



ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФАСАДНОГО УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ СЕРИИ ИИ-04

А. Н. Белоус¹, Б. А. Новиков², О. Е. Белоус³

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹us28@ya.ru, ²bonus-20@mail.ru, ³olga.belaus@yandex.ua

Получена 28 сентября 2017; принята 24 ноября 2017.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос целесообразности фасадного утепления зданий, построенных в период индустриального строительства, с технической и экономической точки зрения. Наружные ограждающие конструкции зданий серии ИИ-04 были запроектированы по теплотехническим требованиям 1960-х гг., что при современной цене энергоносителей является неприемлемым и расточительным как для жильцов, так и государства в целом. Произведен анализ современных методов утепления наружных стен здания с учетом цены на строительные-монтажные работы по утеплению оболочки здания. Приводится расчет необходимой толщины утеплителя для приведения теплотехнических показателей стены к современным энергосберегающей и санитарным нормативным требованиям. В статье изложены два расчета технико-экономического обоснования утепления наружных ограждающих конструкций, которые отличаются друг от друга с учетом повышения тарифов на энергоносители.

Ключевые слова: окупаемость, термомодернизация, сопротивление теплопередаче, коэффициент теплопередачи.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ФАСАДНОГО УТЕПЛЕННЯ БУДІНКІВ СЕРІЇ ІІ-04

О. М. Білоус¹, Б. О. Новіков², О. Є. Білоус³

ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹us28@ya.ru, ²bonus-20@mail.ru, ³olga.belaus@yandex.ua

Отримана 28 вересня 2017; прийнята 24 листопада 2017.

Анотація. У статті розглядається питання доцільності фасадного утеплення будівель, побудованих в період індустріального будівництва, з технічної та економічної точки зору. Зовнішні огорожувальні конструкції будівель серії ІІ-04 були запроектовані згідно з теплотехнічними вимогами 1960-х рр., що при сучасних цінах енергоносіїв є неприйнятним і марнотратним як для мешканців, так і держави в цілому. Проведено аналіз сучасних методів утеплення зовнішніх стін будівлі з урахуванням ціни на будівельно-монтажні роботи по утепленню оболонки будівлі. Наводиться розрахунок необхідної товщини утеплювача для приведення теплотехнічних показників стіни до сучасних енергозберігаючих та санітарних нормативних вимог. У статті викладено два розрахунки техніко-економічного обґрунтування утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій, які відрізняються один від одного урахуванням підвищення тарифів на енергоносії.

Ключові слова: окупність, термомодернізація, опір теплопередачі, коефіцієнт теплопередачі.

TECHNICAL-ECONOMIC SUBSTANTIATION OF THE FACADE HEATED INSULATION SYSTEM OF II-04 SERIES

Alexey Belous¹, Bogdan Novikov², Olga Belous³

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

E-mail: ¹us28@ya.ru, ²bonus-20@mail.ru, ³olga.belaus@yandex.ua

Received 28 September 2017; accepted 28 November 2017.

Abstract. The article examines the feasibility of facade insulation of buildings built during the period of industrial construction from the technical and economic point of view. The outer enclosing structures, buildings of the II-04 series, were designed according to the heat engineering requirements of the 1960s, which, with the current price of energy, is unacceptable and wasteful for both residents and the state as a whole. The analysis of modern methods of insulation of the exterior walls of the building is made taking into account the price of construction and installation works for the insulation of the building envelope. The necessary thickness of the insulation is calculated to bring the thermal characteristics of the wall to modern energy-saving and sanitary regulatory requirements. The article outlines two calculations of the feasibility study for the insulation of external enclosing structures, which differ from each other, taking into account the increase in tariffs for energy.

Keywords: payback, thermal upgrading, resistance to heat transfer, heat transfer coefficient.

Формулировка проблемы

В современном мире со стремительной скоростью развиваются строительные нормы и правила, ужесточаются требования теплозащиты зданий и сооружений, вызванные уменьшением количества углеводородных ископаемых. Как следствие, жилые здания массовых серий 1960–1980 гг. перестают отвечать современным требованиям энергоэффективности и теплозащиты.

