утилизация промышленных и твердых бытовых отходов, композиционные материалы.

**Мирончик Николай Анатольевич** — студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: механика производства и дорожного строительства, оборудование для производства строительных материалов.

**Aleksey Bachurin** — PhD (Eng.), an Assistant Professor, Technology of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Head of Intellectual Property. Research interests: the development of efficient technologies for processing of man-made solid waste in composite building materials.

**Vladislav Nefedov** — student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: features patenting technology of building materials, recycling of industrial and municipal solid waste, composite materials.

**Nicholas Mironchik** — student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: mechanics of production and road, construction equipment for the production of building materials.

УДК 691.58

**Н. С. КОННОВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **О ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИОННОЙ МАСТИКИ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Разработаны рекомендации по производству и использованию модифицированных битумных эмульсионных паст и мастик. Для устройства гидроизоляции конструкций фундаментов объектов, которые построены ООО «Донбассремстрой», а именно: склада оборудования, парокотельной и оздоровительного корпуса под СТО автомобилей (350 м<sup>2</sup>), кровли трансформаторной подстанции 35/6 кВ в г. Донецке (644 м<sup>2</sup>) и бисквитного цеха № 1 Горловской кондитерской фабрики (470 м<sup>2</sup>) — использовано битумополимерсерную эмульсионную мастику. Выполнен расчет технико-экономической эффективности, который показал, что снижение себестоимости производства 1 т модифицированной битумной эмульсионной мастики с учетом экономии битума и продления сроков эксплуатации гидроизоляционных покрытий составляет 916,7 гривен.

**модифицированная битумная эмульсионная мастика, практическое применение мастики, технико-экономическая эффективность применения модифицированной мастики**

Ранее в работах [1–5] оптимизированы составы, параметры режимов технологических процессов производства модифицированных битумноэмульсионных паст и мастик, изучены закономерности формирования структуры антифильтрационного асфальтового штукатурного покрытия на поверхности бетонных и железобетонных изделий. В настоящей работе показано практическое применение результатов исследований и выполнен технико-экономический расчет эффективности использования модифицированной битумной эмульсионной мастики для гидроизоляции железобетонных конструкций.

Для проверки теоретических и экспериментальных данных, отработки технологии производства и применения битумнополимерсерных эмульсионных паст и мастик, изучения процессов структурообразования гидроизоляционных слоев, устроенных из модифицированных битумных эмульсионных мастик, и оценки эксплуатационных свойств антифильтрационных покрытий на поверхности железобетонных конструкций в 2009 году на участке производства строительных материалов ООО «Донбассремстрой» приготовлены битумнополимерсерные эмульсионные мастики в соответствии с «Рекомендациями по производству и применению модифицированных битумных эмульсионных паст и мастик».

Битумнополимерсерное вяжущее приготавливалось на асфальтобетонном заводе филиала Новоазовского автодора ООО ГАК «Автомобильные дороги Украины» дочернего предприятия Донецкий облавтодор в двадцатитонном битумоварочном котле, оснащенный вертикально установленной лопастной мешалкой. Транспортирование битумнополимерсерного вяжущего осуществлялось в автогудронаторе (Д-351), из которого модифицированное органическое вяжущее перекачивали в расходный битумоварочный котел Д-506 участка производства строительных материалов ООО «Донбассремстрой».

Технологический процесс приготовления битумнополимерсерных эмульсионных паст и мастик состоял из следующих элементных операций: готовили шихту эмульгатора в виде смеси гашеной извести с асбестом 7-го сорта и водой; битумнополимерсерное вяжущее, нагретое до температуры 150–160 °С, перекачивали из битумоварочного котла битумным насосом (ДС-3) в объемный дозатор органического вяжущего. В смеситель пасты (СО-85), уже содержащий рассчитанное на замес

© Н. С. Коннов, 2012

количество суспензии эмульгатора, при непрерывном перемешивании за 4–6 раз поочередно (порциями) вводили отдозированное на замес битумнополимерсерное вяжущее и воду; битум подавался в смеситель до тех пор, пока смесь в смесителе не загустевала до консистенции полужесткого раствора (5–6 см глубины погружения конуса СтройЦНИЛ), а затем смесь разводили водой до консистенции пластичного раствора (8–10 см глубины погружения конуса СтройЦНИЛ); эти операции повторяли до тех пор, пока в пастосмеситель были введены органическое вяжущее и вода, рассчитанные на замес; готовую пасту разжижали водой до рабочей консистенции (глубина погружения конуса СтройЦНИЛ 12–14 см).

При приготовлении битумнополимерсерной эмульсионной мастики в пасту вводили отдозированный молотый отсеб дробления отвалного мартеновского шлака, перемешивали 3–4 минуты; готовую мастику разбавляли водой до рабочей консистенции.

В течение 2009 года произведено 40 т битумнополимерсерных эмульсионных мастик, которые использованы для устройства гидроизоляции конструкций фундаментов, склада оборудования, парокотельной и оздоровительного корпуса под СТО автомобилей (350 м<sup>2</sup>), а также кровли трансформаторной подстанции 35/6 кВ в г. Донецке (648 м<sup>2</sup>), а также при ремонте кровли бисквитного цеха № 1 Горловской кондитерской фабрики (470 м<sup>2</sup>).

При устройстве гидроизоляции фундаментов и кровель использовали передвижную установку ЦНИЛ-3 производительностью 200 м<sup>2</sup> покрытий в 1 ч. При устройстве гидроизоляции конструкций фундаментов склада оборудования, парокотельной и оздоровительного корпуса СТО автомобилей поверхность фундаментных блоков грунтовали разжиженной битумной мастикой.

После огрунтовки поверхности, спустя 16 часов, с помощью растворонасоса наносили четыре слоя, каждый толщиной 4 мм, причем каждый последующий слой наносили после стабилизации предыдущего (на следующие сутки). При нанесении каждого слоя гидроизоляции контролировали: непрерывность штукатурного покрова; степень высыхания и сцепления его с бетонной поверхностью; наличие видимых дефектов: пузырей, вздутий, потеков, ноздреватых участков и др.

Степень высыхания гидроизоляционного слоя проверяли вдавливанием штампа диаметром 20 мм (высыхание покрова считается достаточным, если образующееся при этом углубление не превышало 2 мм). Дефектные участки исправляли и повторно контролировали качество гидроизолируемой поверхности. Проверку толщины гидроизоляционного слоя производили специальным щупом.

Выполнен расчет фактической экономической эффективности внедрения модифицированной битумной эмульсионной мастики для гидроизоляции железобетонных конструкций.

#### КРАТКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СРАВНИВАЕМЫХ ВАРИАНТОВ

**Базового варианта.** ООО «Донбассремстрой» использует для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций, а также для устройства безрулонных кровель битумные эмульсионные мастики состава: битумноэмульсионная паста — 85 % (битум нефтяной дорожный БНД 40/60 (50 %), известь гашеная (16 %), асбест 7-го сорта (8 %), вода (26 %), минеральный наполнитель — молотый доломит Докучаевского месторождения — 15 %). Стабилизированные битумно-эмульсионные мастики характеризуются высокой температурой хрупкости  $T_{\text{хр}} = -15^\circ\text{C}$ , отсутствием эластичности, низкой адгезией к поверхности минеральных материалов (по методу ХНАДУ  $A = 17\%$ ). Это приводит к тому, что при отрицательных температурах гидроизоляционные покрытия, например кровельные, растрескиваются на отдельные карты с трещинами между ними с шириной раскрытия 10–15 мм и длиной несколько метров. Это приводит к низкой долговечности антифильтрационных гидроизоляционных покрытий.

**Новой техники.** В качестве нового варианта принята битумнополимерсерная эмульсионная мастика состава: битумнополимерсерная эмульсионная паста — 85 % (битумнополимерсерное вяжущее (50 %), известь гашеная (16 %), асбест 7-го сорта (8 %), вода (26 %)), минеральный наполнитель — молотый отсеб дробления отвалного мартеновского шлака с удельной поверхностью 350–400 м<sup>2</sup>/кг (15 %), вода затворения сверх 100 %) для обеспечения консистенции, характеризуемой по конусу СтройЦНИЛ — 10–12 см.

**Преимущества новой техники по сравнению с базовой.** Внедрение модифицированных эмульсионных паст и мастик позволяет экономить в составе модифицированной битумной эмульсионной пасты, а следовательно, и в мастике до 40 % нефтяного дорожного битума. Гидроизоляционные покрытия из модифицированной эмульсионной мастики будут в 3–5 раз долговечнее, потому что стабилизированные битумнополимерсерные эмульсионные мастики в сравнении с немодифицированными характеризуются: более низкой температурой стеклования  $T_{\text{хр МБЭМ}} = -32^\circ\text{C}$  против  $T_{\text{хр БЭМ}} = -15^\circ\text{C}$ ;

более высокой теплоустойчивостью  $115^{\circ}\text{C} > 70^{\circ}\text{C}$ ; относительным удлинением при разрыве  $175\% > 40\%$ ; адгезией к поверхности минеральных материалов  $0,4 \text{ МПа} > 0,2 \text{ МПа}$ ; коэффициентом старения после 1 200 часов (температура прогрева  $70^{\circ}\text{C}$  в комбинации с ультрафиолетовым облучением)  $1,2 < 1,4$ .

**Методика расчета годового экономического эффекта.** Для определения экономической эффективности применения модифицированных битумных эмульсионных паст и мастик для антифилътрационной гидроизоляции на поверхности железобетонных конструкций выполнен технико-экономический расчет в соответствии с «Инструкцией по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений», (СН 509-78), а также ДБН Д. 1.1-1-2000.

**Основная формула расчета.** В связи с тем, что сравниваются варианты устройства гидроизоляции бетонных и железобетонных подземных конструкций и устройства кровли из традиционной битумной эмульсионной мастики — базовый вариант и модифицированной битумной эмульсионной мастики — новый вариант, срок службы которых меньше срока службы всего конструктива зданий и сооружений, то расчет годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_r$  от создания и использования антифилътрационной гидроизоляции производили по формуле (3) СН 509-78.

$$\mathcal{E}_r = [(Z_1 - Z_{C1}) \cdot \varphi + \mathcal{E}_3 \cdot (Z_2 - Z_{C2})] \cdot A_r, \quad (1)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  — приведенные затраты на заводское производство битумных модифицированных эмульсионных паст и мастик с учетом стоимости транспортирования их к строительным объектам, на которых выполняется гидроизоляция по сравниваемым вариантам базовой и новой техники в гривнах на единицу измерения;  
 $Z_{C1}$  и  $Z_{C2}$  — приведенные затраты на устройство гидроизоляционных покрытий из этих материалов (без учета стоимости их заводского производства) по сравниваемым вариантам базовой и новой техники в гривнах на единицу измерения;  
 $\varphi$  — коэффициент изменения срока службы новой конструкции повышенной долговечности по сравнению со сроком службы базового варианта.

Данный коэффициент рассчитывается по формуле (2):

$$\varphi = \frac{P_1 + P_2}{P_2 + E_n}, \quad (2)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  — доли сметной стоимости гидроизоляционных слоев, например в кровлях, в расчете на один год их службы по сравниваемым вариантам;  
 $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_n = 0,15$ ).

Срок службы гидроизоляционного покрытия, устроенного из битумных модифицированных эмульсионных мастик, будет в 3–5 раз более продолжительным, чем традиционного гидроизоляционного покрытия [4, 5].

$\mathcal{E}_3$  — экономия в сфере эксплуатации сравниваемых кровельных гидроизоляционных покрытий за срок их службы;

$A_r$  — годовой объем производства и использования модифицированных эмульсионных паст и мастик в натуральных единицах.

Так как приведенные затраты на устройство долговечных гидроизоляционных покрытий по новому и старому вариантам ( $Z_{C1}$  и  $Z_{C2}$ ) имеют одинаковое значение и экономия в сфере эксплуатации сравниваемых вариантов принимается равной нулю, то указанные величины при расчёте формулы «методом на разность» сокращаются и данная формула принимает вид (3):

$$\mathcal{E}_r = (Z_1 \cdot \varphi - Z_2) \cdot A_r = (C_1 \cdot \varphi - C_2) \cdot A_r, \quad (3)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — соответственно себестоимость 1 т базового и нового варианта битумной эмульсионной мастики (табл. 1).

Подставляя в выражение (3) численные значения, определяем величину годового экономического эффекта от внедрения 40 т модифицированной битумной эмульсионной мастики.

$$\mathcal{E}_r = (2\,006,21 \cdot 1,307 - 1\,705,4) \cdot 40 = 36\,668,66 \text{ грн. (согласно калькуляции, табл.)}.$$



**Таблица** — Калькуляция стоимости 1 т битумной эмульсионной мастики (базовый вариант) и 1 т битумнополимерсерной эмульсионной мастики (новый вариант), приготовленных на участке строительной индустрии ООО «Донбассремстрой»

№ п/п	Наименование затрат	Един. измер.	Базовый вариант		Новый вариант		Обоснование	
			Расход на 118,4 т	Цена ед /грн./	Сумма, /грн./	Расход на 112,44 т		Цена ед /грн./
Раздел 1 Затраты труда								
1	Затраты труда на производстве	чел.час	25,5	—	—	25,5	—	СМУ-93 27-511
Раздел 2 Основные материалы								
1	Битум нефтяной дорожный, БНД 40/60	т	42	3 400	—	25,2	3 400	85 680
2	Каучук СКМС-30	т	—	—	—	0,84	8 540	7 173,6
3	Техническая сера	т	—	—	—	16,8	456	7 660,8
4	Асбест 7-го сорта	т	6,72	3 910	26 275,2	6,72	3 910	26 275,2
5	Гашеная известь	т	13,44	680	9 139,2	13,44	680	9 139,2
6	Минеральный доломитовый порошок	т	16	324	5184	—	—	—
7	Молотый отсев дробления отвалного маргеновского шлака	т	—	—	—	16	46	736
8	Сольвент	т	—	—	—	4,2	5 000	21 000
9	Вода техническая	т	40,24	900	36 216	40,24	900	36 216
ИТОГО			219 614,4		193 880,8		Данные заводов изготовителей франко-склад ООО «Донбасремстрой»	
ВСЕГО с транспортно-заготовительными расходами – 5%			230 595,12		20 357,84			
Раздел 3 Дополнительные материалы								
1	Электроэнергия	кВт.ч	680	0,5	340	680	0,5	340
2	Топливо (в пересчете на мазут)	т	1,62	3 754	6 081,48	1,62	3754	6 081,48
ИТОГО			6 421,48		6 421,48		6 421,48	
Раздел 4 Оплата труда								
1	Зароботная плата на производстве	грн.			343,75			343,75
ИТОГО			343,75		343,75		СМУ-93 27-511	
Раздел 5 Отчисления на социальные мероприятия								
1	Пенсионный фонд – 33,2 %				114,13			114,13
2	На случай безработицы – 1,6 %				3,595,5			5,5
3	По временной потере трудоспособности – 2,5 %				4,81			4,81
4	От несчастных случаев на производстве – 1 %				7,98			7,98
ИТОГО			132,42		132,42		БДН Д 11-2000	
Раздел 6 Административные расходы								
1	Административные расходы 1,32 грн/ч-ч	грн.			3,58			БДН Д 11-2000
ИТОГО			3,58		3,58		3,58	
Раздел 7 Амортизация								
	Амортизация производства				38,6			38,6
ИТОГО			38,6		210 514,67		СМУ-93 27-511	
ВСЕГО			237 534,95		1 705,4			
СЕБЕСТОИМОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА 1 Т БИТУМНОЙ МАСТИКИ			2 006,21					

## ВЫВОДЫ

По результатам исследований для ООО «Донбассремстрой» разработаны «Рекомендации по производству и применению модифицированных битумных эмульсионных паст и мастик».

Опыт производства и использования битумнополимерсерных эмульсионных мастик для гидроизоляции фундаментов и кровель объектов, которые возведены ООО «Донбассремстрой» в 2009 году показал эффективность их применения с точки зрения индустриальности, экологичности, ресурсо- и экономичности устройства протекторных антифилтрационных штукатурок при защите конструкций зданий и сооружений от действия грунтовых вод и осадков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братчун, В. И. О параметрах технологических режимов эмульгирования битумнополимерсерных паст [Текст] / В. И. Братчун, Н. С. Коннов, Н. А. Столярова // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. — 2009. — Вип. 35. — С. 38–44.
2. Коннов, Н. С. О закономерностях формирования структуры антифилтрационного асфальтового штукатурного покрытия на поверхности бетонных и железобетонных конструкций на основе модифицированной битумнополимерсерной эмульсионной мастики [Текст] / Н. С. Коннов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури / М-во освіти і науки України, Донбаська нац. академія будівництва і архітектури. — Макіївка, 2009. — Вип. 2009-1(75) : Сучасні будівельні матеріали. — С. 46–51.
3. Модифицированные битумные эмульсионные пасты и мастики для устройства гидроизоляции железобетонных конструкций [Текст] / В. И. Братчун, Н. С. Коннов, М. В. Деркач, Н. П. Нагорная // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. — 2008. — Вип. 31. — С. 52–57.
4. Коннов, Н. С. О технологии производства битумных эмульсионных паст и мастик [Текст] / Н. С. Коннов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури / М-во освіти і науки України, Донбаська нац. академія будівництва і архітектури. — Макіївка, 2008. — Вип. 2008-1(69) : Сучасні будівельні матеріали. Композиційні матеріали для будівництва. — С. 44–47.
5. Коннов, Н. С. О составах битумных паст и мастик [Текст] / Н.С. Коннов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури / М-во освіти і науки України, Донбаська нац. академія будівництва і архітектури. — Макіївка, 2007. — Вип. 2007-1(63) : Сучасні будівельні матеріали. Композиційні матеріали для будівництва. — С. 86–89.

