

Сравнительный анализ типовых и энергоэффективных решений малоэтажного жилого здания на основе BIM-модели

В.В. Бредихин¹, К.Ю. Кулаков², Т.В. Учинина³ ✉, А.С. Пышная³

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва 129337, Российская Федерация

³ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
ул. Титова, д. 28, г. Пенза 440028, Российская Федерация

✉ e-mail: tatiana-Vladim@yandex.ru

Резюме

Энергоэффективные решения позволяют сократить объемы потребляемых ресурсов, что ведет к снижению совокупной стоимости владения недвижимостью. Применение BIM-модели позволяет оценить ключевые показатели энергоэффективных решений: коэффициент теплообмена, удельные годовые значения потребления энергии, расхода топлива, выделения углекислого газа в атмосферу.

Цель исследования. Разработка и определение целесообразности внедрения энергетически эффективных решений на основе использования BIM-модели малоэтажного здания.

Методы. Методология базируется на изучении внедрения современных строительных технологий и норм в Пензенском регионе, а также анализе положительных решений аналогичных ситуаций в РФ. Для достижения цели решены следующие задачи: разработана BIM-модель и оценена энергоэффективность типового жилого здания; определены варианты повышения энергоэффективности типового малоэтажного жилого здания; составлен энергетический отчет по типовому и энергоэффективному зданиям и обоснована целесообразность внедрения энергетически эффективных решений в типовую проект.

Результаты. При разработке энергоэффективных решений целесообразно применение современных цифровых технологий. BIM-модель типового малоэтажного жилого здания позволяет выделить термоблоки, зоны внутри каждого из них, а также конструктивные элементы здания, через которые происходят основные теплопотери, и разработать варианты повышения энергоэффективности здания. По выделенным в здании термоблокам и зонам разработаны энергоэффективные решения, благодаря которым теплопотери через оконные проемы и входную дверь снижены с 3,04 до 0,63 Вт/м²К и с 2,11-0,79 Вт/м²К соответственно. Теплопотери при изменении конструкции ограждающих конструкций: стены и перекрытия над первым этажом снизились с 0,28 до 0,25 Вт/м²К и с 0,18 до 0,15 Вт/м²К соответственно.

Заключение. BIM-модель здания позволяет эффективно провести сравнительный анализ типовых и энергоэффективных решений малоэтажных зданий с учетом особенностей планировочного решения и региональных климатических особенностей.

Ключевые слова: малоэтажное строительство; энергоэффективность; энергосбережение; показатель энергоэффективности; удельное потребление энергоресурсов, BIM-моделирование,

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Сравнительный анализ типовых и энергоэффективных решений малоэтажного жилого здания на основе BIM-модели / В.В. Бредихин, К.Ю. Кулаков, Т.В. Учинина, А.С.Пышная // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022; 26(1): 20–42. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-1-20-42>.

Поступила в редакцию 14.01.2022

Подписана в печать 21.02.2022

Опубликована 31.03.2022

Comparative Analysis of Typical and Energy-Efficient Solutions of a Low-Rise Residential Building Based on a Bim Model

Vladimir V. Bredikhin ¹, Kirill Y. Kulakov ², Tatyana V. Uchinina ³ ✉,
Alena S. Pyshnaya ³

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
26 Yaroslavskoe highway, Moscow 129337, Russian Federation

³ Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS)
28 Titova str., Penza 28440028, Russian Federation

✉ e-mail: tatiana-Vladim@yandex.ru

Abstract

Energy efficient solutions reduce the amount of resources consumed, which leads to a lower total cost of ownership of real estate. The use of the BIM model makes it possible to evaluate the key indicators of energy-efficient solutions: heat transfer coefficient, specific annual values of energy consumption, fuel consumption, and carbon dioxide emissions into the atmosphere.

Purpose of research. *Develop and determine the feasibility of introducing energy efficient solutions based on the use of a BIM model of a low-rise building.*

Methods. *The methodology is based on the study of the introduction of modern building technologies and standards in the Penza region, as well as the analysis of positive solutions to similar situations in the Russian Federation. To achieve the goal, the following tasks were solved: a BIM model was developed and the energy efficiency of a typical residential building was assessed; options for improving the energy efficiency of a typical low-rise residential building were identified; an energy report was drawn up for standard and energy-efficient buildings and the expediency of introducing energy-efficient solutions into a standard project was substantiated.*

Results. *When developing energy-efficient solutions, it is advisable to use modern digital technologies. The BIM model of a typical low-rise residential building makes it possible to identify thermal blocks, zones within each of them, as well as structural elements of the building through which the main heat losses occur and develop options for improving the energy efficiency of the building. Based on the thermal blocks and zones allocated in the building, energy-efficient solutions have been developed, thanks to which heat losses through window openings and the front door are reduced from 3.04 to 0.63 W/m²K and from 2.11-0.79 W/m²K, respectively. Heat losses due to changes in the design of enclosing structures: walls and floors above the first floor decreased from 0.28 to 0.25 W/m²K and from 0.18 to 0.15 W/m²K, respectively.*

Conclusions. *The BIM model of a building makes it possible to effectively conduct a comparative analysis of standard and energy-efficient solutions for low-rise buildings, taking into account the features of the planning solution and regional climatic features.*

Keywords: *low-rise construction; energy efficiency; energy saving; energy efficiency indicator; specific consumption of energy resources, BIM modeling*

Conflict of interest. *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Bredikhin V. V., Kulakov K. Y., Uchinina T. V., Pyshnaya A. S. Comparative Analysis of Typical and Energy-Efficient Solutions of a Low-Rise Residential Building Based on a Bim Model. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022; 26(1): 20-42 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-1-20-42>.