В соответствии с современными нормами, а также с тем, что жилые здания массовых серий имеют не только моральный, но и физический износ ограждающих конструкций и узлов соединения их между собой, все актуальнее становятся проблемы изучения и улучшения теплотехнических показателей этих элементов зданий. Необходимость обязательной термомодернизации жилых зданий прежде всего диктует стоимость энергоносителей на рынке, ведь от этой стоимости зависит стоимость затрат на отопление здания и, соответственно, срок окупаемости термомодернизации. Как мы можем видеть, на данный момент, стоимость энергоносителей кардинально отличается во всех странах СНГ, поэтому сделать вывод об эффективности термомодернизации жилых зданий массовых серий можно только в отдельности для каждого члена сообщества. Одна из самых высоких цен на энер-

гоносители наблюдается в Украине в связи с требованиями МВФ об установлении рыночных цен для рядового населения.

Анализ последних исследований и публикаций

Огромную работу для решения теоретических и технических проблем термоэффективности, энергоэффективности зданий и сооружений выполнили и изложили в своих работах: В. А. Езерский, В. Г. Гагарин, А. С. Горшков, Г. Е. Фаренюк, П. В. Монастырев, Н. В. Тимофеев, М. Н. Ефименко, Д. В. Немова и многие другие отечественные и иностранные ученые [2–8], [18–24].

В своих работах В. А. Езерский разработал оптимизированные программы термомодернизации жилых домов в масштабе города сроком на 10 лет для зданий массовых серий: 1-447, 111-90, 1-464 [2]. Также были получены два выражения определения предельного срока службы здания, обеспечивающие безубыточность его термомодернизации [3]. Все эти работы подтверждают окупаемость термомодернизации в общегородских масштабах.

В. Г. Гагарин провел анализ нормирования теплопотерь через оболочку зданий и предложил заменить расчет теплозащиты ограждающих конструкций по СНиП, где нормируемая вели-

чина – расход тепловой энергии на отопление – заменяется расчетом удельного коэффициента теплопередачи оболочки здания [4]. Также он разработал усовершенствованную модель условий окупаемости затрат на повышение уровня тепловой защиты для реальных экономических условий РФ с учетом дисконтирования экономики эксплуатируемых затрат [5].

Д. В. Немова, А. С. Горшков выполнили технико-экономические обоснования по утеплению наружных стен многоквартирного здания с устройством вентилируемого фасада и получили бездисконтную окупаемость сроком в 59,9 лет, а сложную окупаемость в 24 года [6]. Также был выполнен расчет энергопотребления зданий, построенных по минимальным требованиям к теплозащите [7]. В работе [8] А. С. Горшков выполнил расчет оптимальных толщин стеновых конструкций по методу приведенных затрат и получил зависимость толщины ограждающей конструкции из газобетона от различных сроков эксплуатации здания.

Важный вопрос в своих исследованиях [9] поднял И. А. Гаас, он произвел численное моделирование стационарного теплообмена участка панельного здания ОД-04. Были определены потери через поврежденные швы соединения элементов, выявлено увеличение теплопотерь от увеличения влажности и найдены суммы затрат на теплопотери.

Также были изучены и проанализированы статьи и публикации зарубежных, европейских ученых и авторов [10–15].

Цели

Целью работы является расчет окупаемости термомодернизации зданий серии ИИ-04 с учетом повышения рыночной стоимости отопления и без.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- проанализировать современные методы термомодернизации и расчета окупаемости;
- провести расчет необходимых конструктивных параметров систем термомодернизации наружных ограждений панельного здания серии ИИ-04;

- определить период окупаемости термомодернизирующих мероприятий с учетом повышения тарифов и без.

Объект исследования

В качестве объекта исследования были выбраны панельные здания массовой серии ИИ-04, которые преобладали при индустриальном строительстве восточной и северной Украины, а также ЮФО России.

Исходные данные для проведения исследования

Исходными данными являются климатические условия Киевской области. Нормативные климатические параметры для данного региона были назначены исходя из [1], согласно которым объект исследования располагается в I-й температурной зоне с количеством градусо-суток отопительного периода – 3 606.

Наружная ограждающая конструкция представляет собой панель толщиной 320 мм из керамзитобетона плотностью 900 кг/м³ с коэффициентом теплопроводности $\lambda_b = 0,36$ Вт/(м² · К) (и отделкой цементно-песчаным раствором плотностью 2 200 кг/м³, коэффициент теплопроводности цементно-песчаного раствора $\lambda_b = 0,81$ Вт/(м² · К). Геометрические характеристики фасадов, кровли, светопрозрачных ограждений не приведены, т. к. методики расчета теплопотерь и капитальных затрат на термомодернизацию приведены к 1 м² ограждающих конструкций здания.

