

**Выводы.** Тип искусственно созданных повреждений бетонного ядра исследованных трубобетонных образцов существенно влияет на их несущую способность. Так, образованные пустоты по высоте образца приводят к снижению несущей способности трубобетонных элементов в пределах от 10 до 15% по усилию, которое соответствует пределу текучести ( $N_y$ ), и от 20 до 30%, ( $N_u$ ) что соответствует полной потере несущей способности. Изменение прочности бетона по высоте образца приводит к снижению несущей способности трубобетонных элементов до 10%.

Анализируя неоднородность прочности образцов серий ТБк и ТБп, можно сделать вывод, что наименьшую несущую способность имеют образцы, которые имеют дефекты ядра в виде пустот, расположенных по центру и возле стенки грубы-оболочки образца.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Семко, О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій: монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 514 с.
2. Кикин, А.И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном [текст] / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Труль. – Москва: Стройиздат, 1974. – 145 с.
3. Семко, О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій [Текст]: монографія / О.В. Семко. – К.: Сталь, 2004. – 316 с.
4. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції. Навчальний посібник / Л.І. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц; Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка. – 2005. – 181 с.
5. Стороженко, Л.І. Загальні відомості про трубобетон // Сталезалізобетон: збірник наукових праць / За редакцією д.т.н., проф. Л.І. Стороженка; Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка. – 2006. – С. 11-15.
6. Комар, А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий [текст] / А.Г. Комар. – Москва: Стройиздат, 1984. – 267 с.
7. Семко, О.В. Вплив технології бетонування осердя трубобетону на його міцність / О.В. Семко, О.П. Воскобійник, О.М. Лукасян // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. – Рівне, 2013. – Вип. 26. – С. 200-207.

УДК 697.12.14:693.814.1

*Семко В.А., Леценко М.В.*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕНЫ ИЗ ЛСТ-ПРОФИЛЕЙ ПРИ РАЗНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРАХ**

Ограждающие конструкции на основе стальных тонкостенных профилей приобретают все большую популярность в строительной отрасли на территории стран бывшего СССР. Зарубежный опыт позволяет говорить о значительной экономической целесообразности использования таких элементов в качестве несущих и ограждающих конструкций [1, 2]. Одной из важных сфер применения легких стальных тонкостенных конструкций является возведение навесных стен в многоэтажном строительстве и несущих стен малоэтажных зданий. Но наличие в таких стенах теплопроводных включений в виде стальных профилей ставит под вопрос их теплоизоляционные характеристики. Решением данной проблемы может быть исследование показателей теплопроводности ограждающих конструкций в зависимости от их конструктивных параметров.

В Украине тепловые свойства стальных профилей в составе ограждающих конструкций почти не исследованы [3, 4]. Изучением этих вопросов занимались такие ученые, как Ватин Н., Попова Е. [5], Журина Н., Кузьмичев Р. [6], Фаренюк Г. [7], Чернявский В. [8]. Исследованию энергоэффективности легких каркасных зданий посвящены работы Santos P. [9].

Целью настоящей работы является как экспериментальное исследование теплотехнических характеристик стеновой конструкции, так и ее численное исследование методом конечных элементов.

Эксперимент проводился в климатической камере испытательного центра Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, а моделирование выполнялось с помощью программного комплекса, основанного на методе конечных элементов.

Для экспериментальных исследований были изготовлены 13 образцов стеновой ограждающей конструкции – один термически однородный, другие имеют теплопроводные включения в виде легких стальных тонкостенных профилей разного типа, а также включают наличие термопрокладки в местах теплопроводных включений. На рисунках 1 и 2 представлены образцы № 1 (без теплопроводных включений) и № 13 (с тремя перфорированными профилями, наличием термопрокладок и с наименьшим шагом, для данного эксперимента, между профилями – 200 мм). Для более детального описания экспериментальных образцов все их общие характеристики представлены в таблице № 1.



