

УДК 69.003.12

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ МАЛОЭТАЖНОЕ ЖИЛОЕ ЗДАНИЕ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

САВИЦКИЙ Н. В. <sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
НИКИФОРОВА Т. Д. <sup>2</sup>, *к.т.н., доцент*,  
НЕСИН А. А. <sup>3</sup>, *м.н.с.*,  
БОНДАРЕНКО О. И. <sup>4</sup>, *ст. препод.*,  
ЮРЧЕНКО Е.Л. <sup>5</sup>, *к.т.н., доцент*,  
БАБЕНКО М.М. <sup>6</sup>, *к.т.н., доцент*

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>3</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, ORCID ID: 0000-0003-2097-4059

<sup>4</sup> Кафедра архитектурного проектирования и дизайна, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, ORCID ID: 0000-0003-2356-2674

<sup>5</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: [yel@mail.pgasa.dp.ua](mailto:yel@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

<sup>6</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, ORCID ID: 0000-0002-0775-0168

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования энергоэффективности тепловой оболочки малоэтажного жилого здания, соответствующего критериям «зеленого» строительства. **Цель.** Разработка рационального конструктивного решения тепловой оболочки малоэтажного жилого здания с учетом требований энергоэффективности, экологичности и экономичности. **Методика.** Оценка энергоэффективности разработанного конструктивного решения тепловой оболочки здания выполнена на основе физического моделирования теплопередачи через ограждающие конструкции с использованием стандартной методики расчета теплопотерь. **Результаты.** Определены теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, потери тепла через термические «мосты», удельное теплопотребление и общие тепловые потери зданием за отопительный период для двух природно-климатических условий строительства в Украине. **Научная новизна.** Предложены оптимальные конструктивные решения узлов сопряжения конструкций здания с тепловой оболочкой и проведена оценка энергоэффективности принятых решений, как узлов, так и конструкции здания в целом. **Практическая значимость.** Разработаны рекомендации по конструированию тепловой оболочки при проектировании энергоэффективных малоэтажных жилых зданий.

**Ключевые слова:** тепловой поток; потери тепла; тепловая оболочка здания; приведенное сопротивление теплопередаче; линейный коэффициент теплопередачи; удельное теплопотребление

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ МАЛОПОВЕРХОВИЙ ЖИТЛОВИЙ БУДИНОК ІЗ ОРГАНІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

САВИЦЬКИЙ М. В. <sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
НІКІФОРОВА Т. Д. <sup>2</sup>, *к.т.н., доцент*,  
НЕСІН О. А. <sup>3</sup>, *м.н.с.*,  
БОНДАРЕНКО О. І. <sup>4</sup>, *ст. викл.*,  
ЮРЧЕНКО Є.Л. <sup>5</sup>, *к.т.н., доцент*,  
БАБЕНКО М.М. <sup>6</sup>, *к.т.н., доцент*

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>3</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, ORCID ID: 0000-0003-2097-4059

<sup>4</sup> Кафедра архітектурного проектування та дизайну, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, ORCID ID: 0000-0003-2356-2674

<sup>5</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: [yel@mail.pgasa.dp.ua](mailto:yel@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

<sup>6</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-0775-0168

**Анотація.** У статті представлені результати дослідження енергоефективності теплової оболонки малоповерхового житлового будинку, що відповідає критеріям "зеленого" будівництва. **Мета.** Розробка раціонального конструктивного рішення теплової оболонки малоповерхової житлової будівлі з урахуванням вимог енергоефективності, екологічності і економічності. **Методика.** Оцінка енергоефективності розробленого конструктивного рішення теплової оболонки будівлі виконана на основі фізичного моделювання теплопередачі через огорожувальні конструкції із використанням стандартної методики розрахунку тепловтрат. **Результати.** Визначені тепловтрати будівлі через зовнішні огорожувальні конструкції, приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, втрати тепла через термічні "мости", питоме теплоспоживання і загальні теплові втрати будівлею за опалювальний період для двох природно-кліматичних умов будівництва в Україні. **Наукова новизна.** Запропоновано оптимальні конструктивні рішення вузлів сполучення конструкцій будівлі з тепловою оболонкою і проведена оцінка енергоефективності прийнятих рішень як вузлів, так і конструкцій будівлі в цілому. **Практична значимість.** Розроблені рекомендації по конструюванню теплової оболонки при проектуванні енергоефективних малоповерхових житлових будівель.

**Ключові слова:** тепловий потік; втрати тепла; теплова оболонка будівлі; приведений опір теплопередачі; лінійний коефіцієнт теплопередачі; питоме теплоспоживання

## ENERGY-EFFICIENT LOW-STOREY RESIDENTIAL BUILDING OF ORGANIC MATERIAL

SAVYTSKYI M. V. <sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

NIKIFOROVA T. D. <sup>2</sup>, *Ph. D.*,

NESIN A. A. <sup>3</sup>, *MSc.*,

BONDARENKO O. I. <sup>4</sup>, *senior lecturer*

IURCHENKO Iev.L. <sup>5</sup> *Ph. D.*,

BABENKO M. M. <sup>6</sup>, *Ph. D*

<sup>1\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>3</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-2097-4059

<sup>4</sup> Department of Architectural Design, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-2356-2674

<sup>5</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, ORCID ID: e-mail: [yel@mail.pgasa.dp.ua](mailto:yel@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

<sup>6</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-0775-0168

**Abstract.** The results of research of energy effective of thermal shell of low-storey dwelling-house of the "green" building projected on principles are presented in the article. **Purpose.** Development of rational structural decision of thermal shell of low-storey dwelling building taking into account the requirements of energy effective, ecofriendliness and economy. **Methods.** Evaluation of Energy Efficiency developed a constructive solution thermal envelope of the building is made based on physical modeling of heat transfer through the building envelope, using the standard method for calculating heat loss set forth in the regulatory document [9]. **Results.** Building heat losses is expected through outward non-load-bearing constructions, the brought resistance over to the heat transfer of non-load-bearing constructions, heat loss through thermal "bridges", specific thermal consumption and general thermal losses building for heating period for two nature and climate conditions of building in Ukraine. **Scientific novelty.** Optimum solutions for interface design of building structures with a thermal jacket and assess the energy efficiency of the decisions taken as a node, and the design of the building as a whole. **Practical meaningfulness.** Recommendations are worked out on constructing of thermal shell at planning of energy effective low-storey dwelling-house. Recommendations contain requirement to providing of impermeability of thermal shell of building, to heating engineering descriptions and heating engineering calculation of non-load-bearing constructions.