Received 14.01.2022

Accepted 21.02.2022

Published 31.03.2022

Введение

Увеличение численности населения планеты, прогрессирующий рост потребления энергоресурсов и их стоимости побуждают к разработке и внедрению энергетически эффективных решений, позволяющих снизить эксплуатационные энергозатраты, что ведет к снижению совокупной стоимости владения объекта недвижимости [1,2,3,4,5, 6]. Отечественные и зарубежные исследователи ведут работу в области рационального энергопотребления [7,8], использования возобновляемых энергоисточников [9,10,11], поскольку именно строительная отрасль имеет все шансы стать той отраслью экономики, где внедрение программ энергосбережения наиболее эффективно [12,13]. Помимо экономических аспектов необходимо учитывать и экологические, такие как: загрязнение атмосферы при использовании энергоресурсов [14,15,16], ухудшение существования человека в усло-

виях крупных агломераций при выбросе парниковых газов [17,18]. Переход к энергоэффективным зданиям в малоэтажном жилищном строительстве позволит решить указанные проблемы [19, 20,21,22,23]. Применение BIM-модели здания позволяет оценить ключевые показатели энергоэффективных решений: коэффициент теплообмена, удельные годовые значения потребления энергии, расхода топлива, выделения углекислого газа в атмосферу.

Цель исследования - разработка и определение целесообразности внедрения энергетически эффективных решений на основе использования BIM-модели малоэтажного здания.

В качестве объекта исследования выступает проект типового малоэтажного здания с заданными параметрами.

Методы внедрения энергетически эффективных решений в типовой проект и способы определения их целесообразности выступают **предметом исследования**.

Материалы и методы

Модель исследования включает в себя три этапа:

– разработка BIM-модели и оценка энергоэффективности типового жилого здания;

– определение вариантов повышения энергоэффективности типового малоэтажного жилого здания;

– составление энергетического отчета по типовому и энергоэффективному зданиям и выявление целесообразности внедрения энергетически эффективных решений в типовой проект.

В рамках первого этапа исследования применяем метод знакового и математического моделирования: BIM-модель типового жилого здания, создана в программе ArchiCad, оценка энергоэффективности типового жилого здания выполнена с использованием СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» с учетом требований [24], при этом для выполнения проекта использованы общие проектные данные, такие как местоположение модели, широта, долгота, высота над уровнем моря, геометрия здания, общая площадь пола, измеренная площадь пола, площадь оболочки, вентилируемый объем, коэффициент остекления, параметры оболочки здания, инфильтрация при 50 Па, коэффициенты теплообмена и некоторые другие.

На втором этапе использования применен метод анализа, когда в еди-

ной разработанной ранее BIM-модели выделены отдельные термоблоки, имеющие типовые конструктивные решения, что позволило перейти к разработке вариантов энергоэффективных решений.

Положения, позволяющие выявить целесообразность внедрения энергетически эффективных решений в типовой проект, сформированы на третьем этапе. Для этого авторы применили метод математического моделирования, синтеза и индукции, применяемый для обобщения полученных результатов [18].

Результаты и их обсуждение

Разработка BIM-модели и оценка энергоэффективности типового жилого здания

В рамках работы был разработан типовой проект одноэтажного кирпичного жилого здания. Эскизный проект объекта представлен в приложении к отчету.

В рамках первой задачи этапа в программе ArchiCad создана BIM модель типового жилого здания.

В табл. 1 приведены основные проектные данные типового малоэтажного здания для оценки энергоэффективности.

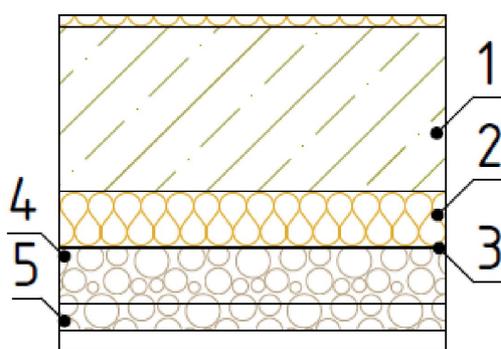
Расчет теплотерь проводился согласно климатическим данным по г. Пензе (СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»). При проектировании типового жилого здания были соблюдены все строительные нормы, правила и стандарты.

Таблица 1. Общие проектные данные**Table 1.** General design data

Местоположение модели / Model location	Пензенская обл., г. Пенза / Penza region, city of Penza
Широта:	55°45' 00'' С
Долгота:	37°35' 00'' В
Высота над уровнем моря:	169,00 м
<i>Геометрические характеристики здания</i>	
Общая площадь пола:	122,64 м ²
Измеренная площадь пола:	93,69 м ²
Площадь оболочки:	198,56 м ²
Вентилируемый объем:	287,56 м ³
Коэффициент остекления:	6,5 %
<i>Параметрические данные оболочки здания</i>	
Инфильтрация при 50 Па:	3,73 л/час
Коэффициенты теплообмена:	U-значение: [Вт/м ² К]
Среднее:	0,54
Этажи:	0,33-0,36
Часть наружная:	0,16-0,29
Часть подземная:	-
Проемы:	2,07-3,19

Фундамент объекта представляет собой многослойную утепленную кон-

струкцию. На рис. 1 показана схема многослойной конструкции фундамента.