Нормативные теплоэнергетические параметры зданий были назначены в соответствии с [1], необходимое значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции жилого здания рассчитывается по формуле:

$$R_{q \text{ необх.}} = \frac{R_{q \text{ min}}}{r} = 3,47 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, \quad (1)$$

где $R_{q \text{ min}}$ – минимальное нормативное допустимое значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции жилого здания; r – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, принят согласно [16], $r = 0,95$.

Определив $R_{q\text{ необх}}$, становится возможным определение методов и расчет окупаемости термомодернизации.

Методика расчета

1. Определение теплозащитных свойств существующего наружного ограждения

Так как в данной статье представленная методика расчета теплопотерь и капитальных затрат на термомодернизацию зданий приведена к 1 м² ограждающих конструкций здания, необходимо определить существующий показатель сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции исследуемого объекта по формуле:

$$R_q = \frac{1}{\alpha_v} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, \quad (2)$$

где δ_i – толщина i -го слоя конструкции, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя материала;

α_v – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения [17];

α_n – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения [17].

Таким образом, сравнивая $R_{q\text{ необх}}$ и R_q можно сказать, что сопротивление теплопередаче существующего ограждения более чем в три раза меньше минимально допустимого показателя и для обеспечения нормальных условий для проживания людей в этих зданиях необходимо предпринимать меры по улучшению теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций.

2. Определение способа термомодернизации объекта

Для утепления фасада принята система теплоизоляции с толстым штукатурным слоем. В качестве теплоизоляционного материала назначаем негорючие, гидрофобизированные тепло-, звукоизоляционные плиты на основе горных пород базальтовой группы – «Технофас экстра» торговой марки Технониколь плотностью 80 кг/м³, коэффициент теплопроводности $\lambda_b = 0,041 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ [18].

Толщина теплоизоляционного слоя рассчитывается по (2) в зависимости от минимальных требований по сопротивлению теплопередаче, которая равна $R_{q\text{ мин}} = 3,47 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (теплоизоля-

ционными свойствами отделочных слоев штукатурки допускается пренебречь в связи с величинами значимости второго порядка), исходя из этого минимальная толщина утеплителя будет равна:

$$\delta_y = \lambda_y \cdot (R_{q\text{ мин}} - \frac{\delta_c}{\alpha_c} - \frac{\delta_{ш}}{\alpha_{ш}} - \frac{1}{\alpha_v} - \frac{1}{\alpha_n}) = 0,099 \text{ м}, \quad (3)$$

где δ_y – искомая толщина утеплителя, м;

λ_y – коэффициент теплопроводности утеплителя для условий эксплуатации Б;

δ_c – толщина ограждающей конструкции, м;

λ_c – коэффициент теплопроводности ограждающей конструкции;

$\delta_{ш}$ – толщина существующего штукатурного слоя, м;

$\lambda_{ш}$ – коэффициент теплопроводности существующего штукатурного слоя;

α_v, α_n – то же, что и в (2).

Соответственно, для дальнейших экономических расчетов примем, что толщина слоя утеплителя для стен существующего здания составляет 100 мм.

Определим сопротивление теплопередаче для принятой толщины утеплителя согласно (2):

$$R_q = 3,51 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Выполнив расчет, можно сказать, что данная конструкция системы фасадного утепления удовлетворяет требованиям [1] по сопротивлению теплопередаче:

$$R_{q\text{ необх}} = 3,47 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \leq R_q = 3,51 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

3. Расчет простой окупаемости энергосберегающих мероприятий

Расчет простой окупаемости производится в соответствии с предложенным методом [19].

Для расчета теплопотерь через наружные ограждающие конструкции зданий удобно пользоваться величиной, обратной приведенному сопротивлению теплопередаче, которая в международных стандартах называется коэффициентом теплопередачи ограждающих конструкций зданий U , Вт/(м² · К). Значение коэффициента теплопередачи рассчитывается согласно:

$$U = \frac{1}{R_0}. \quad (4)$$

Сопротивление теплопередаче наружных стен существующего дома равно $R_{q\text{ существ}} = 0,91 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$,

что соответствует коэффициенту теплопередачи $U_q^{сущ} = 1,09 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Утепление следует произвести в 2 слоя по 50 мм с обязательным перехлестыванием швов для устранения сквозных мостиков холода.