**Keywords:** thermal flow; heat losses; thermal shell of building; the brought resistance over to the heat transfer; linear coefficient of heat transfer; specific thermal consumption

### Введение

Директива энергетических показателей в строительстве (Energy Performance of Buildings Directive), принятая странами Евросоюза в декабре 2009 года, требует, чтобы к 2020 году все новые «пассивные», если годовое удельное теплотребление составляет не более 15 кВт·ч/м²год.

В Украине также сделаны попытки воплотить в жизнь подобные проекты. Однако, большие первоначальные затраты по сравнению со строительством обычного дома и непомерно долгий срок окупаемости дополнительных инвестиций на энергосберегающие мероприятия, до настоящего времени, являлись препятствием для широкого распространения таких технологий среди собственников жилья.

В последние годы в Украине возрос интерес к строительству экологических («зеленых») малоэтажных индивидуальных зданий. В первую очередь, такой интерес вызван ростом затрат на эксплуатацию зданий [3].

Таким образом, в Украине становится актуальным и экономически выгодным строительство малоэтажных энергоэффективных зданий.

Проводимые исследования в области разработки энергоэффективных зданий [4...6] направлены, прежде всего, на определение рациональной толщины утеплителя в системе ограждающей конструкции, определение температурно-влажностного режима здания и параметров микроклимата помещений при повышении энергоэффективности существующих зданий. Результаты исследования теплофизических характеристик ограждающих конструкций и тепловой оболочки малоэтажных зданий является возможным за счет применения многослойной ограждающей конструкции с внутренним слоем утеплителя из материалов органического происхождения.

Задачами данной работы являются:

- определение энергоэффективности многослойной ограждающей конструкции тепловой

здания были близки к энергетической нейтральности [1, 10].

Самой ранней и широко известной концепцией энергоэффективного жилого дома является немецкий «пассивный» дом [2]. Общепринято считать здание «

материалов органического происхождения для изготовления теплоизоляционных материалов, разработка объемно-планировочных и конструктивных решений ограждающих конструкций энергоэффективных зданий приведены в работах [7, 8, 12].

В данной работе рассматривается исследование энергоэффективности тепловой оболочки жилого малоэтажного дома с использованием для строительства материалов, производимых на основе возобновляемых местных ресурсов.

Особое внимание уделяется анализу потерь тепла через узловое соединения конструкций в местах примыкания их к наружным ограждающим конструкциям (термические «мосты»).

### Постановка задачи

В Украине разработаны новые государственные строительные нормы по теплоизоляции зданий [9-11]. При этом здание рассматривается как единая энергетическая система и вводится понятие теплоизоляционной оболочки здания, что позволяет уже на стадии проектирования осуществлять оптимизацию конструктивных решений по энергосбережению.

В целом современные нормы отвечают требованиям Директивы 2002/91/ЕС [10] и прогрессивным положениям норм других стран.

Выполнение этих норм при проектировании оболочки жилого дома с утеплителем из возобновляемого местного материала;

- оптимизация узлов сопряжения конструктивных элементов здания с наружной стеной с целью минимизации потерь тепла через термические «мосты»;

- выбор рационального конструктивного решения тепловой оболочки малоэтажного жилого здания с

учетом требований энергоэффективности, экологичности и экономичности.

### Изложение основного материала

Энергоэффективное здание включает в себя совокупность архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерных решений, наилучшим образом отвечающих целям минимизации затрат энергии на обеспечение комфортного микроклимата в помещениях здания.

К архитектурно-планировочным приемам относят: правильная ориентация здания по сторонам света и ветру, максимальная компактность здания, отсутствие выступающих частей здания, зонирование внутреннего пространства, наличие элементов летней солнцезащиты как самостоятельной конструкции, т.е. изолированной от общей тепловой оболочки здания, использование рельефа местности и зеленых насаждений.

Конструктивное решение включает в себя создание непрерывной оболочки здания с повышенной теплоизоляцией, при этом термические «мостики» должны отсутствовать, либо сведены к минимуму.

Для энергоэффективного здания предпочтительнее каркасная технология устройства стен с применением экологически чистых природных материалов, таких как дерево, грунтобетон. Экологичная, энергоэффективная тепловая оболочка формируется путем заполнения промежутка между стойками каркаса стеновой конструкции экологическим заполнителем органического происхождения - солома злаковых культур, костра конопли или льна, сечка из тростника и др.

Герметичность тепловой оболочки обеспечивается: с внутренней стороны - устройством защитного слоя из паробарьера, теплоемкой конструкции из кирпича или грунтобетонных блоков и штукатурки; с внешней стороны - устройством защитного слоя из ветробарьера и фасадной отделки.

К инженерным решениям относят системы контролируемой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией воздуха, тепловые насосы, солнечные и грунтовые коллекторы, солнечные батареи, ветряки и т.п.

На основе вышеперечисленных приемов разработано конструктивное решение тепловой оболочки и архитектурно-планировочное решение малоэтажного жилого здания [14]. Общий вид здания представлен на рис. 1, конструктивно-планировочное решение - на рис. 2, схема ограждающих конструкций - на рис. 3.