**Рис.1.** Конструкция фундамента**Fig. 1.** Foundation design

Слой:

- 1. Ж/б плита фундамента – 300 мм;
- 2. Утеплитель «Пеноплекс» - 100 мм;

3. ГИ Бикрост ХПП – 1 слой;

4. ПГС – 100 мм;

5. Щебень фракции 20-40 мм – 50 мм.

На рис.2 и в табл. 2 представлены конструкция пола первого этажа и его теплотехнические характеристики.

Слои:

1. Линолеум – 10 мм;

2. Армированная стяжка с теплоносителем – 50 мм;

3. Утеплитель «Пеноплекс» - 100 мм.

Конструкция наружной стены и ее теплотехнические характеристик представлены на рис. 3 и в табл.3.

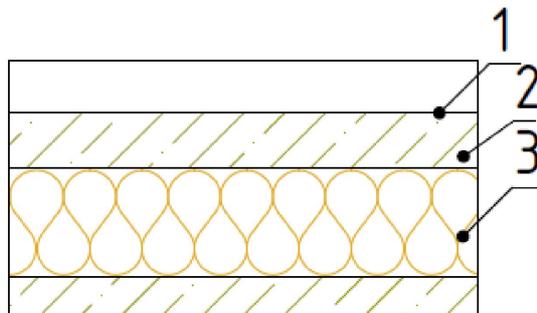


Рис. 2. Конструкция пола первогоэтажа

Fig. 2. First floor floor construction

Таблица 2. Теплотехнические характеристики пола первого этажа

Table 2. Thermal characteristics of the floor of the first floor

Свойства конструкции / Construction properties	
Тип / Type	Перекрытие / Overlap
Ориентация	Горизонтально
Категория	На земле
Термоблок	001 Жилые
Имя	Пол
Площадь	24,20 м ²
Толщина	150 мм
U-значение	0,35 Вт/м ² к

Слои:

Кирпичная облицовка – 120 мм;

Воздушная прослойка – 20 мм;

Блоки из газобетона – 400 мм;

Штукатурка – 20 мм.

На рис.4 и в табл. 4 представлены конструкция перекрытия над первым

этажом и его теплотехнические характеристики.

Слои:

Минераловатный утеплитель 50 кг/м³ – 200 мм;

Пароизоляция;

Ж/б плита перекрытия ПБ - 220 мм.

Штукатурка – 20 мм.

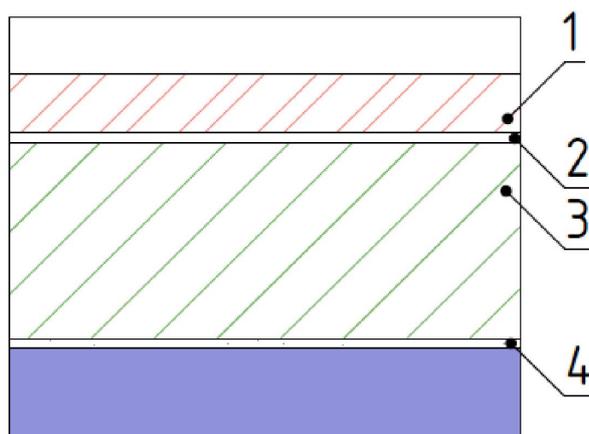


Рис. 3. Конструкция наружной стены

Fig. 3. Outer wall construction

Таблица 3. Теплотехнические характеристики наружной стены

Table 3. Thermal characteristics of the outer wall

Свойства конструкции / Construction properties	
Тип / Type	Стена / Wall
Ориентация	Север
Категория	Снаружи
Термоблок	001 Жилые
Имя	Наружные стены
Площадь	10, 48 м ²
Толщина	560 мм
U-значение	0,28Вт/м ² к
Инфильтрация	1,10л/см ²
Коэффициент поглощения	85,00%

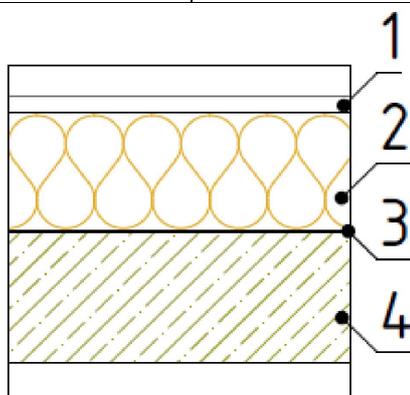


Рис. 4. Конструкция перекрытия над первым этажом

Fig. 4. Ceiling structure above the first floor

Таблица 4. Теплотехнические характеристики перекрытия над первым этажом**Table 4.** Thermal characteristics of the ceiling above the first floor

Свойства конструкции / Construction properties	
Тип / Type	Перекрытие / Overlap
Ориентация	Верх
Категория	Снаружи
Термоблок	001 Жилые
Имя	Плита перекрытия
Площадь	60,23 м ²
Толщина	423 мм
U-значение	0,18 Вт/м ² К
Инfiltrация	1,10 л/см ²
Коэффициент поглощения	85,00%

Теплотехнические характеристики оконных проемов и входной двери представлены на табл. 5 и 6.

В рамках второй задачи этапа выполнена оценка энергоэффективности типового жилого здания.