Получено 04.10.2012

**М. С. КОННОВ**

**ПРО ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНУ ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ  
МОДИФІКОВАНОЇ БІТУМНОЇ ЕМУЛЬСІЙНОЇ МАСТИКИ ДЛЯ  
ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури**

Для ТОВ «Донбасрембуд» розроблені «Рекомендації з виробництва і застосування модифікованих бітумних емульсійних паст і мастик». Для улаштування гідроізоляції конструкцій фундаментів об'єктів, що побудовані ТОВ «Донбасрембуд», а саме: складу обладнання, парокотельні та оздоровчого корпусу СТО автомобілів (350 м<sup>2</sup>) і покрівель трансформаторної підстанції 35/6 кВ у м. Донецьку (644 м<sup>2</sup>) та бісквітного цеху № 1 Горлівської кондитерської фабрики (470 м<sup>2</sup>) — використано бітумнополімерсіркову емульсійну мастику. Зниження собівартості виробництва 1 т модифікованої бітумної емульсійної мастики з урахуванням економії бітуму і подовження термінів експлуатації гідроізоляційних покриттів складає 916,7 гривень.

**модифікована бітумна емульсійна мастика, практичне використання мастики, техніко-економічна ефективність використання модифікованої мастики**

NIKOLAY KONNOV

ABOUT TECHNICAL FINANCIAL VIABILITY OF THE USE OF THE  
MODIFIED BITUMINOUS EMULSIFY MASTIC FOR DAMPPROOFING OF  
REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Recommendations on a production and use of the modified bituminous emulsify pastes and mastics have been developed. For the device of dampproofing of constructions of foundations of objects which are built by LTD. «Donbasremstroy», namely: storage of equipment, boiler plant and health corps under ONE HUNDRED cars (350 m<sup>2</sup>), roofs of transformer substation of 35/6 kv. in Donetsk (644 m<sup>2</sup>) and biscuitine workshop <sup>1</sup>1 of Gorlovka pastry factory (470 m<sup>2</sup>) a polymeric sulphuric emulsify bitumastic is used. The calculation of technical economic efficiency, which rotined that the decline of production of 1t of the modified emulsify bitumastic cost taking into account the economy of bitumen and extension of terms of exploitation of waterproofing coverages made 916,7 grn has been made.

**modified bituminous emulsify mastic, practical application of mastic, technical economic efficiency of application of the modified mastic**

**Коннов Микола Сергійович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри технології, організації будівельного виробництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних складів технологій виробництва бітумноемультійних паст і мастик для улаштування гідроізоляції.

**Коннов Николай Сергеевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации строительного производства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных составов технологий производства битумноэмульсионных паст и мастик для устройства гидроизоляции.

**Nikolay Konnov** — PhD in Engineering, associate professor, Technology, Organizations of Building Production Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective compositions of technologies of production bitumen emulsify pastes and mastics for the device of hydraulic isolation.

УДК 691.075.5

**Ю. В. ЦАПКО**

Київський науково-дослідний інститут судових експертиз МЮ України

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕСТРУКЦІЇ ДЕРЕВИНИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Ефективність застосування обробленої деревини визначається рівнем здатності антипіренів і антисептиків протистояти дії термічного та біологічного розкладу модифікованого матеріалу і обумовлюється розкладом засобів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів, зміною напрямлення розкладу деревини в сторону утворення негорючих газів і важкогорючого коксового залишку, гальмування окислення в газовій і конденсованій фазі, утворенням на поверхні деревини теплозахисного шару коксу. Проведено дослідження процесу біологічного руйнування і термодеструкції модифікованої деревини та встановлено стійкість проти дії мікроорганізмів і підвищення коксового залишку у 3÷4, а енергії активації при піролізі у два рази. Методом хроматографії здійснено якісний і кількісний аналіз одержаних продуктів та встановлено зменшення горючих газів понад 40 %, збільшення негорючих у 8 разів та обґрунтовано ефективність застосування модифікаторів. **термодеструкція деревини, енергія активації, піроліз, хроматографія, модифікація**

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ**

Капітальне будівництво та реконструкція існуючих об'єктів цивільного, промислового та спеціального призначення пов'язане з використанням деревини, яка чутлива до впливу високої температури та біологічного пошкодження, тобто здатністю зберігати функціональні властивості в умовах експлуатації.

З урахуванням цих проблем прийнято нормативні документи, які вимагають при проектуванні конструкцій з деревини враховувати їх стійкість проти біологічних організмів, а також проводити захисне оброблення будівельних матеріалів спеціальними засобами. Сутність захисту антипіренами та антисептиками тлумачиться в гальмуванні процесів термічного та біологічного розкладу целюлози, зниження константи швидкості реакцій та енергії активації [1, 2].

### **АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ**

Для комплексного захисту деревини від загоряння і біологічного руйнування запропоновано невелику кількість препаратів, зокрема суміш сульфату амонію, діамонійфосфату і фтористого натрію (МС) або ортоборату натрію і борної кислоти (ББ) та суміш карбонату натрію і борної кислоти (БС). На сьогоднішній день з'явилися ефективні просочувальні суміші для деревини, зокрема композиція з антипірену (фосфати і сульфат амонію) і антисептика полімерного походження (полігексаметиленгуанідинфосфат) — ДСА-1 та ДСА-2 [3]. У випадку застосування ДСА на поверхні деревини утворюється полімерна плівка, що перешкоджає виходу антипірену з деревини на поверхню та запобігає вільному доступу кисню повітря, змінюючи механізм піролізу целюлози і сповільнюючи окислювальні процеси [10].

### **МЕТА РОБОТИ**

На основі комплексного захисту деревини від загоряння і біологічного руйнування, з урахуванням синергічної дії антипірену та антисептика, створити суміші для вогне- та біозахисту деревини шляхом використання як антипірену водних розчинів діамонійфосфату, сульфату амонію, а як антисептика — полігексаметиленгуанідинфосфат сечовини і полігексаметиленгуанідин поліфосфат амонію.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Подальші дослідження з оцінювання динаміки біообростання дерев'яних брусків, що послідовно обробляли антипіреном (розчин солей з діамонійфосфату та сульфату амонію) і антисептиком та комплексними сполуками антисептика та антипірену. Захищені бруски деревини обробляли суспензією спор основних видів домових грибів (настояний, білий, пливчастий (*Coniophora*, *Merulius*, *Hentinas lipidens*), а також стовбовий і шпальний лускоподібний (*Trametes serialis*, *Poria vulgaris*)) та досліджували згідно з ГОСТ 26603 [4]. Результати досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1 — Вплив композицій на стійкість деревини до біоруйнування

Матеріал	Тип біозахисного препарату	Поглинання препарату, мас. %	Втрати маси після випробувань, %
Деревина сосни	полігексаметиленгуанідинфосфат	10,42	8,02
	полігексаметиленгуанідинфосфат т сечовини	12,01	8,31
	полігексаметиленгуанідинполіфосфат амонію	6,25	6,72
	біхромат натрію (калію) + сульфат міді	3,75	4,47
	необроблена	—	39,63

Як видно із таблиці, зразки деревини та фанери, що оброблені комплексними сполуками антисептика та антипірену, показали стійкість до біоруйнування дереворуйнівними грибами.

З метою визначення області температур, за яких термічна деградація матеріалів відбувається найбільш інтенсивно, проводилось попереднє термогравіметричне дослідження процесів термічної деградації в динамічному режимі із застосуванням дериватографа Q-1500 D. Безпосередні дані щодо процесів, що відбуваються у зразках матеріалів під час їх нагрівання в динамічному режимі, одержано в результаті термогравіметричних досліджень. Досліджували зразки тирси соснової деревини, а також обробленої захисними сумішами в атмосфері повітря нормального складу (вміст кисню — 21 % об.). У всіх дослідах маса зразка становила 190 мг, швидкість нагрівання — 5 градусів на хвилину, зразок порівняння — порошок —  $\alpha$ -корунду, матеріал тиглів — алунд, чутливість гальванометрів: DTA — 250 мкВ, DTG — 500 мкВ. Дослідження показали, що у досліджених зразках за температур до 100 °C відбуваються ендотермічні процеси, які супроводжуються втратою хімічно незв'язаної води, а при 190 °C органічні речовини втрачають конституційну воду. У зразку необробленої деревини поряд з ендотермічними процесами піролізу відбуваються екзотермічні процеси при 225 °C, характерною є стадія інтенсивної втрати маси до температур 370–390 °C, яка зумовлена утворенням і поглинанням горінням газоподібних продуктів, та повільніша стадія (за більш високих температур — після відносної втрати маси 60–70 %), яка зумовлена вигоранням карбонізованого залишку. Для обробленої деревини відмічено температуру початку термоокиснювальної деградації при 190–205 °C і температура за якої настає максимальна швидкість деградації (210–325 °C). Процеси деградації на другій стадії у значній мірі залежать від властивостей модифікатора: в міру його дії уповільнюється втрата маси в 3–5 рази, процес термодеградації зміщується в область вищих температур з значним коксовим залишком.

Із термограм було визначено температури, при яких досягається втрата маси зразків і оцінено стадії процесів розкладу, а також відносну втрату маси при нагріванні [4, 5]. У таблиці 2 наведено результати розрахунку параметрів необхідних для визначення енергії активації для деревини.

Таким чином, отримані термогравіметричні показники дають можливість визначити швидкість термічного розкладу матеріалу при заданій температурі та показати якісну оцінку теплових ефектів, але більш важливою задачею є визначення енергії активації термоокислювальної деградації. Розрахунок енергії активації ( $E$ ) ґрунтується на математичному обробленні кривої ТГ з використанням залежності [6]:

$$\ln\left(\ln\frac{100}{100-\Delta m}\right) = -\frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T}, \quad (1)$$

де  $m$  — маса зразка, яка вступила в реакцію розкладу, г;  
 $E$  — енергія активації, кДж/моль;  
 $R$  — універсальна газова стійка, кДж/(моль·К).

Таблиця 2 – Результати оброблення дериваторам

t, °C	$\Delta m, \%$	$\ln(\ln(100/100 - \Delta m))$	t, °C	$\Delta m, \%$	$\ln(\ln(100/100 - \Delta m))$
Дерешина в нормальній повітряній атмосфері					
200	9,1	0,88	330	45,9	-0,25
225	10,3	0,83	420	66,0	-0,88
250	25,1	0,48	460	77,2	-1,35
300	33,0	0,10	500	85,2	-1,84
Дерешина, оброблена фосфатом і сульфатом амонію та полімерним антисептиком (ДСА-1)					
180	12,1	0,86	320	42,6	-0,27
230	23,2	0,44	490	71,2	-0,59
260	27,1	-0,02	590	75,8	-0,8
Дерешина, оброблена фосфатом та сульфатом амонію та комплексною сполукою полігексаметиленгуанідинфосфат сечовини (ДСА-люкс)					
135	12,4	0,74	400	40,1	-0,09
258	22,2	0,41	560	42,2	-0,15
306	38,6	-0,049	632	44,0	-0,197
Дерешина, оброблена сумішшю фосфатів та сульфатів амонію та комплексної сполуки полігексаметиленгуанідинполіфосфат амонію (ДСА-супер)					
200	8,4	0,91	520	42,2	-0,145
300	20,0	0,48	600	44,1	-0,22
450	40,0	-0,087	740	48,4	-0,32

В цьому рівнянні  $\Delta m$  – втрата маси (%) при кожній температурі в інтервалі розкладу матеріала, яка є процесом 1-ого порядку ( $n = 1$ ) та за умови лінеаризації залежності:

$$\ln(\ln(100/100 - \Delta m)) \text{ від температури } T, K.$$

На рис. 1 наведено графічну залежність швидкості деструкції деревини від оберненої температури.

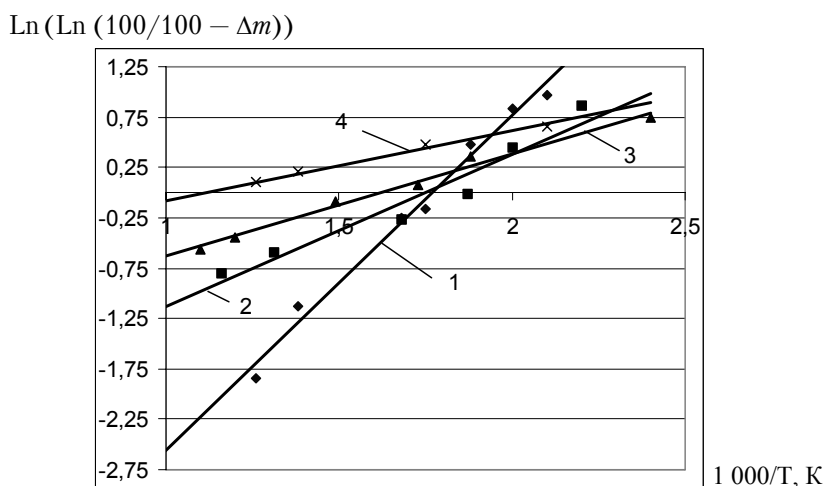


Рисунок 1 – Графічна залежність швидкості термодеструкції деревини від оберненої температури: 1 – необроблена, 2 – сумішшю ДСА-1, 2 – ДСА-люкс, 3 – ДСА-супер.

Значення енергії активації ( $E$ ) розраховується за залежністю:

$$E = tg \varphi \cdot R. \quad (2)$$

В таблиці 3 наведено значення енергії активації при термічному розкладі деревини.

Як видно з табл. 3, оброблення деревини просочувальними засобами підвищує енергію активації деревини при її термічному розкладі.

Одним з методів, який дає можливість дослідити утворення летких продуктів вогнезахищеної деревини є газохроматографічний аналіз. За методикою [7, 8] були проведені дослідження та зібрані

**Таблиця 3** — Розраховане значення енергії активації при термічному розкладі деревини за різних зачень кисню в газоповітряному середовищі

Деревина сосни	Енергія активації, Е (кДж/моль)
необробленої	44,230
Оброблена сумішшю ДСА-1	72,843
Оброблена сумішшю ДСА-люкс	74,376
Оброблена сумішшю ДСА-супер	87,894

леткі продукти піролізу. Результати газохроматографічного аналізу одержаних горючих газових сумішей наведено в табл. 4.

**Таблиця 4** — Склад газоподібних продуктів термічної деструкції деревини

Компонент	Вміст компонентів у летких продуктах деструкції соснової деревини, % об.			
	необробленої	обробленої сумішшю		
		ДСА-1	ДСА-люкс	ДСА-супер
CO	39,08	12,84	12,62	10,76
CO <sub>2</sub>	51,93	не виявлено	0,56	не виявлено
CH <sub>4</sub>	6,05	сліди	0,36	сліди
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,45	не виявлено	не виявлено	не виявлено
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,19	не виявлено	не виявлено	не виявлено
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0,32	не виявлено	не виявлено	не виявлено
H <sub>2</sub>	0,73	0,11	0,14	0,02
O <sub>2</sub>	0,26	не виявлено	не виявлено	не виявлено
N <sub>2</sub>	0,99	85,04	79,92	89,22

Як видно з таблиці 4, для деревини, обробленої сумішшю ДСА-1 та ДСА-супер, у продуктах піролізу кількість азоту збільшилась більше, ніж у 80 разів, для деревини, обробленої сумішшю ДСА-люкс виявлено збільшення діоксиду вуглецю в 1,5 рази.

## ВИСНОВОК

Таким чином, проведені дослідження показують, що упереджена зміна деструктивності деревини шляхом розкриття механізму уповільнення процесу біоруйнування і термодеструкції при модифікуванні неорганічними та органічними речовинами дозволяє раціонально використовувати матеріали у виробництві, розширити сировинну базу, розробити нові ефективні модифікатори. Результати, отримані за допомогою термогравіметрії та газової хроматографії, засвідчують, що наявність сумішей сольових антипіренів в деревині змінює процес термодеструкції, зменшує кількість горючих газів, які флегматизуються великою кількістю азоту та діоксиду вуглецю із значно більшими енергетичними затратами, що відповідно підтверджується результатами визначення енергії активації при піролізі. Цей підхід може бути застосований для розроблення модифікаторів та захисту інших целюлозовмісних будівельних матеріалів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тычино, Н. А. Особенности практического применения огне- и биозащитных средств для пропитки древесины [Текст] / Н. А. Тычино // Пожаровзрывобезопасность : научно-технический журнал. — 2002. — № 6. — С. 38–43. — ISSN 0869-7493.
2. Леонович, А. А. Химический подход к проблеме снижения пожароопасности древесных материалов [Текст] / А. А. Леонович // Пожаровзрывобезопасность : научно-технический журнал. — 1996. — № 3. — С. 10–14. — ISSN 0869-7493.
3. Новый подход к огнебиозащите изделий из целлюлозы [Текст] / В. П. Бут, В. М. Жартовский, Ю. В. Цапко, О. Г. Барило // Пожаровзрывобезопасность : научно-технический журнал. — 2004. — № 5. — С. 31–32. — ISSN 0869-7493.
4. Молчадский, О. И. Использование методов термического анализа для оценки теплофизических характеристик строительных материалов [Текст] / О. И. Молчадский, Н. В. Смирнов, Н. Г. Дудеров // Пожарная безопасность : научно-технический журнал. — 1999. — № 3. — С. 74–82. — ISSN 0236-4468.

5. Шестак, Я. Теория термического анализа [Текст] / Я. Шестак. — М. : Мир, 1987. — 455 с.
6. Broido, A. A simple sensitive graphical method of treating thermogravimetry analyse data [Текст] / A. Broido // Journal of Polymer Science. Part A-2: Polymer Physics. — 1969. — Vol. 7. — P. 1761–1773.
7. Цапко, Ю. В. Отримання газових сумішей продуктів піролізу органічних матеріалів та дослідження умов їх флегматизування газовими вогнегасними речовинами [Текст] / Ю. В. Цапко, В. П. Орел, А. В. Антонов // Науковий вісник УкрНДІПБ. — 2001. — № 4. — С. 59–65.
8. Откідач, Д. М. Флегматизування горючих газових середовищ [Текст] / Д. М. Откідач, Ю. В. Цапко, К. І. Соколенко. — К. : Пожінформтехніка, 2005. — 196 с.