Рисунок 1 – Схема исследуемого образца №1

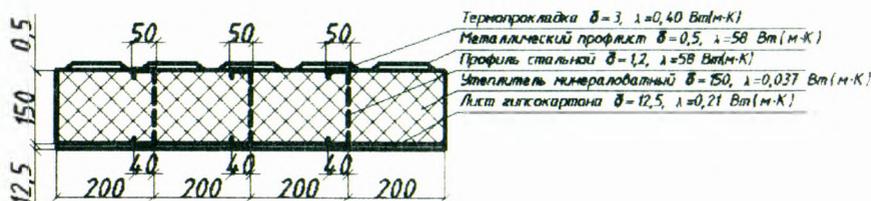


Рисунок 2 – Схема исследуемого образца №13

Таблица 1 – Общие характеристики экспериментальных образцов

№ исследуемого образца	Описание исследуемого образца	Общие характеристики для всех образцов
№1	Без профилей (однородный, без теплопроводных включений).	
№2	С одним сплошным стальным профилем шириной 150 мм, ширина полки 40 мм, $\lambda=58$ Вт/м·К, $\rho=7850$ кг/м <sup>3</sup> (с одним теплопроводным включением).	
№3	С одним сплошным стальным профилем и термопрокладкой шириной 50 мм, толщиной 3 мм, $\lambda=0,047$ Вт/м·К, $\rho=30$ кг/м <sup>3</sup> (с одним теплопроводным включением).	1. Ширина образца – 800 мм. 2. Высота образца – 850 мм. 3. Утеплитель толщиной 150 мм, $\lambda=0,037$ Вт/м·К, $\rho=75$ кг/м <sup>3</sup> . 4. Внутренняя обшивка – гипсокартонный лист толщиной
№4	С одним перфорированным стальным профилем шириной 150 мм, ширина полки 40 мм, $\lambda=58$ Вт/м·К, $\rho=7850$ кг/м <sup>3</sup> (с одним теплопроводным включением).	12,5 мм, $\lambda=0,21$ Вт/м·К, $\rho=800$ кг/м <sup>3</sup> . 5. Внешняя обшивка – металлический профилированный лист толщиной 0,5 мм, $\lambda=58$ Вт/м·К, $\rho=7850$ кг/м <sup>3</sup> .
№5	С одним перфорированным стальным профилем и термопрокладкой (с одним теплопроводным включением).	
№6	С двумя сплошными стальными профилями и с шагом 400 мм между ними (с двумя теплопроводными включениями).	
№7	С двумя сплошными стальными профилями и с шагом 400 мм между ними, и термопрокладками (с двумя теплопроводными включениями).	
№8	С двумя перфорированными стальными профилями и с шагом 400 мм между ними (с двумя теплопроводными включениями).	
№9	С двумя перфорированными стальными профилями и с шагом 400 мм между ними, и термопрокладками (с двумя теплопроводными включениями).	1. Ширина образца – 800 мм. 2. Высота образца – 850 мм. 3. Утеплитель толщиной 150 мм, $\lambda=0,037$ Вт/м·К, $\rho=75$ кг/м <sup>3</sup> . 4. Внутренняя обшивка – гипсокартонный лист толщиной
№10	С тремя сплошными стальными профилями и с шагом 200 мм между ними (с тремя теплопроводными включениями).	12,5 мм, $\lambda=0,21$ Вт/м·К, $\rho=800$ кг/м <sup>3</sup> . 5. Внешняя обшивка – металлический профилированный лист толщиной 0,5 мм, $\lambda=58$ Вт/м·К, $\rho=7850$ кг/м <sup>3</sup> .
№11	С тремя сплошными стальными профилями и с шагом 200 мм между ними, и термопрокладками (с тремя теплопроводными включениями).	
№12	С тремя перфорированными стальными профилями и с шагом 200 мм между ними (с тремя теплопроводными включениями).	
№13	С тремя перфорированными стальными профилями и с шагом 200 мм между ними, и термопрокладками (с тремя теплопроводными включениями).	

Измерения проведены согласно ДСТУ [10]. Измерялась температура воздуха, поверхностей конструкций, температура в различных сечениях и теплопровод-

ных включениях конструкций, а также определялась поверхностная плотность теплового потока через ограждающую конструкцию в стационарных условиях теплопередачи.