Таблица 5. Теплотехнические характеристики окна**Table 5.** Thermal characteristics of the window

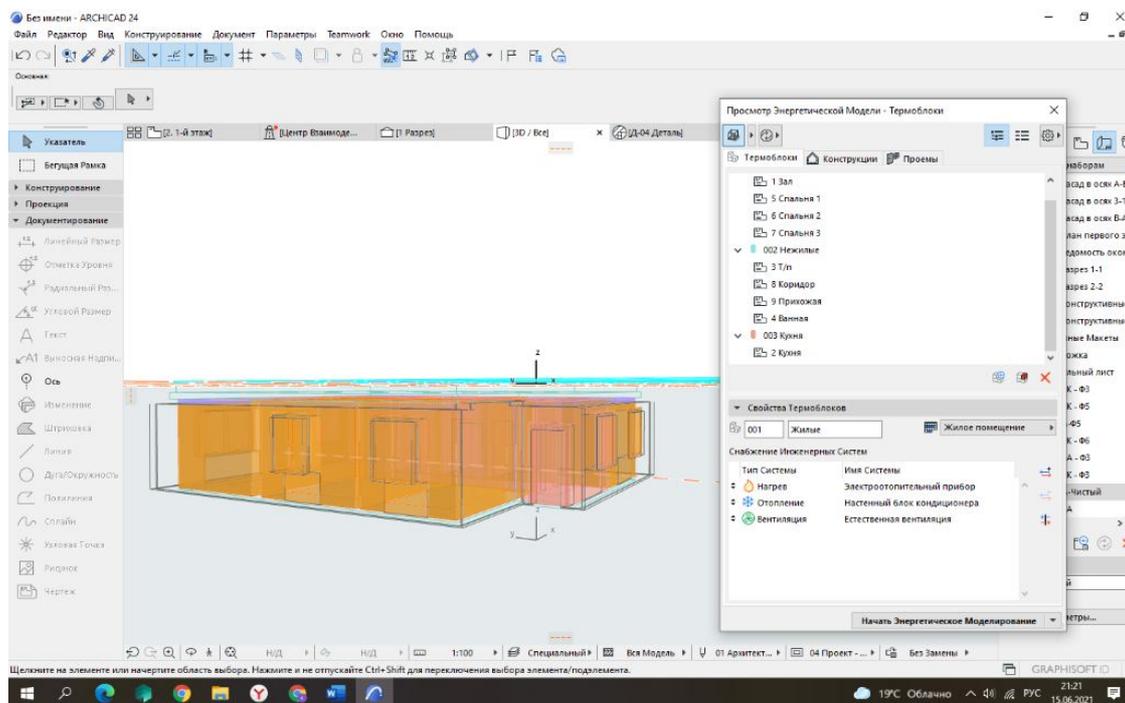
Свойства проёмов / Opening properties	
Тип / Type	Окно / Window
Ориентация	Север
Термоблок	001 Жилые
Площадь непрозрачной поверхности	1,16 м ²
Площадь остекления	2,61 м ²
Общая площадь	3,76 м ²
Суммарное солнечное пропускание	82,00%
Прямое солнечное пропускание	69,00%
<i>Анализ солнечного воздействия</i>	
Периметр	9404 мм
Непрозрачная поверхность	2,11 Вт/ м ² К
Остекление U-значение	2,80 Вт/ м ² К
Общее U-значение	3,04 Вт/ м ² К
Psi – Значение периметра	0,18 Вт/ мК
Инfiltrация	1,43 л/см
Солнцезащитное устройство	Нет

Таблица 6. Теплотехнические характеристики двери**Table 6.** Thermal characteristics of the door

Свойства проёмов / Opening properties	
Тип / Type	Дверь / Door
Ориентация	Запад
Термоблок	002 нежилые
Площадь непрозрачной поверхности	2,75 м ²
Площадь остекления	0,00 м ²
Общая площадь	2,75 м ²
Суммарное солнечное пропускание	82,00%
Прямое солнечное пропускание	69,00%
<i>Анализ солнечного воздействия</i>	
Периметр	0 мм
Непрозрачная поверхность	2,11 Вт/ м ² К
Остекление U-значение	2,80 Вт/ м ² К
Общее U-значение	2,11 Вт/ м ² К
R _{si} – Значение периметра	0,18 Вт/ мК
Инфильтрация	1,43 л/см
Солнцезащитное устройство	Нет

В программе ArchiCad созданы термоблоки, параметры которых приведены на рис. 5.

В здании нагрев воды для отопления и хозяйственных нужд осуществляется с помощью электричества.

**Рис. 5.** Иллюстрация интерфейса программы ArchiCad с выделенными термоблоками**Fig. 5.** Illustration of the ArchiCad interface with thermal blocks highlighted

Охлаждение помещений осуществляется настенными блоками кондиционера. Помещения вентилируются естественным образом.

В табл. 7 приведены U-значения ограждающих конструкций здания. Приведенные значения взяты из BIM модели.

Далее был произведен расчет, результаты которого представлены в табл. 8-10.