Сопротивление теплопередаче наружных стен с дома после проведения термомодернизации составило $R_q = 3,51 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, что соответствует коэффициенту теплопередачи $U_q = 0,28 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Тогда для жителей панельного здания серии ИИ-04 сокращение эксплуатационных затрат (потерь тепловой энергии через 1 м^2 в течение одного отопительного периода) после утепления наружных стен, при отоплении зданий от внутриквартальных котельных, рассчитывается по формуле:

$$\Delta \Xi = (U_q^{сущ} - U_q) \cdot 0,024 \cdot \text{ГСОП} \times \times c_{эл} / 1163 = 184,6 \text{ руб}/\text{м}^2, \quad (5)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода;

$c_{эл} = 3\,046,5 \text{ руб}/\text{Гкал}$ – величина тарифа на данный период, руб/Гкал [20];

1 163 – переводной коэффициент из кВт·ч в Гкал.

Капитальные затраты на дополнительное утепление наружной стены существующего дома изделиями «Технофас экстра» торговой марки Технониколь толщиной 100 мм с последующей от-

делкой наружных стен штукатуркой ДК составляют 1 113,7 руб/м² [21]. Перевод денежных сумм из украинской валюты в российскую производился по среднему коммерческому курсу по состоянию на конец 2016, начало 2017 годов. Конструкция стены до и после термомодернизации представлена на рисунке.

В этом случае срок простой окупаемости мероприятий по дополнительному утеплению наружных стен жилого многоквартирного дома серии ИИ-04 рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{\Delta K}{\Delta \Xi} = 6,03 \text{ лет}, \quad (6)$$

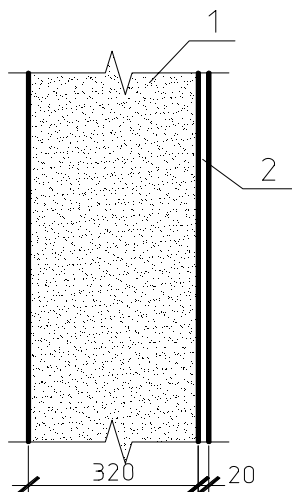
где ΔK – капитальные затраты на дополнительное утепление наружной стены существующего дома, 1 113,7 руб/м² [21].

4. Расчет сложной окупаемости энергосберегающих мероприятий

Расчет сложной окупаемости производится с учетом роста тарифного плана за последние три года и с учетом того, что компания, производящая работы по термомодернизации, использует собственные (не заемные) средства.

$$T_{сл} = \frac{\ln(1 + \frac{\Delta K}{\Delta \Xi} \cdot r)}{\ln(1 + r)} = 2,73 \text{ года}, \quad (7)$$

а)



б)

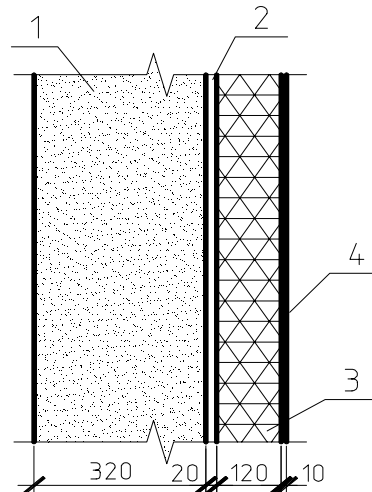


Рисунок. Конструкция стены до и после термомодернизации: а) конструкция стены до термомодернизации; б) конструкция стены после термомодернизации: 1 – несущая часть, керамзитобетон плотностью 900 кг/м³; 2 – отделка цементно-песчаным раствором плотностью 2 200 кг/м³; 3 – тепло-, звукоизоляционные плиты «Технофас экстра» плотностью 80 кг/м³; 4 – наружный, отделочный штукатурный слой.

где r – средний показатель роста тарифного плана за последние три отопительных сезона для города Киева, $r = 111,5\%$;
 $\Delta \Sigma$, ΔK – то же, что и в формуле 6.

Выводы

В работе представлен расчет простой окупаемости термомодернизирующих мероприятий посредством утепления наружных ограждающих конструкций. Расчет выполнен в соответствии с методикой расчета окупаемости. Толщина теплоизолирующего слоя назначена из условия соблюдения минимальных требований по сопротивлению теплопередаче наружных ограждающих конструкций, применяемых в данном климатическом районе.