Отримано 03.09.2012

Ю. В. ЦАПКО

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕСТРУКЦИИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Киевский научно-исследовательский институт судебных экспертиз МЮ Украины

Эффективность древесины определяется уровнем способности антипиренов и антисептиков противостоять действию термического и биологического разложения модифицированного материала и определяется расписанием средств под действием температуры с поглощением тепла и выделением негорючих газов, изменением направления разложения древесины в сторону образования негорючих газов и трудногорючих коксового остатка, торможение окисления в газовой и конденсированной фазе, образованием на поверхности древесины теплозащитного слоя кокса. Проведено исследование процесса биологического разрушения и термодеструкции модифицированной древесины и установлено устойчивость против воздействия микроорганизмов и повышения коксового остатка в 3÷4, а энергии активации при пиролизе в два раза. Методом хроматографии осуществлен качественный и количественный анализ полученных продуктов и установлено уменьшение горючих газов более 40 %, увеличение негорючих в 8 раз и обоснована эффективность применения модификаторов.

**термодеструкция древесины, энергия активации, пиролиз, хроматография, модификация**

YURIY TSAPKO

## INVESTIGATION OF SOME PARAMETERS OF DEGRADATION OF WOOD DURING OPERATION

Kiev Research Institute of Forensic Examination of the Ministry of Justice of Ukraine

Efficiency is derived from the ability of the wood fire retardants and preservatives to resist the action of thermal and biological decomposition modified material and conditioned hours under the temperature of the heat sink and release flammable gases, changing the direction of wood decay towards the formation of flammable gases and inflammable coke residue, inhibition of oxidation in the gas and condensed phase, the formation of the surface layer of wood heat-coke. A study of the process of destruction of biological and thermal modified wood and in prescribed resistance to microorganisms and increased coke residue in 3÷4, and the activation energy during parolysis twice. Chromatography method by qualitative and quantitative analysis of the products obtained and installed reducing gasses than 40 % increase in non-combustible 8 times and proved the effectiveness of modifiers.

**thermo destruction wood, activation energy, parolysis, chromatography, modification**

**Цапко Юрій Володимирович** — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник лабораторії криміналістичних видів досліджень Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України. Наукові інтереси: дослідження процесів біологічного та термічного руйнування целюлозовмісних матеріалів, захист від зовнішніх агресивних середовищ, процеси створення модифікаторів, матеріалів і виробів.

**Цапко Юрий Владимирович** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории криминалистических видов исследований Киевского научно-исследовательского института судебных экспертиз Министерства юстиции Украины. Научные интересы: исследования процессов биологического и термического разрушения целлюлозосодержащих материалов, защита от внешних агрессивных сред, процессы создания модификаторов, материалов и изделий.



**Yuriy Tsapko** — PhD., forensic laboratory species research Kiev Research Institute of Forensic Examination of the Ministry of Justice of Ukraine. Scientific interests: include the study of biological and thermal destruction of cellulose materials, protection against external corrosive environments, processes of creation modifiers and materials and products.

УДК 692.45.042

**В. П. МУЩАНОВ, А. Г. ВАРДАНЯН**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ПЛАН И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЖАТО-ИЗОГНУТОГО ОПОРНОГО КОНТУРА МЕМБРАННОГО ПОКРЫТИЯ НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ**

В статье описан план проведения дальнейших экспериментальных исследований устойчивости сжато-изогнутого опорного контура мембранного покрытия. Выбрана форма покрытия для дальнейшего рассмотрения. Описано экспериментальное исследование физико-механических свойств материала ПВХ (поливинилхлорид), который был выбран в качестве материала для модели. Получены значения масштабных коэффициентов для пластиковой модели. Проведен анализ численных испытаний исследуемого покрытия и пластиковой модели.  
**поливинилхлорид, опорный контур, мембрана, моделирование**

### **ЦЕЛЬ**

Расчет модели покрытия с определением НДС в основных элементах модели покрытия, ориентированных на разработку плана и методики проведения экспериментальных исследований.

### **ЗАДАЧИ**

1. Выбор формы покрытия для дальнейшего исследования.
2. Выбор материала для моделирования выбранного покрытия, определение модуля упругости и коэффициента Пуассона.
3. Определение геометрических характеристик площадей сечения основных несущих элементов.
4. Расчет модели покрытия с определением усилий, деформаций в основных элементах модели покрытия.
5. Конструктивное решение отдельных узлов модели.
6. Выбор и расстановка приборов.

### **ВЫБОР ФОРМЫ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

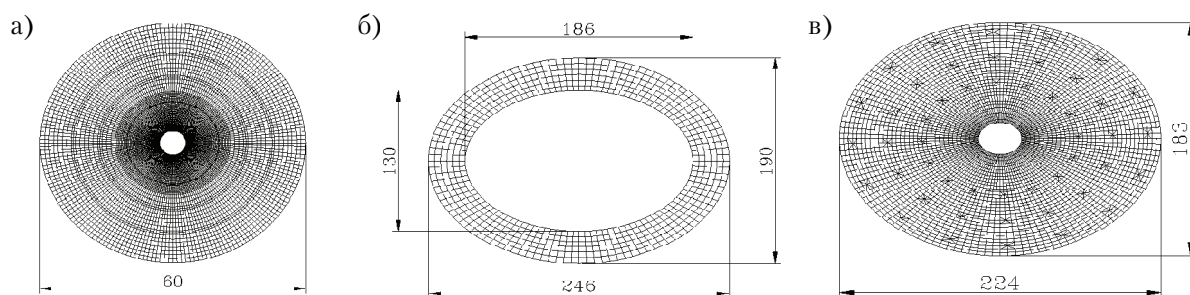
Для детального исследования покрытия необходимо выбрать самое неблагоприятное расчетное сочетание жесткостных и геометрических параметров для проверки устойчивости сжато-изогнутого элемента наружного опорного контура. Следует определить коэффициент запаса устойчивости для наружного опорного контура для каждой формы покрытия с учетом жесткостных и геометрических параметров модели.

Рассматриваются 3 формы мембранного покрытия:

- На круглом плане (покрытие резервуара объемом 50 тыс. м<sup>3</sup> диаметром 60 м) рис. 1а);
- На эллиптическом плане с большим вырезом (проект покрытия стадиона «Шахтер» с размерами в осях 246×190 м) рис. 1б);
- На эллиптическом плане (покрытие стадиона «Олимпийский» в г. Москва с размерами в осях 224×182 м) рис. 1в).

Конструкции покрытий рассчитывались на осесимметричное нагружение от собственного веса и снеговой нагрузки, для которой принималось повышенное значение 2 кПа в результате численного расчета с применением расчетного комплекса SCAD. Результаты численного расчета приведены в таблице 1.

© В. Ф. Мущанов, А. Г. Варданын, 2012



**Рисунок 1** — Мембранные покрытия: а) на круглом плане (покрытие резервуара объемом 50 тыс. м<sup>3</sup> диаметром 60 м); б) на эллиптическом плане с большим вырезом (проект покрытия стадиона «Шахтер» с размерами в осях 246×190 м); в) на эллиптическом плане (покрытие стадиона «Олимпийский» в г. Москва с размерами в осях 224×182 м).

**Таблица 1** — Основные характеристики НДС для исследуемых покрытий

Покрытие	$W_{из}$ , мм	$\sigma_{рад}$ , кН/м <sup>2</sup>	$\sigma_{кольц}$ , кН/м <sup>2</sup>	$N$ , кН	$M$ , кНм	КЗУ
Резервуар	–238,5	112,9	–103,52	34,8	38,08	10,5
«Шахтер»	–428,6	165,5	–107,9	–588,19	383	1,08
«Олимпийский»	–387,9	272,7	108,3	–5 094,5	3 898,5	0,97

КЗУ — коэффициент запаса устойчивости.

Из таблицы 1 видно, что для стационарного покрытия стадиона «Олимпийский» коэффициент запаса устойчивости меньше допустимых норм (1), следовательно далее рассмотрению и моделированию подлежит мембранное покрытие на эллиптическом плане без выреза.

#### ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫБРАННОГО ПОКРЫТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА

В масштабе 1:100 технологически очень сложно выполнить масштабированную модель, поэтому необходимо использовать те же геометрические параметры, но уже с другим модулем упругости, который обладает схожими жесткостными характеристиками. Для модели был выбран пластик ПВХ. Твердый пластик ПВХ представляет собой однородные листы, с гладкой поверхностью. Этот материал легко поддается механической обработке, сравнительно не дорогой, благодаря чему его удобнее и гораздо менее трудоемко использовать при моделировании конструкций по сравнению с моделями, которые изготавливаются из стали.

Для уточнения фактических жесткостных характеристик элементов модели выполнены исследования физико-механических характеристик материала (пластика). Размеры образца составили 3×40×650 мм (рис. 2), количество образцов — 4 шт. На рис. 3 показано фото испытаний. Испытания проводились с помощью машины для растяжения, деформации измерялись с помощью тензометров Гугенбергера с базой 2 см.

При моделировании использован принцип прямого геометрического подобия с масштабным коэффициентом  $m_l = 1/100$ .

Итак, экспериментальным методом определен модуль упругости пластика, который составил  $E_{pl} = 2,26 \cdot 10^9$  Па, коэффициент Пуассона  $\mu_{pl} = 0,414$ .

Диаграмма растяжения пластика не приведена, так как в дальнейшем предполагается уточнить поведение материала с учетом фактора времени.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОЩАДЕЙ СЕЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для проведения дальнейших экспериментальных исследований необходима крупномасштабная модель стационарного покрытия на овальном плане, размеры которой в плане составили  $2a \times 2b = 2,24 \times 1,83$  м, со стрелой провиса  $f = 120$  мм.

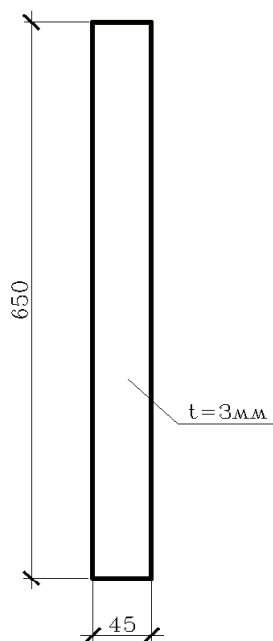


Рисунок 2 — Геометрические размеры образцов.

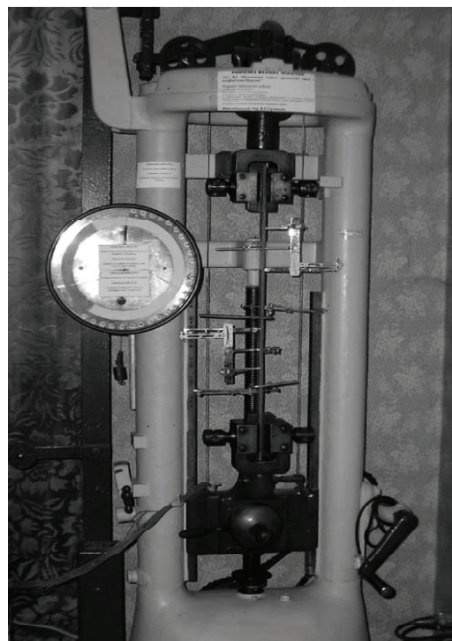


Рисунок 3 — Испытание образца пластика.

В таблицах 2, 3 приведены геометрические характеристики площадей сечений основных несущих элементов.

Таблица 2 — Геометрические характеристики площадей сечений основных несущих элементов

Тип элемента	Жесткость элементов объекта исследования			Жесткость элементов модели		
	F, см <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> , см <sup>4</sup>	F, см <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> , см <sup>4</sup>
Мембрана	t = 5 мм			t = 0,2 мм		
Внешний контур	0,3336	84,1E+06	16,6E+06	0,3336 E-04	1,93E-02	7,78E-02
Внутренний контур	4,01E-02	6,55E-05	1,783E-04	4,01E-06	6,55E-13	1,78E-12
Кольцевые рёбра	2,73E-03	1,72E-06	2,46E-04	—	—	—
Радиальные элементы	84,9E	956,3E+03	154,1E+02	84,9E-02	956,3E-02	154,1E-03

Таблица 3 — Площади сечений основных элементов модели

Тип элемента	Внешний опорный контур	Внутренний опорный контур	Радиальные элементы	Мембрана
Эскиз поперечного сечения элемента				
Размеры сечения	h = 10 мм b = 22 мм	h = 2 мм b = 8 мм	h = 2 мм b = 10 мм	t = 0,2 мм

В плане опорные контуры описаны по эллипсу с полуосями, составляющими для внешнего опорного контура  $a = 1\,120$  мм,  $b = 920$  мм, для внутреннего опорного контура —  $a = 150$  мм,  $b = 125$  мм.

### РАСЧЕТ МОДЕЛИ ПОКРЫТИЯ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ УСИЛИЙ, ДЕФОРМАЦИЙ В ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ МОДЕЛИ ПОКРЫТИЯ

Модель рассчитывалась на постоянную нагрузку — от собственного веса и на временную нагрузку — снеговую. В результате численного расчета в программном комплексе SCAD получились следующие показатели НДС (табл. 4).

Таблица 4 — Сравнение показателей НДС исследуемого покрытия и модели

Показатели НДС	Показатели исследуемого покрытия	Показатели модели	$m_x$
$W$ , мм	-387,9	-3,79	0,01
$N_x$ , кН	-5 094,5	-15,77	0,003
$M$ , кНм	3 898,5	10,42	0,003
$N_y$ , МПа	108,3	-0,309	0,003
$N_z$ , МПа	272,7	-0,349	0,001

Примечание:  $m_x$  — коэффициент подобия;  $x$  — переменные  $W, N, M, N_x, N_y$ .

Сравнивая результаты расчета для исследуемого покрытия и пластиковой модели, следует указать на полное совпадение их безразмерных параметров:

$$\bar{n} = \frac{E \cdot I_z^{\text{мн}} \cdot ab_1^4 + E \cdot I_z \cdot a_1 \cdot b^4}{Et b^4 \cdot b_1^4} = 0,669 \quad \text{и} \quad \bar{k} = \frac{E \cdot F^{\text{мн}} \cdot ab_1^4 + E \cdot F \cdot a_1 \cdot b^4}{Et b^4 \cdot b_1^4} = 0,985.$$

На основании результатов численных исследований модели приведены изополя напряжений и перемещений, в соответствии с которыми ниже рассмотрена схема расстановки приборов (значения НДС в табл. 4).

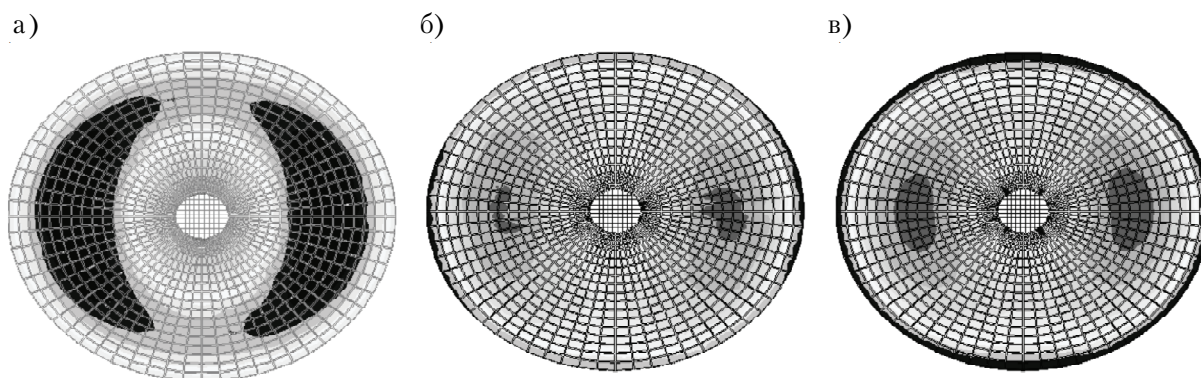


Рисунок 4 — Изополя: а) горизонтальных перемещений; б) кольцевых напряжений; в) радиальных напряжений.

Конструктивное решение отдельных узлов модели приведено на рис. 5.

Сопряжение элементов модели:

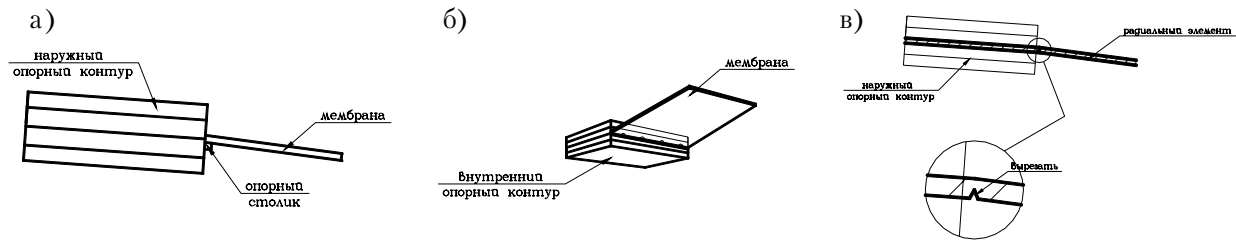
- мембраны с внутренним опорным контуром — шарнирное;
- мембраны с внешним опорным контуром — шарнирное;
- радиальных элементов с внутренним и внешним опорным контуром — шарнирное.

Данные конструктивные узлы не являются окончательными и в дальнейшем будут уточняться.