В табл. 11 представлены удельные годовые значения потребляемой энергии до внедрения энергоэффективных технологий (чистая энергия теплоснабжения ЧЭТ, чистая энергия охлаждения ЧЭО, суммарная чистая энергия СЧЭ, потребление энергии $P^{энерг}$, потребление топлива $P^{топл}$, энергоемкость $\mathcal{E}^{эмк}$, стоимость топлива $C^{топл}$, выброс CO_2

Таблица 7. U-значения ограждающих конструкций здания

Table 7. U-values of the building envelope

Название конструкции / Design name	U-значение, (Вт/м ² К) / U-value, (W/m ² К)
Наружные стены	0,28
Пол	0,35
Перекрытие	0,18
Наружная дверь	2,11
Окна	3,09

Таблица 8. Ключевые значения проекта

Table 8. Project key values

Общая площадь пола:	123,00	м ²
Обработанная площадь пола:	94,00	м ²
Площадь наружных поверхностей:	199,00	м ²
Вентилируемый объем:	287,00	м ³
Коэффициент остекления:	6,50	%
Утечка воздуха:	3,73	1/час

Таблица 9. U-значения

Table 9. U-values

В среднем по оболочке здания:	0,54	Вт/м ² К
Этажи:	0,35 – 0,35	Вт/м ² К
Внешний:	0,18 – 0,28	Вт/м ² К
Подземный:	-	Вт/м ² К
Проемы:	2,11 – 3,17	Вт/м ² К

Таблица 10. Проектные нагрузки

Table 10. Design loads

Нагрев:	152,49	кВт.ч/м ² год
Охлаждение:	4,24	кВт.ч/м ² год
Часы пониженного теплоснабжения:	8760,00	ч
Часы пониженного охлаждения:	0,00	ч
Градусо-сутки отопительного периода	7029	
Градусо-сутки периода охлаждения	799	

Таблица 11. Особая годовая потребность

Table 11. Special annual requirement

Наименование показателей / The name of indicators	Значения / Values
ЧЭТ, кВт.ч/м ² год	161,35
ЧЭО, кВт.ч/м ² год	5,11
СЧЭ, кВт.ч/м ² год	166,46
$P^{энерг}$, кВт.ч/м ² год	241,01
$P^{топл}$, кВт.ч/м ² год	233,09
$\mathcal{E}^{эмк}$, кВт.ч/м ² год	699,03
$C^{топл}$, руб/м ² год	828,13
Выброс CO ₂ , кг/м ² год	51,92

При проектировании индивидуального жилого дома не были поставлены задачи по снижению потребления энергии. Видно, что 66% потребляемой энергии приходится на отопление помещений. По проекту в доме отопительным прибором служат подоконные отопительные батареи. Теплоноситель нагревается в электрическом бойлере. Основная задача энергоэффективных домах не нагрев помещений, а сохранение тепла внутри помещений. В разработанном типовом проекте применяется естественная вентиляция, приточный воздух в холодные сутки года предва-

рительно не нагревается. Также удаляемый отработанный теплый воздух вытягивается естественной вентиляцией без рекуперации тепла, таким образом теряется значительная часть тепла. Суммарная потребляемая чистая энергия для нагрева и охлаждения дома составляет 156,73 кВт.ч/м²год. В энергоэффективных домах этот показатель, в зависимости от местоположения объекта, составляет 70-90 кВт.ч/м²год. Далее был проведен ряд изменений конструктивных решений по основным термоблокам, позволившим повысить уровень энергоэффективности дома.

Определение вариантов повышения энергоэффективности типового малоэтажного жилого здания

Для повышения энергоэффективности объекта изменены конструктивные элементы: наружных стен, перекрытия; материал проемов: окон и наружной двери (подробно конструктивные решения представлены на рис. 6, 7).

Слои:

Плита керамогранитная – 5 мм;

Воздушный зазор – 60 мм;

Теплоизоляция ТехноВент Стандарт (ТУ 5762-010-74-182181-2012) – 100 мм;

Кирпич керамический (ГОСТ 530-2012) – 380 мм.

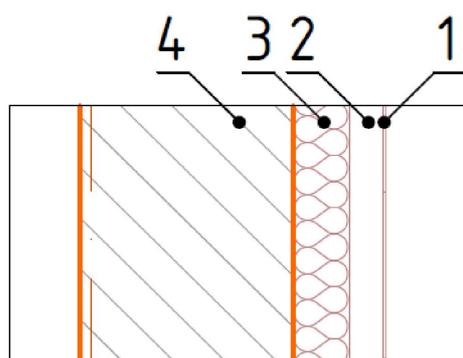


Рис. 6. Разрез наружной стены

Fig. 6. Section of the outer wall

Таблица 12. Свойства конструкции: наружная стена

Table 12. Construction Properties: Exterior Wall

Свойства конструкции / Construction properties	
Тип / Type	Перекрытие / Overlap
Ориентация	Запад
Категория	Снаружи
Термоблок	001 Жилые
Имя	ФАС-01-ТН-ФАСАД Вент
Площадь	10,48 м ²
Толщина	545 мм
U-значение	0,25 Вт/м ² К
Инфильтрация	1,10 л/см ²
Коэффициент поглощения	85,00%

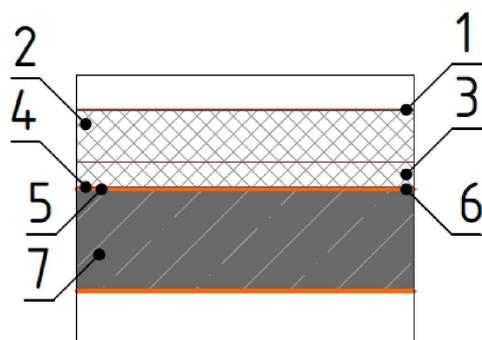


Рис.7. Разрез перекрытия

Fig. 7. Floor section

Слой:

Кровельная ПВХ мембрана LOGI-CROOF V-RP (СТО 72746455-3.4.1-2013) – 2 мм;

Плиты теплоизоляционные LOGI-CPIR PROF Ф/Ф (СТО 72746455-3.8.1-2014) – 100 мм;

Плиты теплоизоляционные LOGI-CPIR SLOPE (СТО 72746455-3.8.1-2014) – 50 мм;

Клей-пена ТЕХНОНИКОЛЬ LOGI-CPIR (СТО 72746455-3.6.10-2016);

Унифлекс С ЭМС (СТО 72746555-3.1.8-2014) – 4 мм;

Праймер битумный ТЕХНОНИКОЛЬ №01 (ТУ 5775-011-17925162-2003);

Железобетонная плита – 200 мм.