Жилой дом - одноэтажный с мансардным этажом, кровля - двухскатная. Общая площадь дома - 92,0 м<sup>2</sup>, жилая площадь - 51,1 м<sup>2</sup>, отапливаемая площадь - 90,2 м<sup>2</sup>, высота первого этажа - 3,275 м, мансардного этажа - 2,7 м. Дом обустроен террасой общей площадью 107,25 м<sup>2</sup>, гелиопанелями площадью 5,2 м<sup>2</sup>. Под домом, в пределах площади застройки, возможно устройство грунтового коллектора.



Рис. 1. Энергоэффективный малоэтажный жилой дом / Energy effective low-storey dwelling-house

Фундаменты монолитные ленточные железобетонные и железобетонные стойки, объединяемые ростверком, приподнятым над отметкой дневной поверхности на 490 мм - до низа ростверка. Уровень чистого пола находится на 1,6 м выше отметки земли.

Конструктивная схема дома - каркасная с деревянным каркасом. Наружные стены представляют собой пространственную каркасную конструкцию заводского изготовления, которая состоит из деревянных стоек типа «лестница» с шагом 500 мм, заполненных теплоизоляционным органическим материалом из костры конопли. Толщина стенового ограждения - 500 мм. Внутренняя и наружная отделка стен - кирпич-сырец толщиной 120 мм.

Перекрытие пола, перекрытие мансардного этажа и стропильная конструкция - деревянные решетчатые фермы с шагом 500 мм с креплением элементов к стеновому каркасу на металлических зубчатых пластинах. Теплоизоляция и звукоизоляция конструкций обеспечиваются заполнением межферменного пространства таким же теплоизоляционным материалом, как и для стен дома. Высота ферм перекрытия - 600 мм, стропильных ферм - 500 мм. С наружной и внутренней сторон ограждающие несущие конструкции обшиваются пленкой для обеспечения гидро- и ветрозащиты и обшиваются плитами OSB толщиной 20 мм.

Покрытие кровли - плиты из камыша.

Окна и двери - металлопластиковые или деревянные с остеклением. Остекление - тройное с низкоэмиссионным покрытием и заполнением стеклопакета инертным газом. Сопротивление теплопередаче стеклопакета  $R_{тр} = 0,85 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$  [13].

На рис. 2 показано общее конструктивно-планировочное решение энергоэффективного малоэтажного жилого дома.

### Исследование теплотехнических показателей узлов сопряжения конструктивных элементов

Расчеты тепловых потерь через ограждающие конструкции дома, узлы сопряжения конструкций, приведенные сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций для рассмотренных вариантов выполнялись по методике, изложенной в

нормативном документе [9] с применением программного комплекса Elcut [8].

Исследовался узел сопряжения окна со стеной – определялось оптимальное расположение окна по ширине стены (рис. 4).

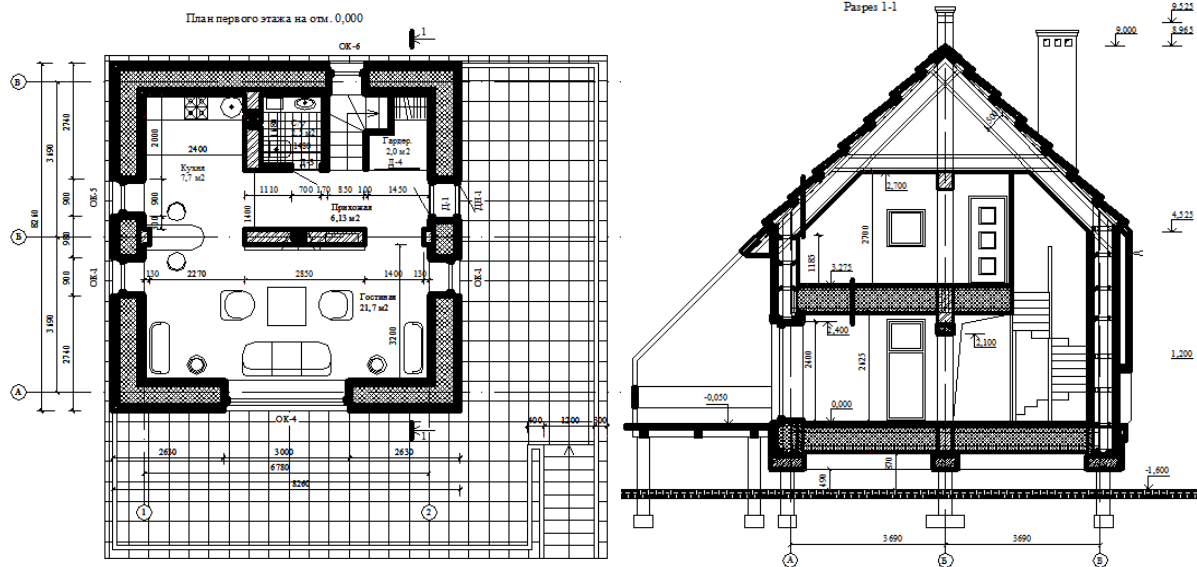


Рис. 2. Конструктивно-планировочное решение энергоэффективного малоэтажного жилого дома / Structurally-planning solution of energy-efficient low-storey dwelling-house

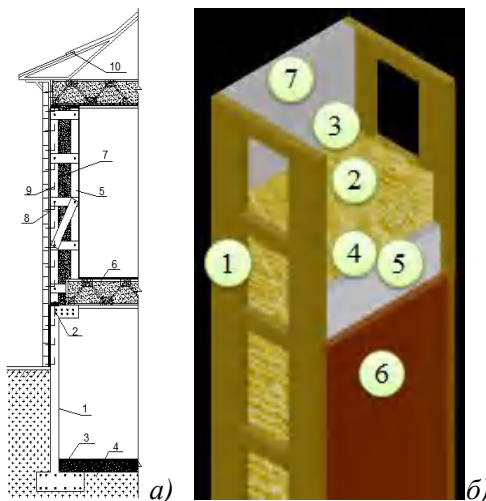


Рис. 3. Конструкция малоэтажного здания / Construction of low-storey building:

а) вертикальный разрез по наружной стене:

- 1 – фундамент; 2 – анкер для крепления каркаса с фундаментом; 3 – пол технического подполья;
- 4 – гидроизоляционная и антирадоновая защита;
- 5 – деревянные стойки типа «лестница»;
- 6 – фермы перекрытия; 7 – термоизоляция;
- 8, 9 – элементы каркаса; 10 – кровля;

б) конструкция стены:

- 1 – стойка деревянного каркаса типа «лестница»;

- 2 – термоизоляция, 3 – пароизоляция, 4 – ветрозащита;
- 5 – сетка, 6 – глиняная штукатурка, 7 – внутренняя отделка

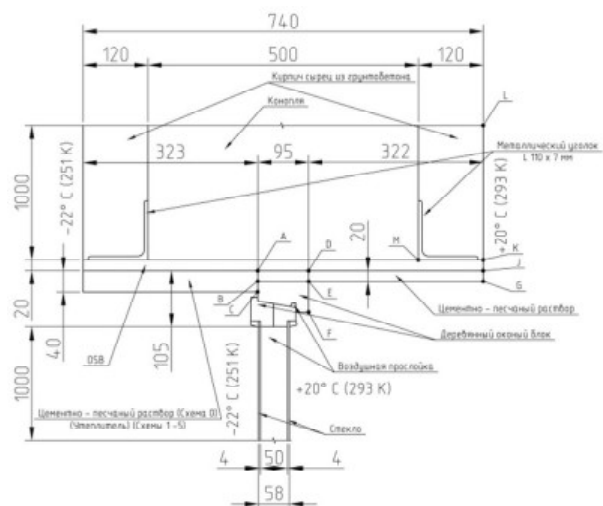


Рис. 4. Конструктивное решение узла сопряжения окна со стеной / Structural decision of knot interface of window with a wall

Для определения рационального расположения оконной рамы по толщине наружной стены были выполнены теплотехнические расчеты для следующих вариантов:



1. Схема 0 (standart): обрамление оконного проема – цементно – песчаным раствором, расположение оконной рамы – по центру.

2. Схема 1 (-200\_utepl): утеплитель толщиной 40 мм со стороны минусовой температуры, утеплитель центрального расположения в сторону минусовой температуры.

4. Схема 3 (centr\_utepl): толщина утеплителя идентичная, расположение оконной рамы – по центру.

5. Схема 4 (+150\_utepl): толщина утеплителя идентичная, оконная рама смещена на 150 мм от центрального расположения в сторону плюсовой температуры.

6. Схема 5 (+200\_utepl): толщина утеплителя идентичная, оконная рама смещена на 200 мм от центрального расположения в сторону плюсовой температуры.

Критерием оценки рационального расположения оконной рамы являлись величина теплового потока, проходящего через отрезок LG и значение температуры в характерных точках: А, В, С, D, Е, F, G, J, K, L и М.

Результаты расчетов приведены на рис. 5 и в табл. 1.

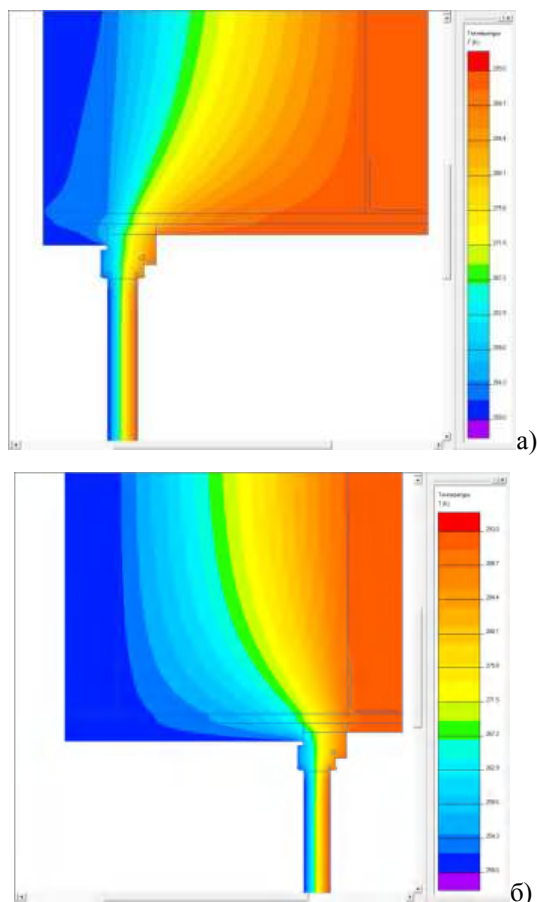


Рис. 5. Температурное поле для вариантов /  
Temperature field for variants:

а) схема 1 (-200\_utepl); б) схема 5 (+200\_utepl)

Результаты расчетов свидетельствуют, что оптимальным расположением окна при данном

толщиной 20 мм со стороны плюсовой температуры, оконная рама смещена на 200 мм от центрального расположения в сторону минусовой температуры.

3. Схема 2 (-150\_utepl): толщина утеплителя идентичная, оконная рама смещена на 150 мм от конструктивном решении является центральное расположение окна по толщине стены (схема 1), так как суммарный тепловой поток через узел сопряжения «стена-окно» является минимальным – 5,7 Вт (табл. 1).

Таблица 1

**Теплотехнические характеристики вариантов узла сопряжения «окно-стена» / Thermal characteristics of the host interface options "window-wall"**

№ схемы	Температура в характерных точках конструкции, град. С			Тепловой поток через отрезок EGJKL, Вт
	Е	G	L	
0	15,27	19,85	19,46	7,50
1	13,48	19,99	19,47	5,70
2	14,08	19,99	19,47	6,06
3	14,55	19,98	19,46	6,41
4	15,10	19,95	19,45	6,17
5	15,76	19,93	19,45	6,80

С целью выбора рационального конструктивного решения малоэтажного жилого здания рассмотрено два варианта узлового соединения фундамента здания с наружной стеной. Стык «стена-фундамент» является наиболее уязвимым местом в тепловой оболочке здания, так как возможно образование «мостиков» холода в зимний период. *Вариант первый* - утепление фундамента здания с наружной стороны; *вариант второй* - наружная стена здания с внутренней стороны изолирована от фундамента (пола) утеплителем из пеностекла.