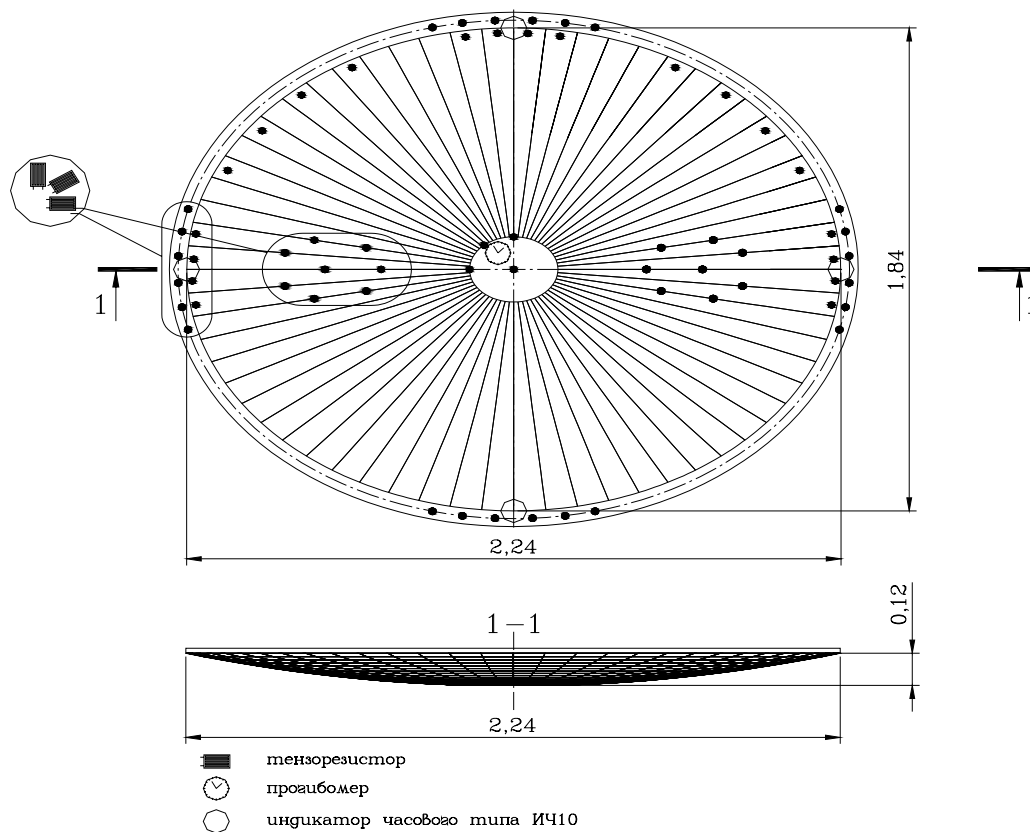
### ВЫБОР И РАССТАНОВКА ПРИБОРОВ

Для дальнейшего исследования покрытия были выбраны следующие приборы (рис. 6):

- Тензорезистор (для определения напряжений в контуре).
- Прогибомер (для определения вертикальных перемещений).
- Индикатор часового типа (для определения горизонтальных перемещений).



**Рисунок 5** — Конструктивное решение узлов модели: а) сопряжение наружного опорного контура с мембраной; б) сопряжение внутреннего опорного контура с мембраной; в) сопряжение наружного опорного контура с радиальным элементом.



**Рисунок 6** — Схема расстановки приборов.

## ВЫВОДЫ

1. При заданных расчетных сочетаниях жесткостных и геометрических параметров сжато-изогнутый элемент опорного контура покрытия на эллиптическом плане без выреза может потерять устойчивость при повышенном значении равномерно-распределенной временной нагрузки.
2. Для моделирования будет использоваться пластик ПВХ, подходящий своими физико-механическими свойствами.
3. Модуль упругости пластика  $E_{pl} = 2,26 \cdot 10^9 \text{ Па}$ , коэффициент Пуассона  $\mu_{pl} = 0,414$ .
4. При расчете мембраны и опорных контуров определяющим нагружением будет «собственный вес + снеговая нагрузка, равномерно распределенная по всему покрытию».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дыховичный, Ю. А. Большепролетные конструкции сооружений Олимпиады-80 в Москве [Текст] / Ю. А. Дыховичный. — М. : Стройиздат, 1982. — 277 с.

2. Поляков, Л. П. Моделирование строительных конструкций [Текст] / Л. П. Поляков, В. М. Файнбурд. — Киев : Будівельник, 1975. — 144 с.
3. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. — Киев : ВВП «Компас», 2001. — 448 с.
4. Мембранные конструкции зданий и сооружений [Текст] : Справочное пособие : В 2-х ч. Ч. 1 / Под ред. В. И. Трофимова и П. Г. Еремеева; ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. — М. : Стройиздат, 1990. — 248 с.
5. Обследование и испытание несущих конструкций зданий и сооружений [Текст] : Учебное пособие / Е. В. Горохов, В. Ф. Муцанов, В. Н. Васылев, А. А. Ягмур. — К. : УМК ВО, 1991. — 156 с.

Получено 09.10.2012

**В. П. МУЦАНОВ, А. Г. ВАРДАНЯН**  
**ПЛАН І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДОСЛІДЖЕНЬ**  
**СТІЙКОСТІ СТИСНУТО-ЗІГНУТОГО ОПОРНОГО КОНТУРА**  
**МЕМБРАННОГО ПОКРИТТЯ НА ЕЛІПТИЧНОМУ ПЛАНІ**  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті описано план проведення подальших експериментальних досліджень стійкості стиснуто-зігнутого опорного контура мембранного покриття. Обрана форма покриття для подальшого розгляду. Описано експериментальне дослідження фізико-механічних властивостей матеріалу ПВХ (полівінілхлорид), який був обраний як матеріал для моделі. Отримані значення масштабних коефіцієнтів для пластикової моделі. Проведено аналіз чисельних випробувань досліджуваного покриття та пластикової моделі.

**полівінілхлорид, опорний контур, мембрана, моделювання**

**VOLODYMYR MUSHCHANOV, ARUSYAK VARDANYAN**  
**PLAN AND METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF**  
**STABILITY OF COMPRESSED-BENT SUPPORT CONTOUR MEMBRANE**  
**COATING ON THE ELLIPTICAL PLAN**  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This paper describes a plan for further experimental studies stable compression and bending of the support contour of the membrane surface. Form of cover for further consideration has been chosen. Experimental study of physical - mechanical properties of PVC (polyvinyl chloride) has been described, which was chosen as the material for the model. The values of the scale factor for the plastic model have been taken in. The analysis of the numerical testing of the coating and plastic model has been made.

**PVC, reference circuit, membrane, modeling**

**Муцанов Володимир Пилипович** — д. т. н., професор кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Академік Української академії наук, академік Академії будівництва і архітектури, член-кореспондент Академії архітектури України, дійсний член Міжнародного інституту інженерів будівельників і член міжнародної асоціації «Просторові конструкції». Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

**Варданян Арусяк Гегамівна** — аспірантка кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок і проектування просторових конструкцій.

**Муцанов Владимир Филиппович** — д. т. н., профессор кафедры теоретической и прикладной механика Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Академик Украинской академии наук, академик Академии строительства и архитектуры, член-корреспондент Академии архитектуры Украины, действительный член Международного института инженеров строителей и член международной ассоциации «Пространственные конструкции». Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

**Варданян Арусяк Гегамовна** — аспирантка кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: расчет и проектирование пространственных конструкций.

**Volodymyr Mushchanov** — DSc, Professor, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Academy of Science, a member of Ukrainian Academy of Civil Engineering and Architecture, a corresponding member of Ukrainian Academy of Architecture, a real member of International Institute of Civil Engineering, a member of International Association of Spatial Structures. Scientific interests: theory of reliability, analysis, design and technical diagnosis of spatial metal construction.

**Arusyak Vardanyan** — postgraduate student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: calculation and design of spatial structures.



УДК 699.86.001.63

**Є. Г. ФАРЕНЮК**

Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

## **ВПЛИВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ПРОВІТРЮВАЧІВ НА ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ПОКАЗНИКИ СВІТЛОПРОЗОРИХ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА НОРМАТИВНИЙ ПОВІТРООБМІН У ПРИМІЩЕННІ**

У статті наведені результати досліджень впливу вентиляційного провітрювача на теплотехнічні показники вікон та на забезпечення нормативного повітрообміну у приміщеннях. Показано, що встановлення у конструкцію вікна провітрювача дозволяє забезпечити нормативний повітрообмін у приміщенні, не викликаючи значної зміни приведенного опору теплопередачі конструкції в цілому. Визначено кількість провітрювачів для забезпечення нормативного повітрообміну у типовому приміщенні 9-ти поверхового будинку, розташованого в місті Києві.  
**вентиляційний провітрювач, нормативний повітрообмін, приведений опір теплопередачі, світлопрозора огороджуюча конструкція**

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ**

Проблема підвищення енергоефективності будівель давно вже перестала бути регіональною проблемою і має глобальне значення. Незалежно від того, чи забезпечує країна повністю свої енергетичні потреби за рахунок власних енергоресурсів або є енергетичним імпортером, підвищення енергоефективності будівель є першочерговою задачею на сучасному етапі технічного розвитку суспільства. За офіційними даними енергетичні потреби України покриваються за рахунок власних ресурсів приблизно на 47 %, при цьому 75 % необхідного об'єму природного газу і 85 % сирої нафти та нафтопродуктів імпортується [1].

Основне призначення світлопрозорих огорожувальних конструкцій полягає у забезпеченні приміщень денним світлом, провітрювання, а також захисту від кліматичного впливу навколишнього середовища. Тому проектування світлопрозорих конструкцій включає визначення оптимальних конструктивних рішень, що забезпечують вимоги щодо гігієнічних, фізіологічних та економічних параметрів.

Одна з важливих функцій, яку виконують вікна, — провітрювання приміщень і зниження конденсації вологи, тому при проектуванні нормується повітропроникність вікон. Сучасні вікна мають коефіцієнт повітропроникності швів менше 0,1 м³/час·м [2]. З одного боку, це дозволило значно скоротити тепловтрати на підігрів повітря, що інфільтрується, з іншого боку, самовентиляція за рахунок герметичності вікон суттєвого зменшена, а значить, і для повітрообміну була поставлена перепона.

Але справа в тому, що традиційно використовувана в нашій країні схема вентиляції включає в себе всі інженерні системи, що розташовані в підсобних приміщеннях — це витяжні системи туалету, кухні і ванної кімнати, але не тільки вони. При проектуванні вентиляції будівель в розрахунок завжди приймалися також потоки повітря, що потрапляють в приміщення через відкриті квартирки і щілини у вікнах. Встановлення ж віконних герметичних конструкцій повністю виключає приплив повітря через віконні щілини, через що вся традиційна інженерна система вентиляції стає непрацездатною [3].

Метою статті є оприлюднення результатів дослідження основних експлуатаційних показників одного з конструктивних елементів сучасних віконних конструкцій, який забезпечує нормальний тепловологісний режим приміщень житлових та громадських будинків при їх термореконструкції.

## ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

У лабораторії будівельної теплотехніки та енергозбереження ДП НДІБК була проведена оцінка ефективності двох типів вентиляційних провітрювачів при їх встановленні у віконну конструкцію з ПВХ-профілів. Показники, за якими проводилась оцінка: об'ємна витрата повітря крізь провітрювач, приведений опір теплопередачі вікна з вмонтованим провітрювачем.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Встановлення вікон з високим рівнем герметизації призводить до зниження кратності повітрообміну у десятки разів, наслідком чого є підвищення вологості повітря у приміщеннях [4]. На рис. 1 наведені типові приклади негативного тепловологісного режиму стінових огорожувальних конструкцій після заміни традиційних вікон у дерев'яному плетінні на сучасні ПВХ вікна зі склопакетами. Незважаючи на те, що нові вікна мають опір теплопередачі майже вдвічі більший ніж старі, тепловологісний режим є незадовільним і витрати на заміну не тільки не привели до поліпшення умов експлуатації, а суттєво їх погіршали.



**Рисунок 1** — Приклади конструктивних помилок вибору віконних конструкцій за тепловологісними параметрами.

Одним з рішень проблеми забезпечення нормального тепловологісного режиму та нормативної кратності повітрообміну приміщень при заміні віконних конструкцій є встановлення вентиляційних провітрювачів, призначених для притоку необхідної кількості повітря ззовні у приміщення, які обладнані вікнами з герметичним притулом. Саме цей конструктивний підхід дозволяє без погіршення експлуатаційних властивостей стінових огорожувальних конструкцій і приміщень в цілому здійснювати енергоощадні заходи за рахунок встановлення вікон на основі ПВХ-профілів. Ці підходи вже достатньо давно були розвинуті у країнах Європи та відображені у ряді нормативних документів щодо застосування як одного із засобів вентиляції приміщень [5], [6].

Віконний провітрювач типу SF Ventilator, довжиною 420 мм, являє собою двохелементний комплект з модифікаціями внутрішнього клапану та зовнішньої накладки.

Для випробувань було надано наступні модифікації провітрювача:

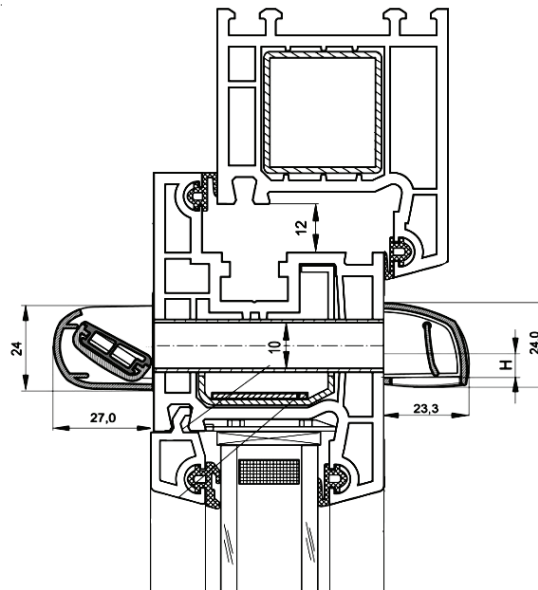
№ 1 — внутрішній клапан — стандартний елемент, зовнішня накладка — стандартний елемент.

№ 2 — внутрішній клапан — елемент з акустичним вкладишем товщиною 50 мм, зовнішня накладка — стандартний елемент.

№ 3 — внутрішній клапан — елемент з акустичним вкладишем товщиною 50 мм, зовнішня накладка — елемент з акустичним вкладишем товщиною 25 мм.

№ 4 — внутрішній клапан — елемент з акустичним вкладишем товщиною 50 мм, зовнішня накладка — елемент з акустичним вкладишем товщиною 50 мм.

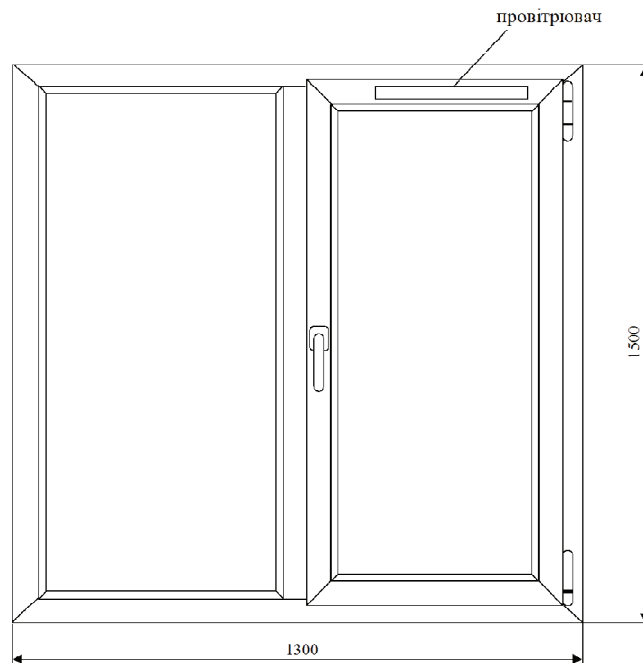
Провітрювач встановлювався у віконний блок. Перед початком випробувань всі стики та щілини віконного блока були герметизовані силіконовим герметиком. Вільне проникнення повітря здійснювалось через спеціально влаштовані щілини, в які безпосередньо вставлявся провітрювач загальною площею 47 см<sup>2</sup> (рис. 2).



**Рисунок 2** — Загальний вигляд віконного блока з вмонтованим в нього провітрювачем (тип монтажу — «гільзування у стулці»).

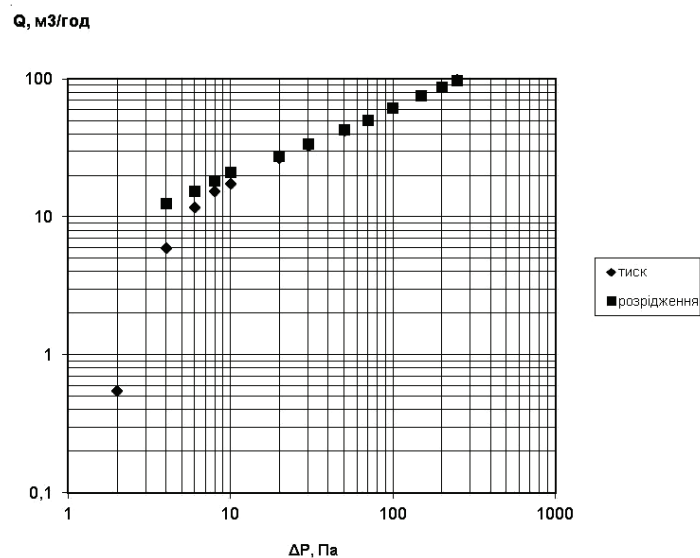
Для всіх модифікацій провітрювача випробування повітропроникності проводились у двох положеннях внутрішнього клапана: «закрито» — внутрішній клапан повністю закрито та «провітрювання» — внутрішній клапан повністю відкрито.

Зовнішній вигляд віконного блока зі встановленим на ньому провітрювачем під час випробувань повітропроникності наведено на рис. 3.

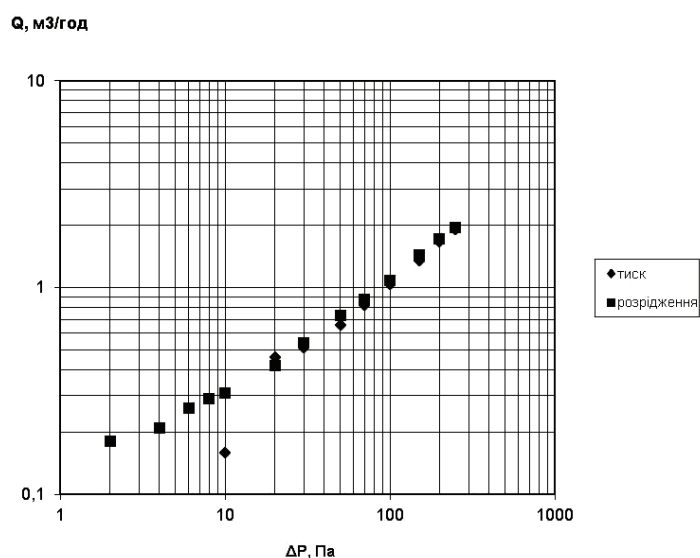


**Рисунок 3** — Загальний вигляд вікна з провітрювачем.

Показник, що визначався у випробуваннях — об'ємна витрата повітря через провітрювач згідно з методикою, що наведена в ДСТУ В.2.6-18-2000 [7]. Саме ця характеристика є найбільш показовою для розрахунку необхідної кратності повітрообміну в приміщенні, так як безумовно, в положенні «відкрито» повітропроникність віконної конструкції в цілому значно перевищує нормативні вимоги (рис. 4, 5).