В результате расчетов были получены следующие результаты:

- сокращение эксплуатационных затрат от потери тепла через 1 м^2 ограждающей конструкции в результате термомодернизации фасада здания $184,6 \text{ руб./м}^2$ за отопительный период;
- срок простой окупаемости инвестиций, направленных на дополнительное утепление фасада рассматриваемого многоквартирного

жилого дома серии ИИ-04, составил $6,03$ года.

- срок сложной окупаемости инвестиций, с учетом роста тарифного плана за последние три года и с учетом того, что компания, производящая работы по термомодернизации, использует собственные (не заёмные) средства, составил $2,73$ года.

Но так как методика расчета позволяет нам определить стоимость теплопотерь до и после термомодернизации только для несветопрозрачных наружных ограждений без учета их реального состояния, теплотехнических свойств соединительных швов между панелями, влияния воздухопроницаемости оконных проемов, остаточного срока службы здания и других факторов, полученные сроки окупаемости не окончательны и могут использоваться только для предварительной оценки термомодернизирующих мероприятий.

Но, несмотря на множество факторов, которые влияют на окупаемость термомодернизации, в целом можно сказать, что для реальных рыночных условий Украины только утепление фасадов здания в значительной мере позволит сокращать затраты государства и граждан страны на отопление зданий.

Литература

1. ДБН В 2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – На заміну ДБН В.2.6-31:2006 ; чинні від 2017–05–01. – К. : Мінрегіон України, 2016. – 24 с.
2. Езерский, В. А. Имитационная модель оптимизации параметров термомодернизации жилых зданий в масштабе города [Текст] / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Часть 2. Строительные науки. С. 475–484.
3. Езерский, В. А. Влияние параметров жилого дома повышенной этажности на энергопотребление [Текст] / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, А. И. Глушкова // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 286–292.
4. Гагарин, В. Г. О нормировании теплопотерь через оболочку здания [Текст] / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 279–286.
5. Гагарин, В. Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при

References

1. DBN V 2.6-31:2016. Thermal insulation of buildings. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016. 24 p. (in Ukrainian)
2. Ezerskiy, V. A.; Monastirev, P. V.; Klychnikov, R. Yu. Simulation model of optimization of thermal modernization parameters of residential building in cities. In: *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*, 2013, Issue 31(50), Part 2. Construction sciences, pp. 475–484. (in Russian)
3. Yezerskiy, V. A.; Monastirev, P. V.; Glushkova, A. I. Influence of parameters of residential extreme stories on energy consumption. In: *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, 3, pp. 286–292. (in Russian)
4. Gagarin, V. G.; Kozlov, V. V. About standartization heat losses through envelopment of the building. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2010, No. 3, pp. 279–286. (in Russian)
5. Gagarin, V. G. Macroeconomic aspects of the substantiation of energy saving measures with increasing of thermal protection of enclosing structures

- повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст] / В. Г. Гагарин // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 8–16.
6. Технико-экономическое обоснование по утеплению наружных стен многоквартирного жилого здания с устройством вентилируемого фасада [Текст] / Д. В. Немова, А. С. Горшков, Н. И. Ватин // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 11 (26). С. 70–84.
 7. Иванова, Е. С. Расчет энергопотребления здания, построенного по минимальным требованиям к тепловой защите [Текст] / Е. С. Иванова, А. С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 4 (43). С. 58–72.
 8. Задвинская, Т. О. Методика повышения энергоэффективности типового многоквартирного дома путем внедрения систем учета, автоматизации и регулирования тепловой энергии [Текст] / Т. О. Задвинская, А. С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 8 (23). С. 79–92.
 9. Численное моделирование стационарного теплообмена панельного здания серии ОД4 [Текст] / И. А. Гаас, С. А. Старцев, Н. С. Харьков, Д. С. Шуравина // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 1 (16). С. 23–35.
 10. Technical note: Airtightness of older-generation energy-efficient houses in Saskatoon [Текст] / H. Orr, J. Wang, D. Fetsch, R. Dumont // Journal of Building Physics. 2013. Vol. 36. P. 294–307.
 11. Modeling, design and thermal performance of a BIPV/T system thermally coupled with a ventilated concrete slab in a low energy solar house: Part 1, BIPV/T system and house energy concept [Текст] / Y. Chen, A. K. Athienitis, K. Galal // Solar Energy. 2010. 84(11). P. 1892–1907.
 12. Thermal performance of an insulated roof with reflective insulation: Field tests under hot climatic conditions [Текст] / M. D'Orazio, C. Di. Perna, E. Di. Giuseppe, M. Morodo // Journal of Building Physics. 2013. Vol. 36. P. 229–246.
 13. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone [Текст] / W. Guo, X. Qiao, Y. Huang [et al.] // Energy and Buildings. 2012. Volume 50. P. 196–203.
 14. Kanga, Na Na. The energy-saving effects of apartment residents' awareness and behavior [Текст] / Na Na Kanga, Sung Heui Choa, Jeong Tai Kimb // Energy and Buildings. 2012. Volume 46. P. 112–122.
 15. Asadi, S. Performance evaluation of an attic radiant barrier system using three-dimensional transient finite element method [Текст] / S. Asadi, M. M. Hassan, A. Beheshti // Journal of Building Physics. 2013. Vol. 36. P. 247–264.
 16. Малявина, Е. Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий [Текст] / Е. Г. Малявина // АВОВ: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2009. № 1. С. 4–10.
 - of buildings. In: *Building materials*, 2010, No. 3, pp. 8–16. (in Russian)
 6. Nemova, D. V.; Gorshkov, A. S.; Vatin, N. I.; Kashabin, A. V.; Tseytin, D. N.; Rymkevich, P. P. Technical and economic assessment on actions for heat insulation of external envelopes external walls of apartment building with the double-skin facade. In: *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, No. 11 (26), pp. 70–84. (in Russian)
 7. Ivanova, E. S.; Gorshkov, A. S. Calculation of energy consumption of the building with the minimum requirements for thermal protection. In: *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2016, No. 4 (43), pp. 58–72. (in Russian)
 8. Zadvinskaya, T. O.; Gorshkov, A. S. Method of energy efficiency of residential house by implementing of automatic controlled heat metering system. In: *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, No. 8 (23), pp. 79–92. (in Russian)
 9. Shuravina, D. S.; Kharkov, N. S.; Gaas, I. A.; Startsev, S. A. Numerical modeling of stationary heat exchange panel building OD4 series. In: *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, No. 1 (16), pp. 23–35. (in Russian)
 10. Orr, H.; Wang, J.; Fetsch, D.; Dumont, R. Technical note: Airtightness of older-generation energy-efficient houses in Saskatoon. In: *Journal of Building Physics*, 2013, Vol. 36, pp. 294–307.
 11. Chen, Y.; Athienitis, A. K.; Galal, K. Modeling, design and thermal performance of a BIPV/T system thermally coupled with a ventilated concrete slab in a low energy solar house: Part 1, BIPV/T system and house energy concept. In: *Solar Energy*, 2010, 84(11), pp. 1892–1907.
 12. D'Orazio, M.; Perna, C. Di.; Giuseppe, E. Di.; Morodo, M. Thermal performance of an insulated roof with reflective insulation: Field tests under hot climatic conditions. In: *Journal of Building Physics*, 2013, Vol. 36, pp. 229–246.
 13. Guo, W.; Qiao, X.; Huang, Y.; Fang, M.; Han, X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone. In: *Energy and Buildings*, 2012, Volume 50, pp. 196–203.
 14. Kanga, Na Na; Choa, Sung Heui; Kimb, Jeong Tai. The energy-saving effects of apartment residents' awareness and behavior. In: *Energy and Buildings*, 2012, Volume 46, pp. 112–122.
 15. Asadi, S.; Hassan, M. M.; Beheshti, A. Performance evaluation of an attic radiant barrier system using three-dimensional transient finite element method. In: *Journal of Building Physics*, 2013, Vol. 36, pp. 247–264.
 16. Malyavina, E. G. Building thermal physics and the problem of insulation of modern buildings. In: *AVOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*, 2009, No. 1, pp. 4–10. (in Russian)
 17. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Protection against the dangerous geological processes, harmful operational influences, against the fire. Building climatology.

17. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – На заміну СНиП 2.01.01-82 і таблиці 2 ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 ; чинні з 01.11.2011. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.
18. ТЕХНОФАС ЭКСТРА [Электронный ресурс] // ТехноНИКОЛЬ / Группа компаний «ТехноНИКОЛЬ». – Электрон. дан. – М., 2017. – Режим доступа : http://www.tn.ru/catalogue/kam_vat/tehnofas_ekstra/. – Загл. с экрана.
19. Техничко-економическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома [Текст] / Д. В. Немова, Н. И. Ватин, А. С. Горшков [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 8 (23). С. 93–115.
20. Тарифи на електроенергію [Электронный ресурс] // КИВЕНЕРГО. – Электрон. дан. – [К., 2013–2016]. – Режим доступа : <http://kyivenergo.ua/tarifi>. – Загл. с экрана.
21. Цена фасадных термопанелей, термооткосов и сопутствующих материалов [Электронный ресурс] // Эко-фасад. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://www.termofasad.kiev.ua/цена.html>. – Загл. с экрана.
22. 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).
23. Езерский, В. А. Методика определения предельного срока службы здания, обеспечивающего безубыточность его термомодернизации [Текст] / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 357–362.
24. Горшков, А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления здания [Текст] / А. С. Горшков // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 9–13.
25. Корниенко, С. В. Комплексная оценка энергоэффективности и тепловой защиты зданий [Текст] / С. В. Корниенко // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. 11 (26). С. 33–48.
- Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 123 p. (in Ukrainian)
18. TechnoNICOL Group of companies. TECHNOFAS EXTRA. Moscow, 2017. Mode of access: http://www.tn.ru/catalogue/kam_vat/tehnofas_ekstra/. (in Russian)
19. Nemova, D. V.; Vatin, N. I.; Gorshkov, A. S.; Kashabin, A. V.; Rymkevich, P. P.; Tceitin, D. N. Technical and economic assessment on actions for heat insulation of external envelops of an individual house. In: *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, No. 8 (23), pp. 93–115. (in Russian)
20. Kyivenergo. Electricity tariffs. Mode of access: <http://kyivenergo.ua/tarifi>. (in Ukrainian)
21. Price of facade thermopanel, termoemcali and related materials. Mode of access: <http://www.termofasad.kiev.ua/цена.html>. (in Russian)
22. DSTU B EN ISO 13790:2011. Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling. Kyiv: NDIBK, 2011. 229 p. (in Ukrainian)
23. Ezersky, V. A.; Monastirev, P. V.; Klychnikov, R. Y. Method of determining the limit of building's service providing profitability of its thermo modernization. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2010, No. 3, pp. 357–362. (in Russian)
24. Gorshkov, A. C. Energy efficiency in construction: questions of regulation and measures to reduce energy consumption of the building. In: *Journal of Civil Engineering*, 2010, No. 1, pp. 9–13. (in Russian)
25. Korniyenko, S. V. Complex assessment of energy efficiency and thermal performance for buildings. In: *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, No. 11 (26), pp. 33–48. (in Russian)

Белоус Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоэффективность зданий и сооружений, теоретическое развитие теплофизики ограждающих конструкций.

Новиков Богдан Александрович – магистрант кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик оценки энергоэффективности зданий и сооружений. Усовершенствование конструктивных решений термомодернизации зданий и сооружений.

Белоус Ольга Евгеньевна – аспирант, ассистент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энер-

гоэффективность зданий и сооружений, усовершенствование конструктивных решений термомодернизации зданий и сооружений.

Білоус Олексій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури промислових та цивільних будівель ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоефективність будівель і споруд, теоретичний розвиток теплофізики огорожувальних конструкцій.

Новіков Богдан Олександрович – магістрант кафедри архітектури промислових та цивільних будівель ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик оцінки енергоефективності будівель і споруд. Удосконалення конструктивних рішень термомодернізації будівель і споруд.

Білоус Ольга Євгенівна – аспірант, асистент кафедри архітектури промислових та цивільних будівель ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик оцінки енергоефективності будівель і споруд. Удосконалення конструктивних рішень термомодернізації будівель і споруд.

Belous Alexey – Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Architecture of Industrial and Civil Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy efficiency of buildings and structures, theoretical development of thermal physics of enclosing structures.

Novikov Bogdan – Master's student, Architecture of Industrial and Civil Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the development of evaluation methodologies for energy efficiency of buildings and structures, improvement of constructive solutions to the thermal modernization of buildings and structures.

Belous Olga – Post-graduate student, Assistant, Architecture of Industrial and Civil Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy efficiency of buildings and structures, improvement of design solutions for thermal upgrading of buildings and structures.