Образцы ограждающих конструкций были установлены вертикально в отсек климатической камеры. Размеры конструкции – 800×850 мм, что несколько меньше размера отсека. Монтажные зазоры были уплотнены пенопластовыми плитами толщиной 40 мм и монтажной пеной. Толщина утеплителя ограждающей конструкции принималась 150 мм. С внутренней стороны образцы были обшиты гипсокартонными листами толщиной 12,5 мм, с наружной – металлическим профилированным листом толщиной 0,5 мм. Для обеспечения единства и прочности, утеплитель устанавливался в каркас из металлических профилей, которые соединялись между собой, а к ним с разных сторон крепились гипсокартонный лист и профилированный настил. После чего изменялись конструктивные параметры: тип профиля, его шаг расположения в конструкции, а также наличие или отсутствие термопрокладки между профилем и профилированным настилом.

Испытания проводились путем создания по обе стороны образца температурного режима с параметрами, близкими к расчетным зимним условиям эксплуатации ограждающей конструкции, а именно в климатической камере температура составляла -25 °С, а в помещении колебалась от +16 °С до +19,5 °С. В результате были получены фактические значения поверхностной плотности теплового потока через ограждающую конструкцию и температуры внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, характерных термически однородных участков контактными средствами измерительной техники.

После проведенных экспериментальных исследований было промоделированы все образцы и сделан их расчет. Результаты значений двух исследований были сравнены между собой.

При моделировании экспериментальных образцов были сконструированы 13 моделей с параметрами максимально приближенными лабораторным условиям. Все характеристики материалов, которые принимались по приложению Л [3] и данным производителей. На рисунке 3 изображено смоделированное температурное поле для экспериментального образца № 13.

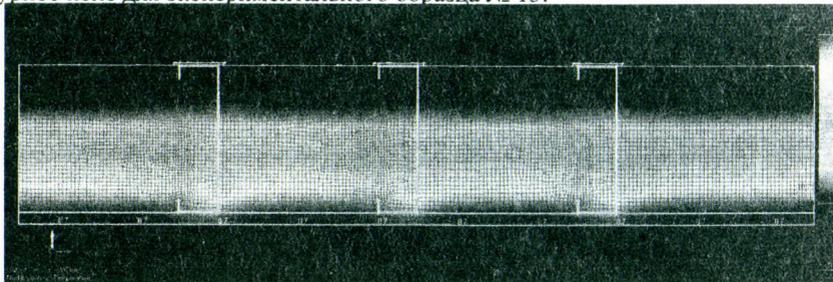


Рисунок 3 – Температурное поле для экспериментального образца № 13

По экспериментальным данным были вычислены значения сопротивления теплопередаче (для термически однородных участков) или приведенного сопротивления теплопередаче (для термически неоднородных участков) по полученным данным согласно расчетным формулам (1) - (3).

$$R_{\Sigma} = (T_{НС\text{ вн}} - T_{НС\text{ вн}}) / q, \quad (1)$$

где  $R_{\Sigma}$  – сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ;

$T_{НС\text{ вн}}$ ;  $T_{НС\text{ вн}}$  – значения температуры окружающей среды по обе стороны ограждающей конструкции,  $\text{К}$ ;  $q$  – поверхностная плотность теплового потока,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

$$R_{пр} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\Sigma_i}} F_i + \sum_{j=1}^m k_j L_j}, \quad (2)$$

где  $R_{пр}$  – приведенное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ;

$F_{\Sigma}$  – площадь ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ ;

$R_{\Sigma_i}$  – сопротивление теплопередаче термически однородной конструкции,  $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ;

$F_j$  – площадь  $j$ -й термически однородной зоны,  $\text{м}^2$ ;

$k_j$  – линейный коэффициент теплопередачи теплопроводных включений,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;

$L_j$  – длина  $j$ -й термически неоднородной зоны,  $\text{м}$ .

$$k = \frac{q \cdot A}{T_{НС\text{ вн}} - T_{НС\text{ вн}}}, \quad (3)$$

где  $A$  – ширина теплопроводного включения (для рассматриваемого варианта ширина полки промежуточного профиля),  $\text{м}$ .