**Рисунок 4** — Залежність витрати повітря від перепаду тиску для провітрювача SF Ventilator 50 мм / 50 мм (№ 4) — у положенні «відкрито».



**Рисунок 5** — Залежність витрати повітря від перепаду тиску для провітрювача SF Ventilator 50 мм / 50 мм (№ 4) — у положенні «закрито».

**Таблиця 1** — Результати випробувань показників повітропроникності провітрювачів

Показник/номер модифікації	Об'ємна витрата повітря при $\Delta P = 10$ Па, м³/год	Об'ємна витрата повітря при $\Delta P = 20$ Па, м³/год	Об'ємна витрата повітря при $\Delta P = 30$ Па, м³/год	Об'ємна витрата повітря при $\Delta P = 50$ Па, м³/год
Модифікація № 1: закрито/провітрювання	1,4/24,2	2,1/34,3	2,7/40,5	3,4/54,2
Модифікація № 2: закрито/провітрювання	0,4/21,5	0,5/30,4	0,5/36,4	0,7/48,4
Модифікація № 3: закрито/провітрювання	0,2/17,8	0,6/33,6	0,9/34,3	0,9/45,5
Модифікація № 4: закрито/провітрювання	0,2/17,4	0,5/26,8	0,5/32,6	0,7/42,1

Для раціонального використання провітрювачів необхідно не тільки регулювати кількість повітря, що подається, але і враховувати напрямки фільтрованого повітря залежно від висоти будівлі. Також необхідно обов'язково вести розрахунок вентиляційного пристрою на ті перепади тисків, які характерні для такого типу будівлі і розташованого в ньому віконного отвору. Якщо застосувати ці пристрої всліпу, тобто ставити скрізь на будь-якому поверсі, незалежно від рози вітрів, це може привести до загального погіршення мікроклімату [8]. Згідно з п. 5.23 ДБН В.2.2-15 [9], кратність повітрообміну в житлових приміщеннях повинна складати  $n = 0,8$  (1/год) від загального об'єму приміщення. Нижче наведено розрахунок необхідної кількості провітрювачів типу SF Ventilator, які монтуються на віконний блок, для забезпечення виконання умов п. 5.23 ДБН В.2.2-15 [9] при повністю закритому вікні.

Кратність повітрообміну розраховується за формулою:

$$N = Q / V, \quad (1)$$

де  $Q$  — об'ємна витрата повітря, що проходить через квартирки, відчинені вікна чи провітрювачі при певному значенні перепаду тиску  $\Delta p$ , Па, який визначається залежно від розташування будівлі та її висоти згідно з додатком Т ДБН В.2.6-31 [10],  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  
 $V$  — об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

Розглянемо типові (модельні) житлові приміщення площею  $18 \text{ м}^2$  та висотою стелі  $2,8 \text{ м}$ . Об'єм повітря, який повинен проходити за 1 годину через дані приміщення, щоб воно задовольняло умовам п. 5.23 ДБН В.2.2-15 [9], складає:

$$Q = 0,8 \cdot 18 \cdot 2,8 = 40,3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Значення перепадів тиску  $\Delta p$  для кожного поверху 9-ти поверхового будинку, розташованого в місті Києві, наведені в табл. 1. Можливість влаштування провітрювачів SF Ventilator на віконних блоках типових приміщень площею  $18 \text{ м}^2$  для задоволення вимог п. 5.23 ДБН В.2.2-15 [9] наведено в табл. 2.

**Таблиця 2** — Зони можливого застосування провітрювачів SF Ventilator

Номер поверху будівлі	Перепад тиску $\Delta p$ , Па	Модифікація № 1	Модифікація № 2	Модифікація № 3	Модифікація № 4
1	50	Один провітрювач	Один провітрювач	Один провітрювач	Один провітрювач
2					
3					
4	30	Один провітрювач	2 провітрювачі	2 провітрювачі	2 провітрювачі
5					
6					
7	20	2 провітрювачі	2 провітрювачі	2 провітрювачі	2 провітрювачі
8					
9	10	2 провітрювачі	2 провітрювачі	3 провітрювачі	3 провітрювачі

Також в ході проведення випробувань приведенного опору теплопередачі віконного ПВХ блока без провітрювача та з провітрювачем SF Ventilator (положення: «закрито» та «провітрювання»), були отримані наступні результати.

Значення приведенного опору теплопередачі провітрювача SF Ventilator з модифікацією — внутрішній клапан — елемент з акустичним вкладишем товщиною  $50 \text{ мм}$ , зовнішня накладка — елемент з акустичним вкладишем товщиною  $50 \text{ мм}$  у положенні «закрито» становить —  $0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , у положенні «провітрювання» —  $0,51 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  (табл. 3).

Для забезпечення виконання умови (1) п. 2.1 ДБН В.2.6-31 [10], у разі використання віконного блока в поєднанні з провітрювачем, приведений опір теплопередачі віконного блока повинен бути вищий на  $2 \%$  за нормативний для відповідної кліматичної зони України (табл. 4).

**Таблиця 3** — Результати випробувань теплотехнічних показників виробів

Показник	Одиниця виміру	Експериментальна характеристика		
		вікно без провітрювача	положення «закрито»	положення «провітрювання»
Приведений опір теплопередачі	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	0,52	0,52	0,51

**Таблиця 4** — Мінімально допустиме значення опору теплопередачі віконного блока, на якому буде встановлений провітрювач для житлових та громадських будинків  $R_{q \min}$ , м<sup>2</sup>·К/Вт

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$ для температурної зони			
		I	II	III	IV
1	Віконний блок з вмонтованим на ньому провітрювачем у положенні «закрито»	0,61	0,57	0,51	0,46

### ВИСНОВОК

Провітрювач SF Ventilator, що встановлений у віконний блок у всіх чотирьох модифікаціях, забезпечує необхідну кратність повітрообміну згідно з вимогами п. 5.23 ДБН В.2.2-15 для приміщення площею 18 м<sup>2</sup> на перших трьох поверхах типової 9-ти по верхівки, розташованої у місті Києві, два провітрювачі типу SF Ventilator забезпечують необхідну кратність повітрообміну з четвертого по дев'ятий поверхи включно.

Для забезпечення нормативної кратності повітрообміну приміщень згідно з вимогами п. 5.23 ДБН В.2.2-15 [9] для кожного окремого випадку залежно від кліматичної зони розташування будівлі та її висотності при застосуванні провітрювачів SF Ventilator потрібно проводити розрахунок перепаду тиску приміщення будинку згідно з додатком Т ДБН В.2.6-31 [10] та визначати необхідну кількість провітрювачів.

Наявність провітрювача також не викликає значної зміни значень приведенного опору теплопередачі віконного блока. Зменшення приведенного опору теплопередачі віконного блока з провітрювачем у положенні «відкрито» складає 1,9 %, у положенні «закрито» приведений опір теплопередачі вікна не змінюється.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зеркалов, Д. В. Правова основа енергозбереження [Текст] : Довідник / Д. В. Зеркалов. — К. : КНТ, 2007. — 400 с.
2. Автономні рішення від RENAУ. Вентиляція і повітрообмін у віконному будівництві [Текст] / відредаговано автором // Вітрина. — 2001. — № 3. — С. 46–49.
3. Плоский, Г. О. Особливості вентиляції багатоповерхових житлових будинків [Текст] / Г. О. Плоский, Г. В. Гетун, В. О. Кошева // Строительство и техногенная безопасность. — 2012. — № 41. — С. 193–194.
4. Фаренюк, Г. Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій [Текст] : монографія / Г. Г. Фаренюк. — К. : ГАМА-Принт, 2009. — 216 с.
5. The Building Regulations 2000. Approved document F: Ventilation [Текст]. — Coming into effect 1 October 2010. — London : NBS, 2010. — 61 p. — ISBN 978-1-85946-370-3.
6. British Standards: BS 5440-2-2000. Flueing and ventilation for gas appliances of rated input not exceeding 70 kW net (1st, 2nd and 3rd family gases) [Текст]. — London : BSI, 2009. — 28 p.
7. ДСТУ В.2.6-18-2000. Блоки віконні та дверні. Метод визначення повітро- та водонепроникності [Текст]. — На заміну ГОСТ 26602-85, СТ СЕВ 4183-83 ; чинний від 2001-01-01. — К. : Держбуд України, 2000. — 20 с.
8. Фаренюк, Е. Г. Воздухопроницаемость оконных конструкций [Текст] / Е. Г. Фаренюк // Оконные технологии. — 2002. — № 9. — С. 50–53.
9. ДБН В.2.2-15-2005. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення [Текст]. — На заміну СНиП 2.08.01-89, ДБН 79-92 ; чинні від 2006-01-01. — К. : Держбуд України, 2005. — 36 с.
10. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. — На заміну СНиП II-3-79 ; чинний від 2007-04-01. — К. : Мінбуд України, 2006. — 64 с. — (Державні будівельні норми України).

Отримано 09.10.2012

Е. Г. ФАРЕНЮК

ВЛИЯНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ПРОВЕТРИВАТЕЛЕЙ НА  
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ  
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И НОРМАТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В  
ПОМЕЩЕНИИ

Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт строительных конструкций»

В статье приведены результаты исследований влияния вентиляционного проветривателя на теплотехнические показатели окон и на обеспечение нормативного воздухообмена в помещениях.

Показано, что установка в конструкцию окна проветривателя дает возможность обеспечить нормативный воздухообмен в помещении, при этом не вызывая значительного изменения приведенного сопротивления теплопередачи конструкции в целом. Определено количество проветривателей для обеспечения нормативного воздухообмена в типовом помещении 9-ти этажного дома, расположенного в городе Киеве.

**вентиляционный проветриватель, нормативный воздухообмен, приведенное сопротивление теплопередачи, светопрозрачная ограждающая конструкция**

IEGOR FARENYUK

THE EFFECT OF SLOT VENTILATORS ON THERMAL TECHNICAL PERFORMANCES OF THE TRANSPARENT ENVELOPES AND STANDARD INDOORS AIR EXCHANGE

The State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions»

The results of researches the effect of slot ventilators on thermal technical performances of the window and providing the standard indoors air exchange are presented in this article. It is shown that the installation of slot ventilators into construction of the window allows to provide standard indoors air exchange without significant changes of the coerced heat transfer resistance of the construction as a whole. Also, defined a number of slot ventilators for allowing the standard indoors air exchange in representative room of the nine-story building situated in Kyiv.

**slot ventilator, standard indoors air exchange, coerced heat transfer resistance, transparent envelope**

**Фаренюк Єгор Геннадійович** — завідувач лабораторії будівельної теплотехніки та енергозбереження Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». Наукові інтереси: розробка державних будівельних норм та стандартів в галузі енергозбереження у будівництві, проведення комплексних експериментальних досліджень зовнішніх огорожувальних конструкцій та сучасних теплоізоляційних матеріалів.

**Фаренюк Егор Геннадьевич** — заведующий лаборатории строительной теплотехники и энергосбережения Государственного предприятия «Научно-исследовательский институт строительных конструкций». Научные интересы: разработка государственных строительных норм и стандартов в сфере энергосбережения в строительстве, проведение комплексных экспериментальных исследований внешних ограждающих конструкций и современных теплоизоляционных материалов.

**Igor Farenjuk** — head of the Laboratory of Building Thermal Engineering and Energy Saving of the State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions». Scientific interests: drafting of the State Building Norms and Standards in energy saving field in building, complex experimental researching of the external envelope and modern thermal insulating materials.

УДК 692.5.046

**В. Н. КУЩЕНКО, М. В. ГУБАРЕВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНОГО УЗЛА НЕПОДВИЖНОЙ ОПОРЫ РЕШЁТЧАТОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ГАЛЕРЕИ**

В статье выполнена оценка несущей способности сварных швов прикрепления опорного раскоса к фасонке неподвижной опоры решётчатой конвейерной галереи с учётом факторов действительной работы. Получены изополя распределения напряжений по длине сварных швов с учётом изгибающего момента.

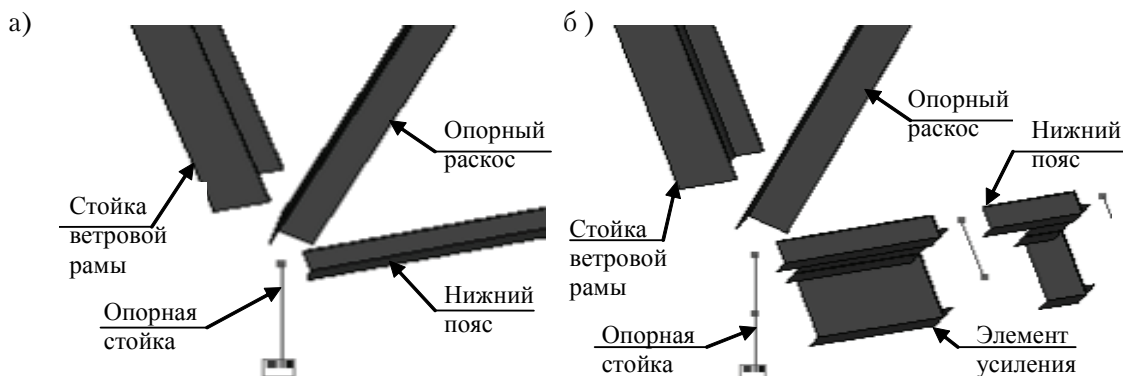
**решётчатая конвейерная галерея, опорный узел неподвижной опоры, напряжённно-деформированное состояние, сварной шов**

### **ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ**

Решётчатые конвейерные галереи применяются на горнодобывающих предприятиях Украины для транспортировки сыпучих материалов. Аварии, которые происходили на этих объектах, в основном характеризуются разрушением пролётного строения в приопорной зоне [1]. В связи с этим возникает задача анализа напряжённно-деформированного состояния пролётного строения в приопорной зоне с учётом факторов действительной работы.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В руководящих нормах по проектированию конвейерных галерей [2] до 1989 г. не было отражено усиление нижнего пояса пролётного строения в панели, перед неподвижной опорой (рис. 1а). Однако опыт проектирования показал, что усиление нижнего пояса пролётного строения, перед неподвижной опорой необходимо в связи с восприятием технологической горизонтальной нагрузки от обрыва (или заклинивания) ленты конвейера (рис. 1б) [3]. Усиление первой панели приводит к ужесточению работы опорного узла. По этой причине опорный раскос примыкает не шарнирно, а



**Рисунок 1** — Фрагмент опорного узла неподвижной (анкерной) опоры пролётного строения решётчатой конвейерной галереи: а) без усиления нижнего пояса пролётного строения в панели перед неподвижной опорой, б) с усилением нижнего пояса пролётного строения в панели перед неподвижной опорой.

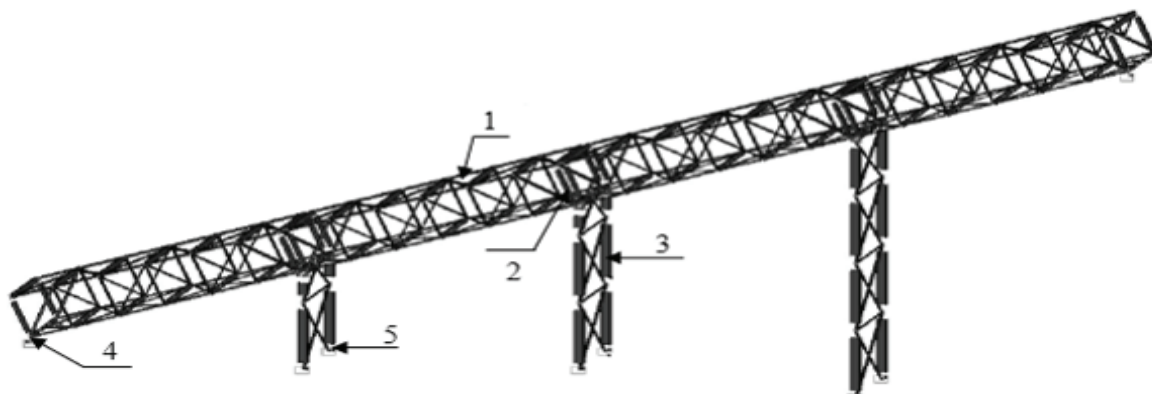
© В. Н. Кущенко, М. В. Губарев, 2012



имеется, какая-то степень защемления. Следовательно, появляется дополнительный изгибающий момент. В связи с этим возникает задача оценки влияния дополнительного изгибающего момента на несущую способность сварных швов, прикрепляющих опорный раскос к фасонке.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа НДС выбрана конструкция решётчатой конвейерной галереи по типовой серии 3.016-3 ЦНИИПроектстальконструкция: количество пролётов — 4, длина пролёта — 18 м, ширина галереи — 4,2 м, угол наклона к горизонту  $18^\circ$  (рис. 2), тип ограждающей конструкции — сборные ж/б панели.



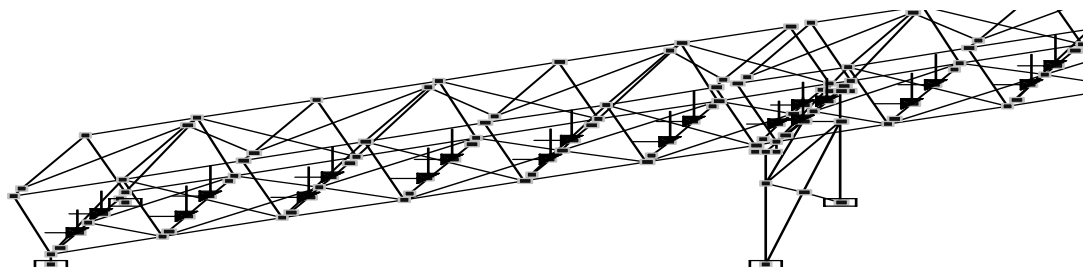
**Рисунок 2** — Основные конструктивные части решётчатой конвейерной галереи: 1 — пролётное строение, 2 — ветровая рама, 3 — плоская (шарнирная) опора, 4 — неподвижная (анкерная) опора, 5 — опорное закрепление.