Таблица 13. Свойства конструкции: перекрытие

Table 13. StructuralProperties: Overlap

Свойства конструкции / Construction properties	
Тип / Type	Перекрытие / Overlap
Ориентация	Верх
Категория	Снаружи
Термоблок	001 Жилые
Имя	ПК-32_ТН-КРОВЛЯ Эксперт PIR
Площадь	60,23 м ²
Толщина	356 мм
U-значение	0,15 Вт/м ² К
Инфильтрация	1,10 л/см ²
Коэффициент поглощения	85,00%

Конструкции пола и фундамента не были изменены. Оконные проемы и входная дверь были изменены на более энергоэффективные. В табл. 14 и 15 представлены теплотехнические характеристики оконных проемов и входной двери.

Окна в энергоэффективном здании изготовлены: коробка из композитного материала; стеклопакет из тонированного композитного стекла.

Входная дверь (коробка) в энергоэффективном здании выполнена из композитного материала с низкой теплопроводностью.

Таблица 14. Теплотехнические характеристики окна**Table 14.** Thermal characteristics of the window

Свойства проёмов / Opening properties	
Тип / Type	Окно / Window
Ориентация	Запад
Термоблок	001 Жилые
Площадь непрозрачной поверхности	1,16 м ²
Площадь остекления	2,61 м ²
Общая площадь	3,76 м ²
Суммарное солнечное пропускание	18,00%
Прямое солнечное пропускание	14,00%
Анализ солнечного воздействия	
Периметр	9404 мм
Непрозрачная поверхность	0,71 Вт/ м ² К
Остекление U-значение	0,30 Вт/ м ² К
Общее U-значение	0,63 Вт/ м ² К
Psi – Значение периметра	0,08 Вт/ мК
Инфильтрация	0,09 л/см
Солнцезащитное устройство	Нет

Таблица 15. Теплотехнические характеристики входной двери**Table 15.** Thermal characteristics of the entrance door

Свойства проёмов / Opening properties	
Тип / Type	Дверь / Door
Ориентация	Юг
Термоблок	002 Нежилые
Площадь непрозрачной поверхности	2,71 м ²
Площадь остекления	0,00 м ²
Общая площадь	2,71 м ²
Суммарное солнечное пропускание	82,00%
Прямое солнечное пропускание	69,00%
Анализ солнечного воздействия	
Периметр	0 мм
Непрозрачная поверхность	0,79 Вт/ м ² К
Остекление U-значение	2,80 Вт/ м ² К
Общее U-значение	0,79 Вт/ м ² К
Psi – Значение периметра	0,09 Вт/ мК
Инфильтрация	0,09 л/см
Солнцезащитное устройство	Нет

В табл. 16 представлены значения коэффициентов теплообмена, в табл. 17 – удельные годовые значения потребляемой энергии после внедрения энергоэффективных технологий (чистая энергия теплоснабжения ЧЭТ, чистая

энергия охлаждения ЧЭО, суммарная чистая энергия СЧЭ, потребление энергии $P^{энерг}$, потребление топлива $P^{топл}$, энергоёмкость $\mathcal{E}^{эмк}$, стоимость топлива $C^{топл}$, выброс CO_2).

Таблица 16. U-значения (коэффициенты теплообмена)

Table 16. U-values (heat transfer coefficients)

В среднем по оболочке здания:	0.34	Вт/м ² К
Этажи:	0.35 - 0.35	Вт/м ² К
Внешний:	0.12 - 0.25	Вт/м ² К
Подземный:	-	Вт/м ² К
Проемы:	0,63 - 3.17	Вт/м ² К
Градусо-сутки периода охлаждения	799	

Таблица 17. Удельные годовые значения

Table 17. Specific annual values

Наименование показателей / The name of indicators	Значения / Values
ЧЭТ, кВт.ч/м ² год	91,02
ЧЭО, кВт.ч/м ² год	0,00
СЧЭ, кВт.ч/м ² год	91,02
$P^{энерг}$, кВт.ч/м ² год	183,63
$P^{топл}$, кВт.ч/м ² год	92,33
$\mathcal{E}^{эмк}$, кВт.ч/м ² год	303,35
$C^{топл}$, руб/м ² год	293,45
Выброс CO_2 , кг/м ² год	12,31

Составление энергетического отчета по типовому и энергоэффективному зданиям и выявление целесообразности внедрения энергетически эффективных решений в типовой проект