Для рассмотренных вариантов узла сопряжения «стена-фундамент» получены значения теплового потока, проходящего через узловое соединение, температурный перепад на внутренней поверхности узла сопряжения конструкций и линейный коэффициент теплопередачи.

Конструктивное решение вариантов узла сопряжения «стена-фундамент» и результаты расчетов приведены в табл. 2.

Анализ результатов расчета показывает, что более эффективным, с точки зрения теплотехнических показателей, является вариант 2, для которого линейный коэффициент теплопередачи на 37,5% ниже по сравнению с вариантом 1, к тому же значение температурного перепада на внутренней поверхности конструкции узла варианта 1 не удовлетворяет требованиям табл. 3 ДБН [9]. Для дальнейших исследований энергоэффективности разработанного малоэтажного жилого дома принят вариант, в котором наружная стена здания с внутренней стороны изолирована от фундамента утеплителем из пеностекла. Аналогичное

конструктивное решение принято для узла сопряжения внутренней стены с фундаментом здания.

### Исследование энергоэффективности малоэтажного жилого дома

Для оценки энергоэффективности конструктивного решения малоэтажного жилого дома исследованы потери тепла зданием через однородные ограждающие конструкции здания,

узловые соединения (термические «мосты»), неоднородные теплопроводные включения (каркас стен) и определены значения приведенного сопротивления теплопередачи конструкций тепловой оболочки здания. В табл. 3 приведены теплотехнические характеристики основных конструкций для наиболее рационального конструктивного решения тепловой оболочки малоэтажного жилого дома.

Таблица 2

### Конструктивное решение и теплотехнические характеристики вариантов узла сопряжения «стена-фундамент» / The Structural decision and heating engineering descriptions of variants knot of interface "wall-foundation"

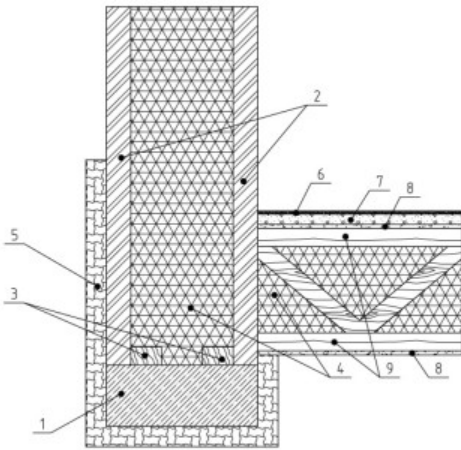
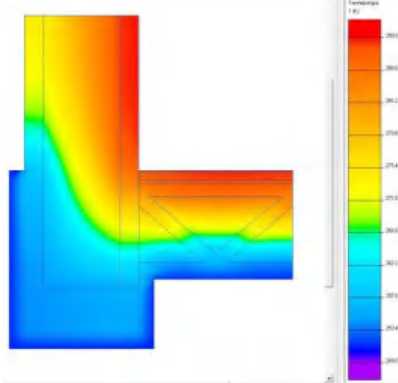
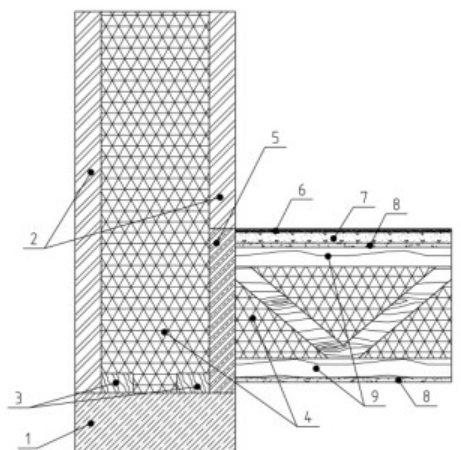
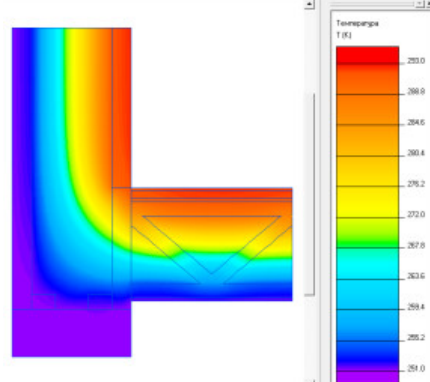
Конструктивное решение узла «наружная стена – фундамент»	Описание конструктивных элементов	Теплотехнические показатели узла «наружная стена – фундамент»
Вариант 1 - утепление фундамента здания с наружной стороны		
	<p>1 Фундамент железобетонный, <math>\lambda=1,7</math> Вт/К·м;  2 Грунтбетон, <math>\delta=120</math> мм, <math>\lambda=0,56</math> Вт/К·м;  3 Деревянный брус 140 x 89 мм, <math>\lambda=0,19</math> Вт/К·м;  4 Утеплитель - коистра конопля, <math>\lambda=0,06</math> Вт/К·м;  5 Утеплитель – минвата, <math>\delta=100</math> мм, <math>\lambda=0,045</math> Вт/К·м;  6 Керамическая плитка <math>\delta=15</math> мм, <math>\lambda=1,1</math> Вт/К·м;  7 Фибробетон, <math>\delta=50</math> мм, <math>\lambda=1,5</math> Вт/К·м;  8 Плита OSB, <math>\lambda=0,16</math> Вт/К·м;  9 Деревянная ферма из бруса 89 x 38 мм, высотой 600 мм с шагом 500 мм, <math>\lambda=0,19</math> Вт/К·м.</p>	 <p>Линейный коэффициент теплопередачи:</p> $k = 0,08 \frac{Bm}{m \cdot K}.$ <p>Температурный перепад на внутренней поверхности конструкции: <math>\Delta t_{cr} = 3K</math>.</p>
Вариант 2 – теплоизоляция с внутренней стороны утеплителем из пеностекла		
	<p>1 Фундамент железобетонный, <math>\lambda=1,7</math> Вт/К·м;  2 Грунтбетон, <math>\delta=120</math> мм, <math>\lambda=0,56</math> Вт/К·м;  3 Деревянный брус 140 x 89 мм, <math>\lambda=0,19</math> Вт/К·м;  4 Утеплитель - коистра конопля, <math>\lambda=0,06</math> Вт/К·м;  5 Пеностекло, <math>\lambda=0,05</math> Вт/К·м;  6 Керамическая плитка <math>\delta=15</math> мм, <math>\lambda=1,1</math> Вт/К·м;  7 Фибробетон, <math>\delta=50</math> мм, <math>\lambda=1,5</math> Вт/К·м;  8 Плита OSB, <math>\lambda=0,16</math> Вт/К·м;  9 Деревянная ферма из бруса 89 x 38 мм, высотой 600 мм с шагом 500 мм, <math>\lambda=0,19</math> Вт/К·м.</p>	 <p>Линейный коэффициент теплопередачи:</p> $k = 0,05 \frac{Bm}{m \cdot K}.$ <p>Температурный перепад на внутренней поверхности конструкции: <math>\Delta t_{cr} = 2K</math>.</p>