**Целью работы** является оценка несущей способности сварных швов, прикрепляющих опорный раскос к фасонке с учётом влияния дополнительного изгибающего момента при обрыве (или заклинивании) ленты конвейера.

**Задачей исследования** является анализ НДС сварных швов крепления опорного раскоса к узловой фасонке фермы пролётного строения решётчатой конвейерной галереи.

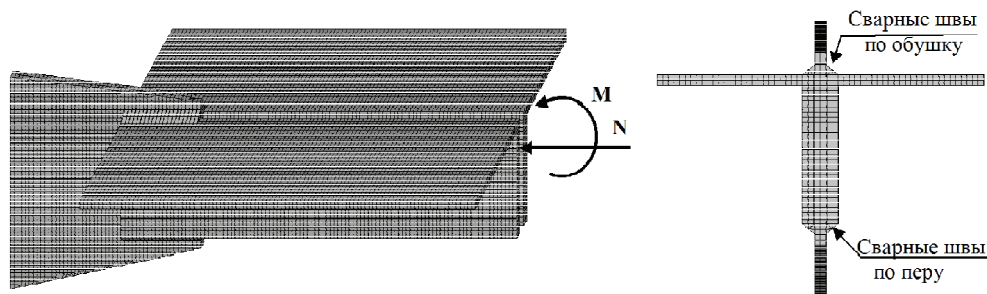
### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнялись в два этапа. На первом этапе исследования выполнялись на стержневой расчётной модели (рис. 3) двух видов: а) к опорному узлу, элементы примыкают шарнирно; б) к опорному узлу, элементы примыкают с учётом влияния усиления жёстко. Расчётные нагрузки определялись в виде статических эквивалентов в соответствии с положениями [3, 5, 10]. Из этих моделей в расчётном комплексе SCAD получили расчётные внутренние усилия  $N$ ,  $M$ ,  $Q$  в характерных конструктивных элементах при неблагоприятных комбинациях нагрузжений.



**Рисунок 3** — Фрагмент расчётной модели для анализа НДС опорного узла неподвижной опоры решётчатой конвейерной галереи.

На втором этапе выполнялись исследования НДС сварных швов крепления опорного раскоса к фасонке (рис. 4). Расчётная модель выполнена объёмными конечными элементами в расчётном комплексе Lira: фасонка и опорный раскос (тип 36 — универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ); сварные швы (тип 34 — универсальный пространственный шестиузловой изопараметрический КЭ). Густота разбивки сетки составляет 5 мм.



**Рисунок 4** — Расчётная модель прикрепления опорного раскоса к фасонке для анализа НДС сварных швов.

Внутренние усилия  $N$  и  $M$ , которые были получены в опорном раскосе в результате расчёта пространственной стержневой конструкции в расчётном комплексе SCAD, приложены в виде узловой нагрузки по центру тяжести сечения (рис. 4). В результате получены изополя распределения напряжений по длине сварных швов.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В таблице приводятся данные сопоставления расчётных внутренних усилий опорного раскоса по двум расчётным моделям.

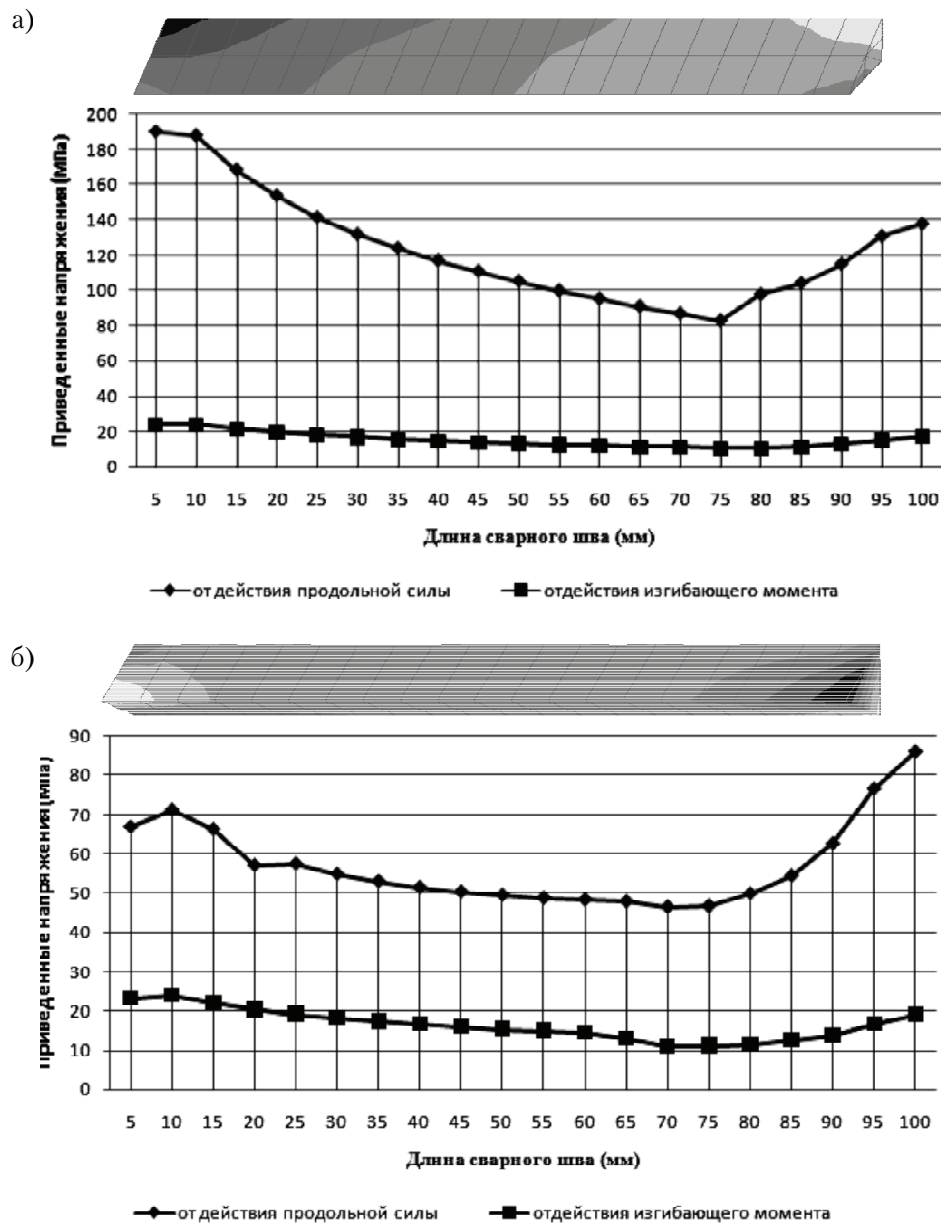
**Таблица** — Данные расчётных внутренних усилий опорного раскоса

№ п/п	Наименование конструктивного элемента	$N$ , т	$M$ , тс·м	$Q$ , тс
1	Опорный раскос (по схеме с шарнирным примыканием)	–35,9	–	–
2	Опорный раскос (по схеме с жёстким примыканием)	–36,1	1,49	0,58

Из таблицы видим, что в первом случае на сварные швы действует только продольная сила, во втором случае действует продольная сила и момент. В связи с этим рассматривается объёмная конечно-элементная модель, реализованная в расчётном комплексе Lira (рис. 4). Результаты распределения напряжений по длине сварных швов приведены на графиках (рис. 5).

## ВЫВОДЫ

1. Приведенные напряжения в сварном шве с учётом действия момента увеличились в среднем: по обушке уголка на 12 %, по перу уголка на 29 %.
2. Максимальное напряжение в наиболее напряжённой точке сварного шва при действии продольной силы составляет: по обушке уголка — 191 МПа, по перу уголка — 86 МПа; с учётом действия изгибающего момента составляет: по обушке уголка — 214 МПа, по перу уголка — 101 МПа.
3. Коэффициент концентрации напряжений в наиболее напряжённых точках сварного шва составляет: по обушке уголка в начале шва — 1,1, в конце шва — 1,6; по перу уголка в начале шва — 1,2, в конце шва — 1,5.
4. Скалывающие напряжения в сварном шве, не превышают несущую способность наплавленного металла шва.
5. Напряжения в сварных швах от действия изгибающего момента распределяются поровну между пером и обушкой уголка.
6. При расчётных сочетаниях нагрузок, которые не включают нагрузку от разрыва ленты конвейера в элементах опорного узла, изгибающие моменты возникают не существенные, таким образом, расчётная схема опорного узла соответствует шарнирному узлу по типу фермы.



**Рисунок 5** — Эпюры приведенных напряжений по длине сварного шва от действия продольной силы и изгибающего момента: а) по обушку уголка, б) по перу уголка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кущенко, В. Н. Анализ причин аварий строительных конструкций конвейерных галерей в условиях длительной эксплуатации [Текст] / В. Н. Кущенко, М. В. Губарев // Металлические конструкции. — 2012. — Т. 18, № 3. — С. 209–218.
2. Руководство по проектированию транспортёрных галерей [Текст] / Ленингр. Промстройпроект Госстроя СССР. — М. : Стройиздат, 1979. — 104 с.
3. Пособие по проектированию конвейерных галерей (к СНиП 2.09.03-85) [Текст] / ГПИ Ленпроектстальконструкция. — М. : Стройиздат, 1989. — 111 с.
4. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*) [Текст] / Укрниипроектстальконструкция. — М. : Стройиздат, 1989. — 159 с.
5. ДБН В.1.2-2:2006. Державні будівельні норми. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. — Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. — К. : Мінбуд України, 2006. — 61 с.
6. ДБН В.2.6-163:2010. Державні будівельні норми. Конструкції будівель і споруд. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. — На заміну СНиП II-23-81\*, окрім розділів 15\*–19, СНиП III-18-75, окрім розділів 3–8; СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій, окрім п.п. 4.78–4.134 ; надано чинні від 2011-12-01. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. — 127 с.

7. ДБН В 1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. — Уведено вперше зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4868-84 ; чинні з 2009-12-01. — К. : Мінрегіонбуд України, 2009. — 49 с.
8. Расчёт и проектирование пространственных конструкций : [учебн. пособие] / [Е. В. Горохов, В. Ф. Муцанов, Я. В. Назим, И. В. Роменский] ; Под общей редакцией Е. В. Горохова. — Макеевка : ДонНАСА, 2012. — 561 с.
9. Recommendation for Loading and Safety Regulations for Structural Design [Текст] / Ministry of Housing, Nordic Committee on Building Regulations. — Copenhagen : NKB, 1978. — Report No. 36. — 148 p.

Получено 09.10.2012

В. М. КУЩЕНКО, М. В. ГУБАРЕВ

## АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОПОРНОГО ВУЗЛА НЕРУХОМОЇ ОПОРИ РЕШІТЧАСТОЇ КОНВЕЄРНОЇ ГАЛЕРЕЇ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті виконана оцінка несучої здатності зварних швів кріплення опорного розкосу до фасонки нерухомої опори решітчастої конвеєрної галереї з урахуванням факторів дійсної роботи. Отримані ізополя розподілення напружень по довжині зварних швів з урахуванням згинального моменту.

**решітчаста конвеєрна галерея, опорний вузол нерухомої опори, напружено-деформований стан, зварний шов**

VOLODYMYR KUSHCHENKO, MIROSLAV HUBAREV

## THE ANALYSIS OF TENSELY-STATE OF STRAIN BASIC KNOT OF THE MOTIONLESS BEARER OF TRELLISED CONVEYOR PASSAGEWAY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In article the estimation of a load-carrying capacity of welds of an attachment of a basic inclined brace to a corner plate of a motionless bearer of trellised conveyor passageway with the account of factors of the valid work is executed. Stress distribution isofields on length of welds with the account of a moment of flexion are received.

**trellised conveyor passageway, basic knot of a motionless bearer, tensely-state of strain, weld**

**Кущенко Володимир Миколайович** — д. т. н., професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи і вдосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій гірничотехнічних споруд.

**Губарев Мирослав Валерійович** — аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи і вдосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій конвеєрних галерей в умовах тривалої експлуатації.

**Кущенко Владимир Николаевич** — д. т. н., профессор кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы и совершенствование методов расчёта строительных конструкций горнотехнических сооружений.

**Губарев Мирослав Валерьевич** — аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы и совершенствование методов расчёта строительных конструкций конвейерных галерей в условиях длительной эксплуатации.

**Volodymyr Kushchenko** — DSc (Eng.), professor, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: research of the valid work and perfection of methods of design of building structures of mining constructions.

**Miroslav Hubarev** — a post-graduate, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: research of the valid work and perfection of methods of calculation of building designs of conveyor passageways in the conditions of long operation.

УДК 666.974.2

**А. Н. ЕФРЕМОВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТЕРМОСТОЙКОСТЬ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ВЯЖУЩИХ**

Получены щелочные алюмосиликатные бетоны с температурой деформации под нагрузкой 1 150—1 770 °С и огнеупорностью 1 680—2 000 °С. Бетоны характеризуются повышенной термостойкостью, особенно шамотный. Высокая термостойкость бетонов на основе щелочных вяжущих объясняется их повышенной прочностью, низкими упругими свойствами при температуре выше 600 °С и незначительной величиной коэффициента линейного температурного расширения.

**огнеупорные алюмосиликатные бетоны, щелочные вяжущие, термомеханические свойства**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из основных технических характеристик огнеупорных материалов является термостойкость, которая определяет долговечность футеровок при чередующихся резких колебаниях температур. При прочих равных условиях термостойкость материалов находится в прямой зависимости от прочности и теплопроводности, а в обратной — от модуля упругости и коэффициента линейного температурного расширения материала [1, 2].

Среди огнеупорных материалов наибольшей термостойкостью характеризуются алюмосиликатные, от рядовых шамотных до высокоглиноземистых. Это связано, в основном, с их равномерным и сравнительно низким коэффициентом линейного температурного расширения и невысокими упругими свойствами при температуре выше 1 250—1 300 °С [1, 2]. Поэтому алюмосиликатные материалы являются лучшими заполнителями для термостойких бетонов.

Понятно, что на термостойкость бетонов существенное влияние должны оказывать и свойства вяжущей матрицы. В качестве вяжущего в огнеупорных шамотных бетонах могут использоваться: портландцемент, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, композиции на основе жидкого (обычно натриевого) стекла и алюмофосфатной связки.

Бетоны на основе портландского и глиноземистого цементов, шамотных наполнителей и заполнителей имеют невысокую, 1 200—1 300 °С, предельную температуру применения. Использование высокоглиноземистого цемента с рядовыми алюмосиликатными материалами типа шамота экономически нецелесообразно, т. к. уже при температуре 1 345 °С цемент с шамотом образуют эвтектический расплав, ограничивающий температуру применения бетона 1 350 °С [3, 4]. Кроме того, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы на Украине не производятся.

Применение бетонов фосфатного твердения наиболее эффективно при горячих ремонтах тепловых агрегатов. Использование же фосфатных связующих на основе кислых и амфотерных оксидов в производстве огнеупорных бетонных изделий менее эффективно, т. к. требует обработки при температуре 200—500 °С [5].

В последние 30—40 лет нашли широкое использование огнеупорные бетоны на основе жидкостекольных вяжущих (натриевое жидкое стекло + тонкомолотый наполнитель + отвердитель). Эти бетоны обладают рядом достоинств: быстро твердеют, обладают достаточно высокой прочностью в области упругих деформаций при температуре 20—800 °С, характеризуются доступностью и сравнительной дешевизной исходных компонентов.

В качестве отвердителей жидкого стекла в огнеупорных бетонах применяют, в основном, кремнефторид натрия, дисперсные саморассыпающиеся металлургические шлаки. Однако вяжущие на жидком стекле и кремнефториде натрия не водостойки, кремнефторид токсичен и является сильным

плавнем по отношению к алюмосиликатным огнеупорным материалам. За счет оксида натрия жидкого стекла и кремнефторида предельная температура алюмосиликатных бетонов снижается на 100–400 °С [4, 5] по сравнению с используемыми алюмосиликатными заполнителями и наполнителем.

На основе жидкого стекла и отвердителей из металлургических шлаков можно получить водостойкие, нетоксичные бетоны. Однако щелочноземельные оксиды шлаков тоже являются сильными плавнями по отношению к алюмосиликатам. Анализ диаграммы состояния  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  [4] показывает, что каждый процент щелочных и щелочноземельных оксидов снижает температуру плавления алюмосиликатов примерно на 20–30 °С. Для получения огнеупорных шамотных бетонов на жидком стекле в их состав необходимо вводить не более 4 % металлургических шлаков (около 2 % щелочноземельных оксидов). При использовании известных композиций, например с отвердителями из саморассыпающихся кристаллических шлаков, бетоны имеют низкую исходную прочность, особенно до сушки.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры получены шлакощелочные (молотые шамот + доменный граншлак + жидкое стекло), позволяющие вводить в бетон не более 1–2 % щелочноземельных и 0,5–1,0 % щелочных оксидов. Кроме того, на основе тонкодисперсных алюмосиликатных материалов (шамот, муллитокорунд) разработаны щелочные вяжущие на основе жидкого стекла с силикатным модулем 1,0–1,5, отвердителем которого является метакраолин (краолин, обожженный при 650–750 °С). На их основе получены алюмосиликатные бетоны с температурой деформации под нагрузкой 1 150–1 770 °С и огнеупорностью 1 680–2 000 °С. Специфическая аморфизированная структура продуктов твердения шлакощелочных ( $\text{CaO}\cdot n\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaO}\cdot\text{CaO}\cdot n\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ ) и щелочных ( $\text{NaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ ) вяжущих позволила предположить [6], что алюмосиликатные бетоны на их основе должны характеризоваться высокой термостойкостью.

**Цель работы** – провести сравнительные исследования термостойкости алюмосиликатных бетонов на различных вяжущих, определить основные факторы влияющие на их термостойкость.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях в качестве исходных компонентов применялись следующие тонкодисперсные материалы:

- метакраолин и шамот марки ШКН–2 (ТУУ 322-7-00190503-083-97, содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 40,6 %), полученные предварительным обжигом Новоселицкого каолина соответственно при температурах 700 и 1 450 °С;
- муллитокорундовый шамот марки МК-90 Часовоярского огнеупорного комбината из брикетов для производства изделий по ТУ 14-8-555-87 с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  92,2 %;
- доменный граншлак Макеевского металлургического комбината с модулем основности 1,12, размолотый на Амвросиевском цементном заводе «Строма».