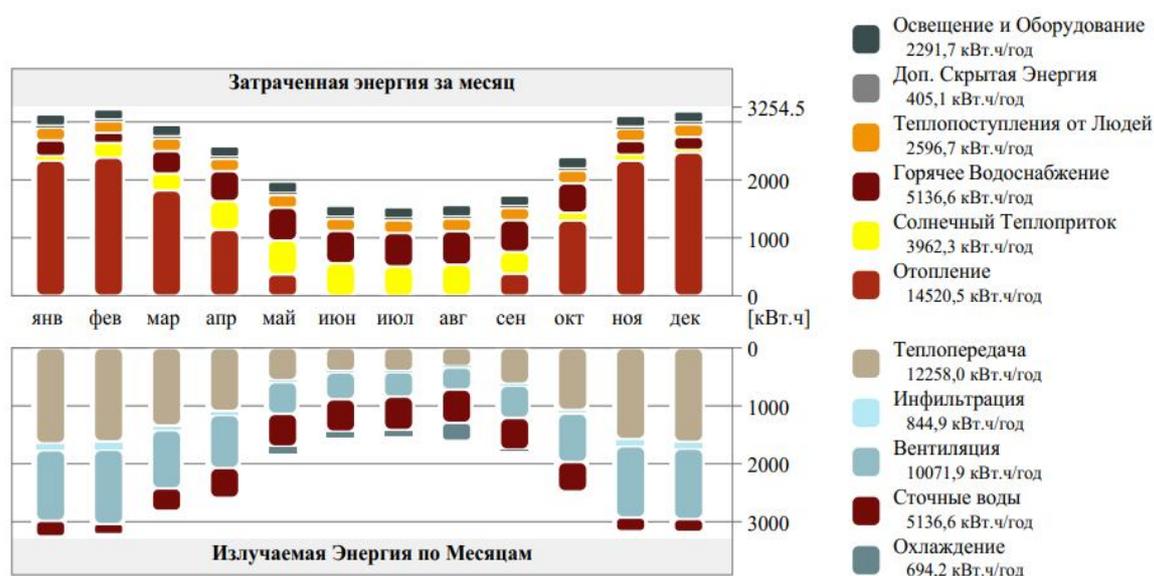
Энергетические отчеты по типовому и энергоэффективному зданиям представлены в таблицах.

Показатели отапливаемой площади с разделением по термоблокам представлены в табл. 18.

Энергетический баланс проекта типового здания представлен на рис. 8, в табл. 19 представлены результаты расчета воздействия проекта на окружающую среду.

Таблица 18. Показатели отапливаемой площади с разделением по термоблокам**Table 18.** Indicators of the heated area with division by thermoblocks

Термоблок / Thermoblock	Количество зон / Number of zones	Эксплуатация / Exploitation	Общая площадь, м ² / Total area, m ²	Объём, м ³ / Volume, m ³
001 Жилые	4	Жилое помещение	78,50	174,66
002 Нежилые	4	Коридоры	32,04	73,69
003 Кухня	1	Кухня	14,28	28,89
Итого	9		124,82	277,23

Энергетический баланс проекта**Рис. 8.** Энергетический баланс проекта (для типового здания)**Fig. 8.** Energy balance of the project (for a typical building)**Таблица 19.** Воздействие на окружающую среду**Table 19.** Environmental impact

Источник / Source	Наименование / Name	Энергия первичная, кВт. ч/год / Primary energy, kW. h/year	Выброс CO ₂ кг/год / CO ₂ emission, kg/year
Возобновляемая	Наружный воздух	911	0
Дополнительная	Электричество	66499	4787
Итого:		67410	4787

Энергетический баланс проекта

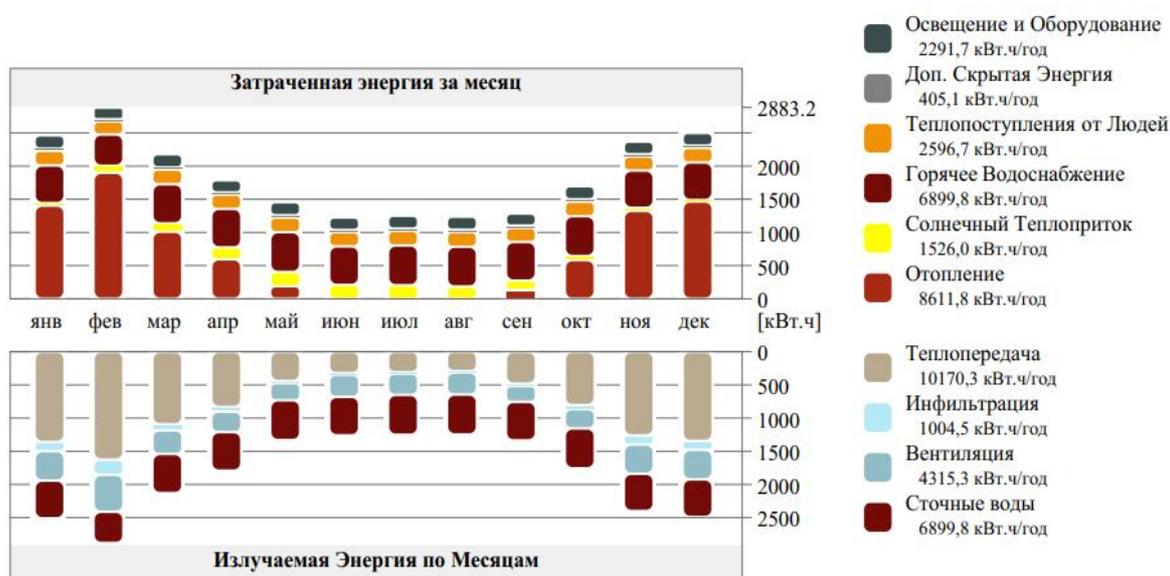


Рис. 9. Энергетический баланс проекта (для энергоэффективного здания)

Fig. 9. Energy balance of the project (for an energy efficient building)

Таблица 20. Воздействие на окружающую среду

Table 20. Environmental impact

Источник / Source	Наименование / Name	Энергия первичная, кВт. ч/год / Primary en- ergy, kW. h/year	Выброс CO ₂ кг/год / CO ₂ emission, kg/year
Возобновляемая	Солнце (Тепло; ФЭ)	4777	0
	Грунт	4581	0
	Топливные гранулы	4310	89
Дополнительная	Электричество	15457	1112
Итого:		29125	1201

Энергетический баланс проекта энергоэффективного здания представлен на рис.9, в таблице 20 представлены результаты расчета воздействия проекта на окружающую среду.