Таблица 3

**Теплотехнические характеристики конструктивного решения тепловой оболочки малоэтажного жилого здания / Heating engineering descriptions of structural decision thermal shell of low-storey dwelling-house**

Конструктивный элемент	Площадь, м <sup>2</sup>	Тепловые потери $Q$ , Вт/м <sup>2</sup> К, при $\Delta t = 1$ К	Приведенное сопротивление теплопередачи $R_{\Sigma пр}$ , м <sup>2</sup> К/ Вт	Минимально допустимое значение $R_{q \min}$ м <sup>2</sup> К/Вт, для температурной зоны	
				I	II
Стеновое ограждение	121,1	16,3	7,68	3,3	2,8
Перекрытие пола	39,8	7,2	9,82	3,75	3,3
Окна и двери	23,9	1,2	0,85	0,75	0,6
Кровля	94,6	7,1	8,33	5,5	4,9

Оценка энергоэффективности разработанного малоэтажного жилого дома выполнена при условии строительства здания в I-ой и II-ой климатических зонах Украины. Расчетные параметры (табл. 4) приняты для г. Чернигов (I зона) и г. Одесса (II зона).

Таблица 4

**Расчетные параметры / Calculation parameters**

Наименование расчетных параметров	Чернигов	Одесса
Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в}$ , °С	+20	+20
Расчетная температура наружного воздуха $t_{н}$ , °С	-22	-19
Длительность отопительного периода $z_{отп}$ , сутки	187	158
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{оп}$ , °С	-1,28	+1,98
Расчетное количество градусо-суток отопительного периода $D_{отп}$ , °С·сутки	3979,4	2847,2

**Методика расчета**

Расчетные удельные теплотопотери на отопление малоэтажного жилого здания определены для двух способов вентиляции помещений здания в отопительный период: *вариант первый* – естественный способ вентиляции; *вариант второй* – применение системы контролируемой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией воздуха. Расчеты энергетических показателей тепловой оболочки малоэтажного жилого дома определялись по двум методикам.

**Методика расчета 1.** Расчетное определение удельных теплотопотерь на отопление здания по стандартной методике с использованием приведенного сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций [9].

**Методика расчета 2.** Определение удельных теплотопотерь на отопление здания по фактическим значениям потерь тепла через однородные ограждающие конструкции здания, узловые соединения (термические «мосты»), неоднородные теплопроводные включения, вычисленных на основе

анализа аналитической модели тепловой оболочки здания.

Для сравнительного анализа энергоэффективности разработанного конструктивного решения малоэтажного жилого дома выполнена оценка энергопотребления зданием по методике расчета 1 при значениях сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций минимально допустимым нормами [9] - расчет 3.

Результаты расчета энергетических показателей тепловой оболочки малоэтажного жилого дома представлены в табл. 5.

**Анализ результатов расчета**

Данные расчетов (табл. 5) показывают, что расчетные удельные теплотопотери на отопление малоэтажного жилого дома за отопительный период ( $q_{б,уд}$ ) не превышают максимально допустимого значения удельных теплотопотерь ( $E_{max}$ ) [11] при условии оборудования дома системой контролируемой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией воздуха. При этом тепловая оболочка разработанного конструктивного решения малоэтажного жилого дома соответствует классу энергетической эффективности А и классу энергетической эффективности В при значениях сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций минимально допустимым нормами [9].

Для жилого дома с естественной вентиляцией воздуха в помещениях в отапливаемый период класс энергетической эффективности снижается с класса А до класса D в зависимости от методики расчета и климатических условий строительства дома. При этом расчетные удельные теплотопотери на отопление вычисленные по стандартной методике с использованием приведенного сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций имеют заниженное значение, на 5% и более, в зависимости от климатических условий строительства.

Как свидетельствуют расчеты, расчетные удельные теплотопотери на отопление дома, расположенного во I-ой климатической зоне, вычисленные на основе аналитической модели тепловой оболочки здания (методика расчета 2)



превышают максимально допустимое значение на 5,3% ( $q_{\text{бод}}=205 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ,  $E_{\text{max}}=194,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ). В тоже время этот показатель, вычисленный по стандартной методике, не превышает максимально допустимое значение.

При проектировании тепловой оболочки малоэтажного жилого дома со значениями сопротивления теплопередачи ограждающих

конструкций, соответствующими нормативным значениям [9], расчетные удельные теплотери на отопление дома превышают максимально допустимое значение на 20-30% в зависимости от климатических расчетных параметров, что свидетельствует о не согласованности норм [9] и [11] в части нормирования энергетических показателей.