По результатам эксперимента была построена гистограмма значений линейного коэффициента теплопередачи теплопроводных включений (рис. 4) через ограждающую конструкцию при различных конструктивных параметрах, которые получены экспериментально и при моделировании.

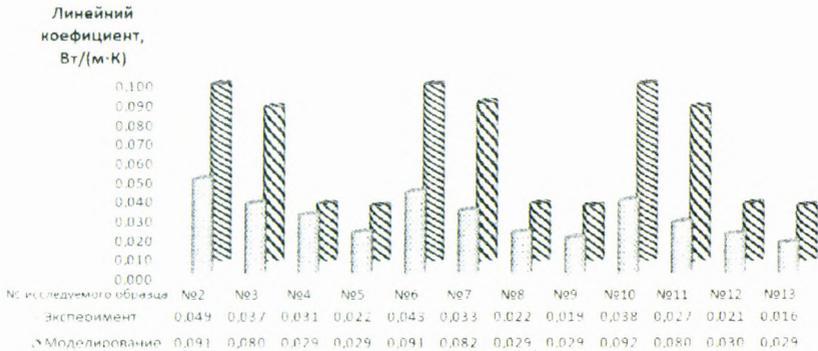


Рисунок 4 – Гистограмма значений линейного коэффициента теплопередачи для образцов с различными теплопроводными включениями

Общее сопротивление теплопередаче для однородной конструкции (образец №1) по экспериментальным значениями –  $R_{\Sigma} = 3,905 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , при моделировании –  $R_{\Sigma} = 3,983 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ . Приведенное сопротивление теплопередачи для тер-

мически неоднородных конструкций (образцы №2-№13) при эксперименте и моделировании изображено на рисунке 5.

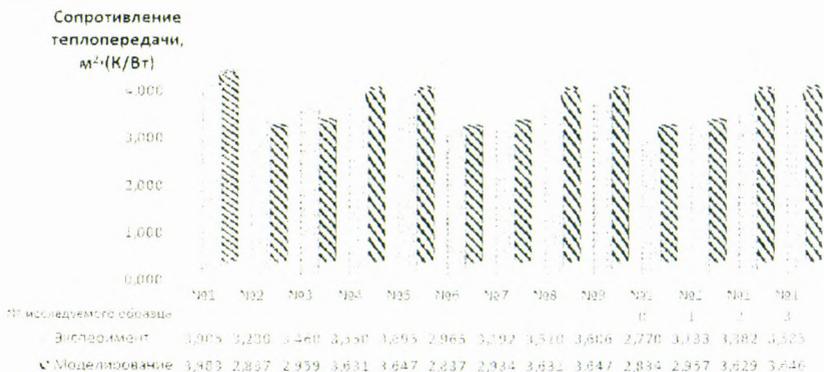


Рисунок 5 – Гистограмма значений сопротивления теплопередаче исследуемых образцов

Использование термопрофилей вместо сплошных профилей, позволяет уменьшить линейный коэффициент теплопередачи на 35-45%. Изоляция стальных профилей с помощью термопрокладки, которая закрывает полку сплошного профиля позволяет снизить линейный коэффициент теплопередачи на 20-25%. Сочетание в ограждающей конструкции термопрофилей и термопрокладок позволяет снизить линейный коэффициент теплопередачи на 55%. Снижение линейного коэффициента теплопередачи влияет на повышение приведенного сопротивления теплопередаче конструкции, о чем свидетельствуют результаты экспериментальных исследований (см. рис. 4).

В ходе проведенных исследований установлено, что наличие несущего профиля в ограждающей конструкции значительно уменьшает величину приведенного сопротивления теплопередаче (до 20%). Использование термопрофиля позволяет повысить значение сопротивление теплопередачи примерно на 10%.