В сравнительных испытаниях применялись: портландцемент ПЦ I, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы активностью 49,0; 41,5 и 52,0 МПа.

Тонкость помола материалов по остатку на сите 0,08 мм составляла 5,3–10,2 % для остальных материалов.

Регулирование силикатного модуля растворов силиката натрия производилось смешением промышленного жидкого стекла с силикатным модулем 2,9 и раствора гидроксида натрия. Плотность растворов  $\text{NaO}\cdot 2\text{SiO}_2$  и  $\text{NaO}\cdot 1,5\text{SiO}_2$  составляла соответственно 1,25 и 1,30 г/см<sup>3</sup>. В исследованиях использовались бетоны, составы которых приведены в табл. 1.

Испытание модуля упругости бетонов в нагретом состоянии проводили при кратковременном воздействии нагрузки по методике [7, 8].

Определение термостойкости производилось следующим образом: после 28 суток нормального твердения образцы-кубы с ребром 7 см высушивались до постоянной массы при температуре 110 °С, после чего обжигались со скоростью нагрева 200 °С/час с выдержкой при конечной температуре 4 часа и выгружались в воду. Далее испытание проводилось по методике [9].

## АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследования влияния температуры прогрева на модуль упругости шлакощелочного бетона состава № 5 показали, что при нагреве до температуры 500 °С его упругие свойства уменьшаются примерно так же, как и остальных бетонов (на рис. 1 для бетонов 1, 2 и 4 использованы обобщенные данные К. Д. Некрасова [7] и А. Ф. Милованова [8]). Снижение модуля упругости идет примерно прямо

Таблица 1 — Составы бетонов

№№ пп	Расход материалов, кг/м³												
	цементы			тонкодисперсные				шамот (мулли-токорунд*)		вода	растворы		
	портландский	глиноземистый	высокоглино-земистый	шамот (мулли-токорунд*)	метакаолин	граншлак	Na₂SiF₆	0,16–5 мм	5–20 мм		Na₂O·2,9SiO₂	Na₂O·2SiO₂	Na₂O·1,5SiO₂
1	300	–	–	150	–	–	–	730	870	230			–
2	–	400	–	50	–	–	–	730	870	230	–		–
3	–	–	400	50	–	–	–	730	870	230			–
4	–	–	–	300	–	–	34	730	870	–			–
5	–	–	–	304	–	76	–	730	870	–			280
6	–	–	–	305	75	–	–	730	870	–			290
7	–	–	–	448*	72	–	–	940*	1040*	–			255

пропорционально температуре и связано, вероятно, с удалением адсорбированной воды и разрыхлением вяжущей матрицы бетонов.

При дальнейшем повышении температуры прогрева до 1 000 °С снижение упругих свойств шамотных бетонов на портландском и глиноземистом цементах замедляется и при 900–1 000 °С их модуль упругости равен соответственно 23–28 и 28–31 % от исходной величины.

Иначе ведут себя бетон на жидком стекле с кремнефторидом натрия и шлакощелочной бетон. Для первого характерен значительный, но равномерный спад упругих свойств в температурном интервале 500–800 °С, для второго — резкое снижение упругости при подъеме температуры от 500 до 600 °С. Как показано в работе [6], резкий спад модуля упругости шлакощелочного бетона связан с резким увеличением подвижности катионов натрия и переходом аморфных продуктов твердения в пиропластическое состояние. При дальнейшем подъеме температуры до 900 °С снижение модуля упругости бетонов 3 и 4 замедляется, относительная величина этого снижения примерно такая же, как и для цементных бетонов. При 900 °С модуль упругости жидкостекольного и шлакощелочного бетонов составляет соответственно всего 8 и 3 % от исходного.

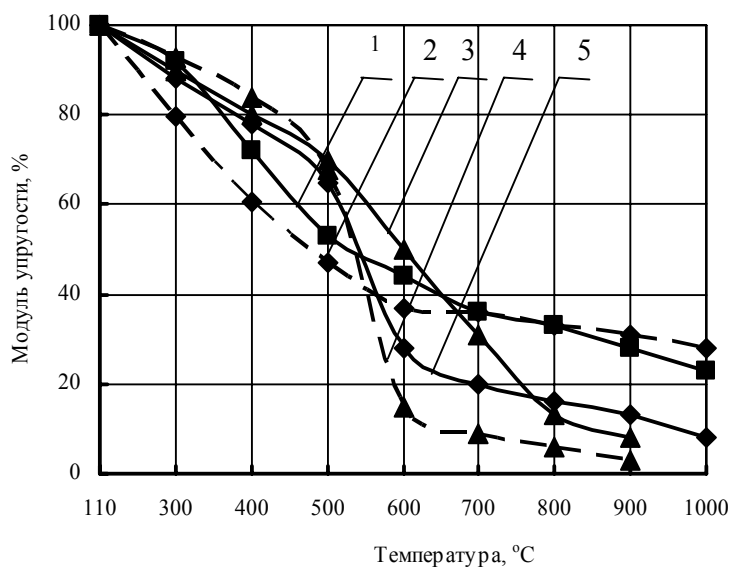


Рисунок 1 — Зависимость модуля упругости бетонов от температуры прогрева: 1–5 — соответственно составы №№ 1, 2, 4–6 по табл. 1.

Характер зависимости модуля упругости шамотного бетона № 6 с метаксаолином в качестве отвердителя полутормодульного жидкого стекла примерно такой же, как и для шлакощелочного состава № 5, но его остаточный модуль упругости при температурах 900 и 1 000 °С выше и равен 13 и 8 %.

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показывает, что шамотные бетоны на жидких стеклах отличаются высокой термостойкостью, особенно бетон на вяжущих, состоящих из тонкомолотых алюмосиликатов и полутормодульного силиката натрия с отвердителем — дисперсным метаксаолином. Так, после 50 циклов водных теплосмен 800 °С↔20 °С бетон состава № 6 практически сохраняет свою исходную прочность.

**Таблица 2** — Сравнительная термостойкость алюмосиликатных бетонов

№№ составов по табл. 1	Предел прочности при сжатии (МПа – перед чертой, % – после черты) при количестве циклов водных теплосмен 800 °С↔20 °С						
	после сушки	1	5	15	30	40	50
1	23,2/100	10,7/46	6,6/29	2,7/12	–	–	–
2	26,6/100	16,8/63	12,0/45	6,6/25	2,2/10	–	–
3	43,0/100	36,4/85	28,4/66	20,6/48	9,2/21	6,0/14	3,3/7,2
4	20,5/100	16,4/80	13,2/64	10,7/52	8,7/42	5,4/26	4,6/22
5	31,0/100	24,8/80	20,5/66	15,2/49	10,5/34	6,5/21	4,0/13
6	26,4/100	26,9/102	–	–	26,7/101	26,3/100	25,9/98
7	28,4/100	28,7/101	–	–	18,5/65	16,5/58	14,2/50

Основным фактором, определяющим высокую термостойкость бетона, является низкий модуль упругости при температуре выше 600 °С. Кроме того, высокая термостойкость объясняется значительной остаточной прочностью бетона после прогрева при температуре 800 °С и низким коэффициентом температурного расширения связки и бетона в целом, а также их соизмеримостью [6].

Муллитокорундовые бетоны имеют более низкую термостойкость. Однако она несоизмеримо выше, чем, например, термостойкость шамотного бетона на всех использованных цементах.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, основными факторами, определяющими высокую термостойкость разработанных огнеупорных бетонов, являются:

- значительное понижение модуля упругости при температурах выше 600 °С вследствие перехода керамической связки в состояние, близкое к пиропластическому, в результате чего релаксируются и снижаются температурные напряжения вяжущей матрицы;
- высокая остаточная прочность после прогрева при температурах выше 800 °С;
- низкий коэффициент линейного температурного расширения, соизмеримый для вяжущей матрицы и заполнителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрелов, К. К. Структура и свойства огнеупоров [Текст] / К. К. Стрелов. — М. : Металлургия, 1972. — 216 с.
2. Кингери, У. Д. Введение в керамику [Текст] : пер. с англ. / У. Д. Кингери. — М. : Стройиздат, 1967. — 499 с.
3. Стрелов, К. К. О подборе вяжущих для огнеупорных бетонов [Текст] / К. К. Стрелов, С. Р. Замятин // Огнеупоры. — 1977. — № 9. — С. 25–28.
4. Диаграммы состояния силикатных систем [Text] : справочник / Н. А. Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин и др. — Л. : Наука, 1972. — Вып. 3 : Тройные системы. — 448 с.
5. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур [Текст]. — Взамен СН 482-76 ; введ. 1986-01-01. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. — 54 с.
6. Ефремов, А. Н. Огнеупорные бетоны на основе щелочных вяжущих с повышенными термомеханическими свойствами [Текст] / А. Н. Ефремов, П. В. Кривенко. — Макеевка : ДонНАСА, 2008. — 187 с.
7. Некрасов, К. Д. Жароупорный бетон [Текст] / К. Д. Некрасов. — М. : Промстройиздат, 1957. — 283 с.
8. Милованов, А. Ф. Жаростойкий железобетон [Текст] / А. Ф. Милованов. — М. : Госстройиздат, 1963. — 235 с.
9. СН 156-79. Инструкция по технологии приготовления жаростойких бетонов [Текст]. — М. : Стройиздат, 1979. — 40 с.

Получено 06.09.2012



О. М. ЄФРЕМОВ

ПОРІВНЯЛЬНА ТЕРМОСТІЙКІСТЬ АЛЮМОСИЛІКАТНИХ БЕТОНІВ НА  
ОСНОВІ РІЗНИХ В'ЯЖУЧИХ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Одержані лужні алюмосиликатні бетони з температурою деформації під навантаженням 1 150—1 770 °С і вогнетривкістю 1 680—2 000 °С. Бетони характеризуються підвищеною термостійкістю, особливо шамотний. Висока термостійкість бетонів на основі лужних в'яжучих пояснюється їх підвищеною міцністю, низькими пружними властивостями при температурі понад 600 °С і незначною величиною коефіцієнта лінійного розширення.

**вогнетривкі алюмосиликатні бетони, лужні вяжучі, термомеханічні властивості**

ALEXANDER YEFREMOV

COMPARATIVE THERMAL STABILITY OF ALUMINOSILICATE CONCRETES ON  
BASIS OF DIFFERENT BINDERS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Alkaline aluminosilicate concrete is obtained with the following properties: deformation temperature under loading 1 150—1 770 °C, refractoriness 1 680—2 000 °C and high thermal stability, especially fire-clay. Factors, which determinates heightened thermal stability of refractory concretes on basis of alkaline binders: heightened strength, small springiness at temperature above 600 °C and small quotient of linear heightened extension.

**refractory aluminosilicate concretes, alkaline binders, thermal and mechanical properties**

**Єфремов Олександр Миколайович** — доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конст-рукцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: в'яжучі і бетони на основі промислових відходів, жаростійкі і вогнетривкі бетони.

**Ефремов Александр Николаевич** — доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

**Alexander Yefremov** — DSc (Eng.), professor, Technology of Building Constructions, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial waste, heat-resistant and refractory concretes.

УДК 622.276.52

**Ф. Ф. СТИФЕЕВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ПУЛЬПЫ В ПОДЪЕМНОЙ ТРУБЕ ЭРЛИФТА

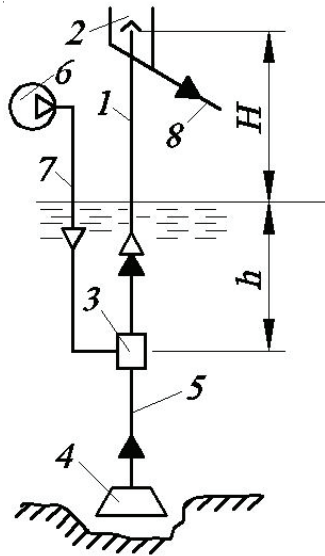
Автором впервые поставлена и решена задача об определении рациональной плотности транспортируемой эрлифтом пульпы в условиях, когда этот параметр не ограничен технологическим регламентом. Получены зависимости для нахождения оптимальной, с позиций энергетических затрат, плотности пульпы.

**эрлифт, плотность, пульпа, энергетические затраты, КПД**

### ВВЕДЕНИЕ

Эрлифтные установки нашли широкое применение не только в горнодобывающей промышленности и на обогатительных фабриках [1] в качестве средства транспорта пульпы, параметры которой заданы технологическими требованиями, но и в строительстве [2–4] для подъема гидросмеси, плотность которой не регламентируется. В процессе производства земляных работ при строительстве мостов рекомендуют [3, 4] использовать эрлифт производительностью 5...20 м<sup>3</sup>/ч «при насыщении пульпы грунтом от 5 до 20 %». Однако указанная плотность (насыщенность) не обоснована ни теоретическими исследованиями, ни практическими испытаниями.

Гидравлическая схема эрлифта для дноуглубительных работ представлена на рис. 1.



**Рисунок 1** — Гидравлическая схема эрлифтной установки.

Установка, в основном, состоит из подъемной трубы 1, воздухоотделителя 2, смесителя 3, грунтозаборного (дозировующего) устройства 4, подающей трубы 5, нагнетателя сжатого воздуха (компрессора или воздуходувки) 6, воздухопровода 7, сливного патрубка 8.

По принципу действия (ГОСТ 17318-72) эрлифты относятся к динамическим насосам трения. В них гидросмесь (пульпа) поднимается под действием сил, возникающих при относительном движении воздуха и пульпы.

Работа установки происходит следующим образом: воздух от компрессора 6 по воздухопроводу 7 подается в смеситель 3, где смешивается с пульпой, поступающей через грунтозаборное устройство 4 и подающую трубу 5. Из смесителя трехфазная среда (воздух + вода + грунт) по подъемной трубе 1 движется вверх и поступает в воздухоотделитель 2, в котором разделяется — воздух уходит в атмосферу, а пульпа по сливному патрубку 8 отводится либо в приемную емкость (на рис. 1 — не показана), либо в специально отведенное место водоема.

Расходная характеристика эрлифта (зависимость массовой подачи эрлифта от расхода воздуха при прочих неизменных параметрах) приведена на рис. 2.

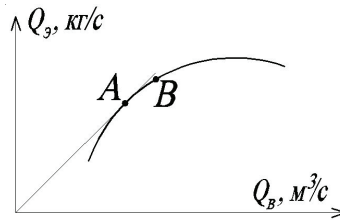


Рисунок 2 — Расходная характеристика эрлифта.

Здесь на графике выделены точки, соответствующие следующим режимам эксплуатации: А — оптимальному, т. е. режиму работы с максимальным КПД; В — расчетному, который характеризуется большим на 30 % расходом воздуха по сравнению с режимом оптимальным. Работа на расчетном режиме, хотя и приводит к некоторому снижению КПД, является предпочтительней, т. к. эксплуатация на оптимальном режиме сопровождается значительными периодическими нагрузками на элементы подъемной трубы и воздухоотделителя.

**Целью** настоящей работы является определение оптимальной плотности пульпы в подъемной трубе эрлифта в условиях, когда этот параметр не ограничен технологическим регламентом.

При **определении рациональной плотности пульпы в подъемной трубе эрлифта** будем рассматривать энергетические затраты на транспорт воды как неизбежные сопутствующие потери энергии, так как подъем эрлифтом твердых масс без жидкой фазы невозможен. При этом полезная мощность эрлифтного подъема, отнесенная к массовой подаче, определяется соотношением:

$$N = \rho_{\text{ТВ}} g H Q_{\text{ТВ}}, \quad (\text{Дж}), \quad (1)$$

где  $\rho_{\text{ТВ}}$  — средняя плотность твердых частиц, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  — ускорение свободного падения, (в дальнейшем будем принимать  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ );  
 $H$  — высота подъема пульпы эрлифтом, м;  
 $Q_{\text{ТВ}}$  — объемная подача твердых масс, м<sup>3</sup>/с.

Мощность, подводимая к смесителю эрлифта, обеспечивающая подъем как твердых масс, так и воды, равна:

$$N_1 = Q_{\text{В}} P_{\text{а}} \ln(P_{\text{с}} / P_{\text{а}}), \quad (\text{Дж}), \quad (2)$$

где  $Q_{\text{В}}$  — расход воздуха, приведенный к атмосферным условиям, м<sup>3</sup>/с;  
 $P_{\text{а}}$  — атмосферное давление, Н/м<sup>2</sup>;  
 $P_{\text{с}}$  — давление в смесителе эрлифта, Н/м<sup>2</sup>.

Таким образом, КПД эрлифта по подъему твердых масс:

$$\eta = \rho_{\text{ТВ}} g H Q_{\text{ТВ}} / Q_{\text{В}} P_{\text{а}} \ln(P_{\text{с}} / P_{\text{а}}). \quad (3)$$

Объемную подачу  $Q_{\text{ТВ}}$  найдем из следующих соображений. Массовая подача эрлифта в единицу времени:

$$G = G_{\text{ТВ}} + G_{\text{В}}, \quad (4)$$

где  $G_{\text{ТВ}}$  и  $G_{\text{В}}$  массовые подачи эрлифта по твердым фракциям и воде соответственно, кг/с.