Таблица 5

### Энергетические показатели малоэтажного жилого дома / Power indexes of low-storey dwelling-house

Наименование показателей	Обозначе- ние	Ед. измере- ния	Климатическая зона	Методика расчета 1		Методика расчета 2		Расчет 3	
				способ вентиляции воздуха в помещениях в отапливаемый период					
				Естеств.	Принудит.	Естеств.	Принудит.	Естеств.	Принудит.
Приведенный коэффициент теплопередачи теплоизоляционной оболочки здания	$k_{\Sigma пр}$	Вт/м² К	I, II	0,24		0,27		0,4	
Условный коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций здания, который учитывает теплотери за счет инфильтрации и вентиляции	$k_{инф}$	Вт/м² К		0,33	-	0,33	-	0,33	-
Общий коэффициент теплопередачи теплоизоляционной оболочки здания	$K_{б\text{уд}}$	Вт/м² К		0,57	0,24	0,6	0,27	0,73	0,4
Расчетные потери тепловой энергии	$Q_{рик}$	кВт · ч	I	15465,7	6546,3	16365,8	7364,6	19911,8	10910,6
			II	11124,0	4683,8	11709,5	5269,3	15417,5	8977,3
Расчетные удельные теплотери на отопление здания за отопительный период	$q_{б\text{уд}}$	кВт·ч/м²	I	193,7	82,0	205,0	92,3	249,5	136,7
			II	139,4	58,7	146,7	66,0	193,1	112,5
Максимально допустимое значение удельных теплотер на отопление дома	$E_{\text{max}}$	кВт·ч/м²	I	194,7					
			II	162,2					
Разница расчетного значения удельных теплотер от максимально допустимого значения	$\frac{q_{б\text{уд}} - E_{\text{max}}}{E_{\text{max}}}$	%	I	-0,5	-57,9	5,3	-52,6	28,11	-29,8
			II	-14,1	-63,8	-9,6	-59,3	19,1	-30,7
Класс энергетической эффективности			I	C	A	D	A	E	B
			II	B	A	B	A	D	B

### Научная новизна и практическая значимость

Разработано новое конструктивное решение тепловой оболочки малоэтажного жилого дома с использованием экологически чистых материалов, производимых на основе возобновляемых местных ресурсов.

Исследована энергоэффективность тепловой оболочки малоэтажного жилого дома для двух природно-климатических условий строительства в Украине.

На основании результатов исследования тепловых потерь через однородные ограждающие конструкции здания, узловые соединения (термические «мосты»), неоднородные теплопроводные включения (каркас стен) выявлены зоны образования «мостиков» холода в зимний период и разработано оптимальное конструктивное решение узлового соединения фундамента здания с наружной стеной.

Определено оптимальное расположение окна по толщине стены при котором тепловой поток через узел сопряжения «стена-окно» является минимальным.

Для разработанного конструктивного решения малоэтажного жилого дома определены значения приведенного сопротивления теплопередачи конструкций тепловой оболочки здания и линейные коэффициенты теплопередачи узловых соединений.

### Выводы

Выполнена теоретическая оценка энергоэффективности малоэтажного жилого дома согласно действующим нормам с использованием приведенного сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций и на основе аналитической модели теплоизоляционной оболочки здания.

Данные расчетов свидетельствуют о несоответствии современных норм, регламентирующих требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций, нормам удельного теплоснабжения. Расчетные удельные теплотери на отопление дома превышают максимально допустимое значение [11] на 20-30% в

зависимости от климатических условий строительства.

При определении расчетных удельных теплопотерь на отопление здания за отопительный период по стандартной методике с использованием приведенного сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций необходима корректировка величин добавочных теплопотерь к основным потерям тепла, так как расчетные значения тепловых потерь имеют заниженное на 5% и более значение в зависимости от климатических условий строительства.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Renewable Energy News & Information: Solar PV could be standard in new European buildings by 2020 [Virtual Resource] // The World's #1 Renewable Energy Network for News, Information, and Companies. - 2009. - 8 December – 1 p. - Access Mode: URL: [renewableenergyworld.com/articles/2009/12/x002d-solar-pv-could-be.html](http://renewableenergyworld.com/articles/2009/12/x002d-solar-pv-could-be.html). - Title from Screen. Date of Access: 20 July 2015.

Renewable Energy News & Information: Solar PV could be standard in new European buildings by 2020. *The World's #1 Renewable Energy Network for News, Information, and Companies*, 2009. 1 p. Available at: URL: [renewableenergyworld.com/articles/2009/12/x002d-solar-pv-could-be.html](http://renewableenergyworld.com/articles/2009/12/x002d-solar-pv-could-be.html). (Accessed 20 July 2015).

2. Вольфганг Файст. Основные положения проектирования пассивных домов / Перевод с немецкого с дополнениями под редакцией А. Е. Елохова / М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 стр.

Volfgang Fayst. *Osnovnyie polozheniya proektirovaniya passivnykh domov* [The main provisions of the design of passive houses]. Moscow, Publisher Association of building universities, 2008. 144 p.

3. Динамика роста цен на газ и электроэнергию для населения Украины с 2000 по 2012 год. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.energoberezhnie.com/art8\\_ru.html](http://www.energoberezhnie.com/art8_ru.html) – Загл. с экрана. – Проверено – 20 июля 2015.

*The dynamics of growth of prices for gas and electricity for the population of Ukraine from 2000 to 2012*. Available at: URL: [http://www.energoberezhnie.com/art8\\_ru.htm](http://www.energoberezhnie.com/art8_ru.htm) (Accessed July 20, 2015).