Полученные результаты свидетельствуют, что изменением конструктивных параметров можно существенно влиять на сопротивление теплопроводности ограждения, поэтому дальнейшие исследования в данной сфере являются актуальными.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members: AISI-S100. – Washington : American Iron and Steel Institute, 2001. – 149 p.
2. EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. – Brussels : CEN, 2006. – 134 p.
3. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – К. : Мінбуд. України, 2006. – 70 с.
4. Конструкції будинків і споруд. Наставнова з проєктування конструкцій будинків із застосуванням сталевих тонкостінних профілів: ДСТУ-П Б В.2.6-87:2009.
5. Ватин, Н.И. Термопрофиль в легких стальных строительных конструкциях / Н.И. Ватин, Е.Н. Полова. – СПб.: СПбГПУ, 2006. – 63 с.
6. Журина, Н. Энергоэффективные легкие ограждающие конструкции / Н. Журина, Р. Кузьмичев // Архитектура и строительство. – 2008. – №2. – С. 93-97.
7. Фаренюк, Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк. – К.: Гама-Принт. – 2009. – 216 с.: Бібліог.: с. 194-203.

8. Чернявський, В.В. Вплив перфорації легких сталевих тонкостінних профілів на теплофізичні характеристики огорожувальних конструкцій [Текст] / В.В. Чернявський, В.О. Семко, О.І. Юрін, Д.А. Прохоренко // Збірник наукових праць (галузеве машино-будування, будівництво). – Випуск І(29). – Полтава: ПолтНТУ. – 2011. – С.194-199.

9. Santos, P. Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings / P. Santos, L. Simões da Silva, V. Ungureanu. - Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, №129, 2012. – 175 p.

10. Методи визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій: ДСТУ Б В.2.6-101:2010. – К. : Мінбуд. України, 2010. – 84 с.

УДК 691.32.008.6

*Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Энезия П.*

## **ОЦЕНКА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ: НОРМИРОВАНИЕ, МЕТОДЫ, КРИТЕРИИ**

Сильной стороной неразрушающих методов испытаний бетона является возможность их многократного применения на ограниченных участках поверхности испытываемой конструкции. Это позволяет получить достаточную репрезентативность выборки для корректного применения статистических методов обработки результатов испытаний и, соответственно, - статистически обоснованную оценку класса бетона по прочности. Тем не менее, ошибки в оценках и необоснованные заключения о прочностных показателях бетона в конструкциях не являются большой редкостью в протоколах испытаний даже аккредитованных лабораторий. Одна из причин этого кроется во взаимной несогласованности действующих в Республике Беларусь нормативов, регламентирующих методы испытаний бетона в построечных условиях и критерии соответствия его проектным показателям. Это позволяет разным сторонам, вовлеченным в процесс контроля качества бетонных работ, трактовать результаты испытаний в свою пользу, не приходя к единому мнению.

Перечень основных нормативов, касающихся определения в построечных условиях прочности бетона в конструкциях и, соответственно, его класса по прочности, в настоящее время включает в себя 3 обособленные группы: национальные стандарты СНБ 5.03.01-02 [1], СТБ 2264-2012 [4], СТБ 1544-2005, а также российские ГОСТ 17624-87 [5] и действовавший до недавнего времени ГОСТ 22690-88 и практически идентичный европейскому DIN 13791-2009 [9] отечественный СТБ EN 13791-2012 [2]. Не затрагивая механизма формирования сложившейся картины с нормированием в рассматриваемой области строительства, отметим, что слабым местом «люксового» объекта являются стыки между составными частями. Ниже сделана попытка анализа взаимодействия нормативов, особенностей методик испытаний и критериев соответствия.

### *Методы контроля*

Практика неразрушающих испытаний бетона показывает, что даже строгое следование указанным в нормативах методикам построения градуировочных зависимостей совершенно не гарантирует адекватности результата неразрушающего определения прочности бетона в конструкциях, по данным прессовых испытаний изъятых из массива образцов [7, 8]. Кроме того, общеизвестным фактом является заметное несоответствие результатов определения прочности бетона разными неразрушающими методами. На рис.1 приведены данные определения прочности бетона монолитных колонн в разных условиях испытаний