Учитывая, что  $G = \rho Q$ ,  $G_{\text{ТВ}} = \rho_{\text{ТВ}} Q_{\text{ТВ}}$  и  $G_{\text{В}} = \rho_{\text{В}} Q_{\text{Ж}}$  (где  $\rho$  и  $\rho_{\text{В}}$  — плотности пульпы и воды, а  $Q$  и  $Q_{\text{В}}$  — объемная подача эрлифта и объемная подача эрлифта только по воде, соответственно), уравнение (4) примет вид:

$$\rho Q = \rho_{\text{ТВ}} Q_{\text{ТВ}} + \rho_{\text{В}} Q_{\text{Ж}}.$$

Естественно, что  $Q_{\text{Ж}} = Q - Q_{\text{ТВ}}$ . Тогда:

$$\rho Q = \rho_{\text{ТВ}} Q_{\text{ТВ}} + \rho_{\text{В}} (Q - Q_{\text{ТВ}}). \quad (5)$$

Из уравнения (5) получим:

$$Q_{\text{ТВ}} = Q(\rho - \rho_{\text{В}}) / (\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{В}}).$$

Аналогично определяется и подача эрлифта по воде:

$$Q_{\text{Ж}} = Q(\rho_{\text{ТВ}} - \rho) / (\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{В}}).$$

Таким образом, КПД эрлифта, отнесенный к подъему только твердых масс, определяется выражением:

$$\eta = \rho_{\text{ТВ}} g H Q (\rho - \rho_{\text{В}}) / Q_{\text{В}} P_{\text{а}} (\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{В}}) \ln(P_{\text{с}} / P_{\text{а}}),$$

или, после преобразований:

$$\eta = \rho_{\text{ТВ}}^* H (\rho^* - 1) / 10 q (\rho^* - 1) \ln(P_{\text{с}} / P_{\text{а}}), \quad (6)$$

где  $\rho_{\text{ТВ}}^*$  — относительная плотность твердых масс (отношение плотности твердых масс к плотности воды);

$\rho^*$  — относительная плотность пульпы (отношение плотности пульпы к плотности воды);

$q$  — удельный расход воздуха, равный отношению расхода воздуха (в м<sup>3</sup>/с) к объемной подаче эрлифта (также измеряемой в м<sup>3</sup>/с).

Анализ уравнения (6) показывает, что КПД эрлифта по транспорту твердых фракций зависит от плотности твердого материала, плотности пульпы, высоты подъема, давлений в смесителе и в воздухоотделителе и удельного расхода воздуха. Для конкретной эрлифтной установки, как правило, известными параметрами являются: высота подъема, плотность твердого материала, плотность пульпы, которая регулируется при помощи различных дозирующих устройств, давление в смесителе, зависящее, в основном, от его геометрического погружения. Давление в воздухоотделителе эрлифта обычно равно давлению атмосферному. Наибольшую трудность при нахождении  $\eta$  представляет определение удельного расхода воздуха, так как этот параметр зависит от геометрических размеров установки, относительного погружения, плотности пульпы и плотности твердого материала, положения режимной точки на расходной характеристике эрлифта и т. д.

Удельный расход воздуха при транспорте эрлифтом только воды с достаточной для практики точностью определяется зависимостью, предложенной Л. Н. Козыряцким [6]:

$$q_{\text{В}} = 0,767 \alpha^{-2,2}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  — относительное погружение эрлифта (один из главных критериев подобия эрлифтных установок), равное отношению высоты подъема пульпы  $H$  ко всей длине подъемной трубы  $(h + H)$ .

Зависимость (7) справедлива для коротких эрлифтов, для которых отношение  $(h + H) / D \leq 200$  при ограничении заглубления смесителя под свободный уровень воды  $h \leq 20$  м. Здесь  $D$  — диаметр подъемной трубы эрлифта. Для длинных эрлифтов, у которых отношение  $(h + H) / D \leq 200$  и заглубление смесителя в пределах  $h = 40 \dots 120$  м, рекомендуется [6] следующая зависимость:

$$q_{\text{В}} = 60 e^{-9\alpha}. \quad (8)$$

Параметры установок, применяемых при дноуглубительных работах в строительстве мостов и других подобных сооружений, относятся, как правило, к эрлифтам коротким. Поэтому, в дальнейшем, при исследовании энергетических зависимостей, будем рассматривать только короткие эрлифты.

Эмпирические зависимости (7) и (8) дают возможность определить значение удельного расхода воздуха только при транспорте эрлифтом воды и не учитывают влияния ни плотности пульпы, ни

плотности поднимаемого твердого материала. Для установления влияния указанных параметров автором [7] были проведены достаточно представительные экспериментальные исследования эрлифтных установок при транспорте морского песка ( $\rho = 2\,500\text{ кг/м}^3$ ) и металлургической окалины ( $\rho = 5100\text{ кг/м}^3$ ). При этом предельные значения объемной консистенции составили Т:Ж=2:3 (песок) и Т:Ж=2:5 (окалина), а массовой консистенции — 1:1 и 9:10 соответственно. Анализ экспериментальных исследований эрлифтов (как проведенных автором), так и В. Н. Метревели [8] позволил установить поправочный коэффициент  $k$ , учитывающий и плотность пульпы, и плотность твердого материала (в относительных единицах):

$$k = \sqrt{3}(\rho_{\text{тв}}^* - 0,65)(\rho^* - 1) + 1. \quad (9)$$

Таким образом, удельный расход воздуха при транспорте эрлифтом пульпы различной плотности с включениями твердых фракций установленной плотности может быть определен следующим соотношением:

$$q = kq_{\text{в}}. \quad (10)$$

В процессе работы эрлифта на рекомендуемых эксплуатационных режимах давление в его смесителе уменьшается за счет потерь давления в дозирующем устройстве и в подающей трубе. Поэтому, как показывает практика, натуральный логарифм в знаменателе соотношения (6) можем записать следующим образом:

$$\ln(P_c / P_a) = \ln(1 + 0,082h\rho^*). \quad (11)$$

Следовательно, уравнение (6) с учетом выражений (7), (9), (10) и (11) будет иметь вид

$$\eta = \rho_{\text{тв}}^* H (\rho^* - 1) / 7,67\alpha^{-2,2} \left[ \sqrt{3}(\rho_{\text{тв}}^* - 0,65)(\rho^* - 1) + 1 \right] (\rho_{\text{тв}}^* - 1) \ln(1 + 0,082h\rho^*). \quad (12)$$

Исследование на экстремум уравнения (12) позволило получить зависимость для определения оптимальной плотности пульпы (в относительных единицах):

$$\rho_{\text{тв}}^* H \left[ \sqrt{3}(\rho_{\text{тв}}^* - 0,65)(\rho^* - 1) + 1 \right] \ln(1 + 0,082h\rho^*) - (\rho^* - 1) \left\{ \sqrt{3}(\rho_{\text{тв}}^* - 0,65) \right\} \ln(1 + 0,082h\rho^*) + \\ + \left[ \sqrt{3}(\rho_{\text{тв}}^* - 0,65) + 1 \right] \cdot 0,082h / (1 + 0,082h\rho^*) \} = 0 \quad (13)$$

В уравнении (13) искомая величина  $\rho^*$  выражена в неявном виде, поэтому для ее нахождения целесообразно воспользоваться программой MathCad.

Исследуем знаменатель частной производной  $\partial\eta/\partial\rho^*$  на предмет установления, при каких значениях  $\rho_{\text{тв}}^*$  и  $\rho^*$  он может стремиться к нулю. Знаменатель:

$$7,67\alpha^{-2,2} \cdot (\rho_{\text{тв}}^* - 1) \left\{ \left[ \sqrt{3}(\rho_{\text{тв}}^* - 0,65)(\rho^* - 1) + 1 \right] \ln(1 + 0,082h\rho^*) \right\},$$

при реальных условиях эксплуатации эрлифта с параметрами  $\alpha = 0,4 \dots 0,8$  и плотностью твердых фракций  $\rho_{\text{тв}}\text{ кг/м}^3$  всегда будет больше нуля.

В таблице приведены значения изменения КПД при подъеме твердых масс эрлифтом, параметры которого: 1) высота подъема  $H = 8,5\text{ м}$ ; 2) заглубление смесителя  $h = 5,5\text{ м}$ ; плотность поднимаемого твердого материала  $\rho_{\text{тв}} = 2\,500\text{ кг/м}^3$  (морской или речной песок). Расчеты будем выполнять до предельного по массе соотношения Т:Ж=1:1, т.е. до значения плотности пульпы, примерно равного  $1\,750\text{ кг/м}^3$ .

**Таблица** — Расчетные значения КПД в зависимости от плотности пульпы

$\rho^*$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,75
$\eta, \%$	3,9	5,9	7,0	7,6	7,9	8,04	8,1	8,08

Как следует из представленных вычислений, оптимальное, с позиций энергетических затрат, значение плотности пульпы рассматриваемого эрлифта составляет  $1\,700\text{ кг/м}^3$ .

Полученные результаты позволяют уже на стадии проектирования оптимизировать режимы эксплуатации эрлифтных установок, предназначенных для проведения дноуглубительных строительных работ.

В дальнейших исследованиях следует установить изменения расхода воздуха и производительности эрлифта в зависимости от плотности транспортируемой пульпы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энциклопедия эрлифтов [Текст] / Ф. А. Папаяни, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пашенко, А. П. Кононенко. — М. : Информсвязьиздат, 1995. — 592 с.
2. Бобриков, Б. В. Строительство мостов [Текст] : Учебник для вузов железнодорожного транспорта / Б. В. Бобриков. — М. : Транспорт, 1978. — 296 с.
3. Владимирский, С. Р. Механизация строительства мостов [Текст] : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Мосты и транспорт. тоннели» / С. Р. Владимирский. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб. : Изд-во ДНК, 2006. — 152 с. — ISBN 5-901562-54-2.
4. Александров, В. Д. Карманный справочник производителя работ ОАО «Мостотрест» [Текст] / В. Д. Александров. — Изд. пятое. — Москва : ООО «Печатный двор "На Алексеевской"», 2008. — 374 с.
5. Экспериментальные исследования режимов работы эрлифтных установок [Текст] / Н. Г. Логвинов, Н. И. Скорынин, Ф. Ф. Стифеев, И. В. Дикуха // Разработка месторождений полезных ископаемых. — Киев : Техника, 1987. — № 78. — С. 9—15.
6. Эрлифтные установки [Текст] : Учебное пособие / В. Г. Гейер, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пашенко, Я. К. Антонов. — Донецк : ДПИ, 1982. — 64 с.
7. Стифеев, Ф. Ф. Разработка эрлифтов для подъема пульпы повышенной плотности [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.06 / Стифеев Федор Федорович. — Донецк, 1985. — 262 с.
8. Метревели, В. Н. Применение эрлифтных установок в условиях обогатительных фабрик Чиатурского месторождения [Текст] / В. Н. Метревели // Труды XV науч.-техн. конференции ГрузПИ. — Тбилиси, 1970. — Вып. 16. — С. 61—69.

Получено 08.10.2012

Ф. Ф. СТИФЕЄВ

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ГУСТИНИ ПУЛЬПИ У ПІДЙОМНІЙ ТРУБІ  
ЕРЛІФТА

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Автором вперше поставлена і розв'язана задача про визначення раціональної густини пульпи, що переміщується ерліфтом, в умовах, коли цей параметр не обмежений технологічним регламентом. Отримано залежності для знаходження оптимальної, з позиції енергетичних витрат, густини пульпи.  
**ерліфт, густина, пульпа, енергетичні витрати, ККД**

FEODOR STIFEEV

DETERMINATION OF A PULP'S RATIONAL DENSITY IN ELEVATING PIPE OF  
AIRLIFT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The problem about determination of rational closeness of the pulp transported by airlift in the conditions has beer given when this parameter is unreserved by technological regulation. Dependences and solved by the author for being optimal, from positions of power expenses, closeness of pulp have beer taken in.  
**airlift, density, pulp, energy consumption, efficiency factor**

**Стифеев Федір Федорович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження та розробка ерліфтних установок для підйому твердого матеріалу різної фракції та густини.

**Стифеев Федор Федорович** — кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование и разработка эрлифтных установок для подъема твердого материала различной крупности и плотности.

**Feodor Stifeev** — PhD (Eng.), the Associate Professor, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific researches: research and development of airlift installations for solid material of various size and density lift.

## ЗМІСТ

МУЩАНОВ В. П., КАЩЕНКО М. П., СИВОКОНЬ Ю. В. Обґрунтування вибору експериментальної моделі мембранного покриття на квадратному плані	3
КОЛЕСНИК Є. С., БІЛОУС О. М. Методи розрахунку теплопередачі через ґрунт	10
ПЧЕЛЬНИКОВ С. Б., КРІВЕНКО Є. А., НІКІТІН Р. Б. Оцінка впливу корозійного зносу на термін експлуатації резервуарів для зберігання нафтопродуктів	17
ВАСИЛЕВ В. М., КАРАБАНОВ О. С., АГБАШ Н. В. Порівняльний аналіз розрахунку одноболтових з'єднань за українськими і зарубіжними нормами	26
ЮГОВ А. М., БЕРШАДСЬКА Д. Є. Аналіз конструктивних особливостей несучих стін зі штучних матеріалів	31
ЛЕВЧЕНКО В. М., ФРОЛОВ Е. К., ЯРОШ О. Е. Розробка методу оцінки роботи арочного триланкового кріплення на основі будівельної механіки стрижневих систем	37
БАЧУРІН О. М., НЕФЕДОВ В. В., МІРОНЧІК М. А. Технологія та обладнання для виробництва виробів із золопласта	44
КОННОВ М. С. Про техніко-економічну доцільність використання модифікованої бітумної емульсійної мастики для гідроізоляції залізобетонних конструкцій	50
ЦАПКО Ю. В. Дослідження окремих параметрів деструкції деревини при експлуатації	56
МУЩАНОВ В. П., ВАРДАНЯН А. Г. План і методика проведення експерименту досліджень стійкості стиснуто-зігнутого опорного контура мембранного покриття на еліптичному плані	62
ФАРЕНЮК Є. Г. Вплив вентиляційних провітрювачів на теплотехнічні показники світлопрозорих огорожуючих конструкцій та нормативний повітрообмін у приміщенні	69
КУЩЕНКО В. М., ГУБАРЕВ М. В. Аналіз напружено-деформованого стану опорного вузла нерухомої опори решітчастої конвеєрної галереї	76
ЄФРЕМОВ О. М. Порівняльна термостійкість алюмосилікатних бетонів на основі різних в'язучих	81
СТІФЄЄВ Ф. Ф. Визначення раціональної густини пульпи у підйомній трубі ерліфта	86



## СОДЕРЖАНИЕ

МУЩАНОВ В. Ф., КАЩЕНКО М. П., СИВОКОНЬ Ю. В. Обоснование выбора экспериментальной модели мембранного покрытия на квадратном плане	3
КОЛЕСНИК Е. С., БЕЛОУС А. Н. Методы расчета теплопередачи через грунт	10
ПЧЕЛЬНИКОВ С. Б., КРИВЕНКО Е. А., НИКИТИН Р. Б. Оценка влияния коррозионного износа на срок эксплуатации резервуаров для хранения нефтепродуктов	17
ВАСЫЛЕВ В. Н., КАРАБАНОВ А. С., АГБАШ Н. В. Сравнительный анализ расчета одноболтовых соединений по украинским и зарубежным нормам	26
ЮГОВ А. М., БЕРШАДСКАЯ Д. Е. Анализ конструктивных особенностей несущих стен из штучных материалов	31
ЛЕВЧЕНКО В. Н., ФРОЛОВ Э. К., ЯРОШ Е. Э. Разработка метода оценки работы арочной трехзвеньеовой крепи на основе строительной механики стержневых систем	37
БАЧУРИН А. Н., НЕФЕДОВ В. В., МИРОНЧИК Н. А. Технология и оборудование для производства изделий из золопласта	44
КОННОВ Н. С. О технико-экономической целесообразности использования модифицированной битумной эмульсионной мастики для гидроизоляции железобетонных конструкций	50
ЦАПКО Ю. В. Исследование отдельных параметров деструкции древесины при эксплуатации	56
МУЩАНОВ В. Ф., ВАРДАНИЯН А. Г. План и методика проведения эксперимента исследований устойчивости сжато-изогнутого опорного контура мембранного покрытия на эллиптическом плане	62
ФАРЕНЮК Е. Г. Влияние вентиляционных проветривателей на теплотехнические показатели светопрозрачных ограждающих конструкций и нормативный теплообмен в помещении	69
КУЩЕНКО В. Н., ГУБАРЕВ М. В. Анализ напряжённо-деформированного состояния опорного узла неподвижной опоры решётчатой конвейерной галереи	76
ЕФРЕМОВ А. Н. Сравнительная термостойкость алюмосиликатных бетонов на основе различных вяжущих	81
СТИФЕЕВ Ф. Ф. Определение рациональной плотности пульпы в подъемной трубе эрлифта	86

## CONTENTS

MUSHCHANOV VOLODYMYR, KASHCHENKO MARGARITA, SYVOKON YULIA. Justification of the choice of experimental model of membrane covering on a square plan	3
KOLESNYK IEVGEN, BELOUS ALEKSEY. Methods for calculation heat transfer via the ground	10
PCHELNIKOV SERGEY, KRIVENKO EVGEN, NIKITIN RUSLAN. An assessment of corrosive wear influence on life time of oil tanks	17
VASYLEV VOLODYMYR, KARABANOV ALEXEY, AGBASH NATALIA. The comparative analysis of calculation of one-bolted joints on the Ukrainian and foreign size standards	26
YUGOV ANATOLIY, BERSHADSKAYA DAR'YA. Analysis constructive particularities carrying sewer from piece material	31
LEVCHENKO VICTOR, FROLOV EDUARD, YAROSH ELENA. The development of the method of evaluation of arch three — linked support on the basis of building mechanics of bar system	37
BACHURIN ALEKSEY, NEFEDOV VLADISLAV, MIRONCHIK NICHOLAS. Technology and equipment for the production of ash stratum	44
KONNOV NIKOLAY. About technical financial viability of the use of the modified bituminous emulsify mastic for dampproofing of reinforced concrete constructions	50
TSAPKO YURIY. Investigation of some parameters of degradation of wood during operation	56
MUSHCHANOV VOLODYMYR, VARDANYAN ARUSYAK. Plan and methodology of experimental investigations of stability of compressed-bent support contour membrane coating on the elliptical plan	62
FARENKYUK IEGOR. The effect of slot ventilators on thermal technical performances of the transparent envelopes and standard indoors air exchange	69
KUSHCHENKO VOLODYMYR, HUBAREV MIROSLAV. The analysis of tensely-state of strain basic knot of the motionless bearer of trellised conveyor passageway	76
YEFREMOV ALEXANDER. Comparative thermal stability of aluminosilicate concretes on basis of different binders	81
STIFEEV FEODOR. Determination of a pulp's rational density in elevating pipe of airlift	86