4. Yurchenko Y.L. Economic feasibility of energy-efficient and passive house construction in Ukraine / Yurchenko Y.L., Koval O.O., Savitskiy M.V. // Сб. научных трудов Строительство, материаловедение, машиностроение - Днепрпетровск, 2013. - Вып. 68.- С. 462 – 468

Yurchenko Y.L., Koval O.O., Savitskiy M.V. Economic feasibility of energy-efficient and passive house construction in Ukraine. *Sbornik nauchnykh trudov. Stroitelstvo,*

Для достижения зданием энергоэффективности класса А при проектировании необходимо стремиться к созданию непрерывной оболочки с повышенной теплоизоляцией, при этом термические «мосты» должны отсутствовать, либо сведены к минимуму и здание обязательно должно быть оборудовано системой контролируемой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией воздуха.

*materialovedenie, mashinostroenie* [Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers], issue 68, pp. 462 – 468.

5. K. S. Sobinova. Analysis of existing insulation façade systems. Testing of Thermal insulating plaster / K.S. Sobinova, O.A. Ozhyschenko, M.V. Savitskiy. // Сб. научных трудов Строительство, материаловедение, машиностроение - Днепрпетровск, 2013. - Вып. 68.- С. 392 – 396

K.S. Sobinova, O.A. Ozhyschenko, M.V. Savitskiy. Analysis of existing insulation façade systems. Testing of Thermal insulating plaster. *Sbornik nauchnykh trudov. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers], issue 68, pp. 392 – 396.

6. Никифорова Т. Д. Совершенствование методики расчета и рационального проектирования термореабилитации крупнопанельных жилых зданий : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Никифорова Татьяна Дмитриевна. – Днепрпетровск., 2002. – 188 с.

Nikiforova T.D. *Sovershenstvovanie metodiki rascheta i ratsionalnogo proektirovaniya termorenovatsii krupnopanelnykh zhilykh zdaniy*. [Development of calculation method and rational design for thermal rehabilitation projects of large panel residential buildings. PhD Theses ] – Dnipropetrovsk., 2002. – 188 p.

7. Никифорова Т.Д. Особенности моделирования теплопередачи заглубленных зданий / Никифорова Т.Д., Савицкий Н.В., Несин А.А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) – Київ, 2013 – Вип. 77 – С. 77-82.

Nikiforova T.D., Savitskiy N.V., Nesin A.A. *Osoben-nosti modelirovaniya teploperedachi zaglublennykh zdaniy* [Features of heat transfer modeling of buried buildings]. *Mizhvidomchiy nauково-tehnichniy zbirnik naukovih prats (budivnitstvo)* [Scientific and technical collection of scientific works (construction)], 2013, issue 77, pp. 89-94.

8. Несин А.А. Расчет задачи двумерного теплообмена в программных комплексах / Несин А.А. Савицкий Н.В. // Сб. научных трудов Строительство, материаловедение, машиностроение - Днепрпетровск, 2011. - Вып. 61.- С. 387-390.

Nesin A.A. Savitskiy N.V. *Raschet zadachi dvumernogo teploobmena v programmnykh kompleksakh* [Calculation of two-dimensional heat transfer problem in the software package]. *Sbornik nauchnykh trudov. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroyeniye* [Collection of scientific papers. Building, materials sciences, mechanic engineering.], 2011, issue 61 pp.

9. Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель. - На зміну СНиП II-3-79; надано чинності 2007-04-01. - Київ : Мінбуд України, 2006. - 68 с.

*DBN V.2.6-31:2006 Konstruktsiyi budivel i sporud. Teplova Izolyatsiya budivel* [State Building Codes V.2.6-31:2006. Construction of buildings and structures. Thermal insulation of buildings], Kyiv, Minbud, Ukraine Publ., 2006. 68 p.

10. Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings [Virtual Resource] // Official Journal of the European Union – 23 p. – Access Mode: URL: [energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf](http://energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf). - Title from Screen. Date of Access: 21 July 2015.

Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Union*, 2010. 23 p. Available at: URL: [energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf](http://energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf). (Accessed 21 July 2015).

11. Державний стандарт України ДСТУ-Н.Б.А.2.2-5:2007. Проектування. Настанова з розроблення енергетичного паспорта будинків. - Надано чинності 2008-07-01. - Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. - 43 с.

*DSTU-N.B.A.2.2-5:2007 Proektuvannya. Nastanova z rozroblennya energetichnogo pasporta budinkiv budivel* [State Standard B.A.2.2-5:2007. Designing. Order on development

and drafting the energy passport of a building for new building and reconstruction], Kyiv, Minregionbud, Ukraine Publ., 2008. 43 p.

12. Фаренюк Г.Г. Особливості оцінювання енергоефективності проектів житлових будинків [Електронний ресурс] / Фаренюк Г.Г., Агєєва Г.М. // Журнал «Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит» - 2010 - № 5 (75) – С 13-17. Режим доступу: <http://eee.khpi.edu.ua/article/view/23049/20595>. – Назва з екрана. – Перевірено : 21.07.2015.

13. Окна для пассивного дома - высочайшее качество светопрозрачных строительных конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013\\_4/art192.html](http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013_4/art192.html)– Загл. с экрана. – Проверено – 20 июля 2015.

*Windows for passive houses - the highest quality of translucent building structures*. Available at: URL: [http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013\\_4/art192.html](http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013_4/art192.html) (Accessed July 20, 2015).

14. Пат. 89742U Україна, МПК E04H 1/00. Індустріальний екологічний будинок з місцевих будівельних матеріалів / Куліченко І.І., Савицький М.В., Бабенко М.М., Новиченко Н.В. (Україна) ; заявник та патентовласник ГВУЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» – № u 2013 14699 ; заявл. 16.12.2013 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. №8. – 3 с.

Kulichenko I.I., Savitskiy M.V., Babenko M.M., Novichenko N.V. *Industrialniy ekologichniy budinok z mistsevih budivelnih materialiv* [Industrial ecological house with local building materials] Patent UA, no. u 2013 14699, 2013.

*Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, проф. Пишнько А.Н. (Украина)*

Статья поступила в редколлегию 11.08.2015