Выводы

Применение энергоэффективных решений к типовому зданию позволяет получить следующие результаты:

1. При изменении конструкции наружной стены значение коэффициента теплообмена U снизилось от 0,28 до 0,25 Вт/м²К.

2. При изменении конструкции перекрытия над первым этажом значение коэффициента теплообмена U снизилось от 0,18 до 0,15 Вт/м²К.

3. При изменении конструкций оконных проемов значение коэффициента теплообмена U снизилось с 3,04 до 0,63 Вт/м²К, инфильтрация через окно снизилась от 1,43 до 0,09 л/см.

4. При изменении конструкции входной двери значение коэффициента теплообмена U снизилось с 2,11 до 0,79

Вт/м²К, инфильтрация через окно снизилась от 1,43 до 0,09 л/см.

Если говорить о проекте в целом, то согласно энергетическому балансу типового и энергоэффективного здания, а также рассчитанным ключевым значениям средний коэффициент теплообмена снизился с 0,54 до 0,34 Вт/м²К, удельное годовое значение чистой энергии отопления снизилось с 161,35 до 92,33 кВт.ч/м²год, удельное годовое значение потребления энергии снизилось с 241,01 до 183,63 кВт.ч/м²год. Таким образом, применение данных конструктивных решений обоснованно.

Список литературы

1. Baronin S., Kulakov K. Development of life cycle valuation with priority of national projects and energy efficiency // В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020" 2020. С. 07006.

2. Баронин С.А., Кулаков К.Ю. Оценка и моделирование управления стоимостью владения жилой недвижимостью на основе энергоэффективных мероприятий // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 3. С. 20-27.

3. Казанцев П.А., Княжев В.В., Лощенков В.В., Кирик Н.С. Исследование традиционной архитектурой модели пассивного солнечного отопления на примере экспериментального индивидуального жилого дома Solar-SB // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2016. № 2 (27). С. 116-127.

4. Цховребов Э.С. Ресурсосбережение: основные этапы становления, теории и методы, тенденции и перспективы развития в промышленности и строительной индустрии России // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 1. С. 112–158. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.1.112-158>

5. Советников Д.О. Строительство здания, отвечающего стандартам пассивного дома // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9 (24). С. 11-25.

6. Чан Нгок Тьян, Нгуен Тхи Хань Фьонг, Горбаренко Е.В. Оценка энергоэффективности оконной системы с солнцезащитным устройством П-образного типа // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 6. С. 655–665. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.6.655-665>.

7. Baronin S., Kulakov K. Residential property ownership valuation and cost management based on energy efficiency measures // В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020" 2020. С. 07005.

8. Kulakov K.Y., Baronin S.A. Development of the municipal market of land plot auctions for housing construction in Russia // Journal of Applied Economic Sciences. 2016. Т. 11. № 4. Р. 698-708.

9. Баронин С.А. Методические аспекты формирования и управления совокупной стоимостью жизненных циклов недвижимости с разным уровнем энергоэффективности. Пенза, 2017.

10. Безгодков М.А., Степанов Н.Д. Биопозитивная, ресурсосберегающая технология строительства малоэтажных зданий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2018. Т. 2. С. 38-46.

11. Гареев И.Ф., Матвеева Е.С. Жилищные исследования: новые сегменты рынка и актуальные вопросы. М., 2016.

12. Бредихин В.В. Стратегия развития жилищной недвижимости в регионе // Регион: системы, экономика, управление. 2016. № 3 (34). С. 51-57.

13. Смирнова Ю.О., Логинова В.В. Влияние энергоэффективных мероприятий на теплотехнические и экономические характеристики многоквартирных жилых домов // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 4 (33). С. 96-101.

14. Зубарева Г.И. Солнечный дом с Вегетарием // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10. № 2. С. 126-135.

15. Баронин С.А., Грабовый П.Г. Главные тенденции и современные особенности развития малоэтажного жилищного строительства в России // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5-2 (38). С. 48-58.

16. Проблема и тенденции развития малоэтажного жилищного строительства в России / С.А. Баронин, В.С. Казейкин, Е.Л. Николаева, А.Г. Черных, А.Н. Андросов. М., 2016.

17. Корнилов П.П. Современные тенденции развития малоэтажного жилищного строительства // Недвижимость: экономика, управление. 2016. № 4. С. 39-44.

18. Учинина Т.В., Баронин С.А. Девелопмент недвижимости при реализации проектов строительства экологичного и энергоэффективного малоэтажного жилья в Пензенской области // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5-2 (38). С. 325-331.

19. Гулак Л.И., Бубнович С.Н. Обоснование целесообразности использования пассивных домов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2015. № 1. С. 33-36.

20. Пассивные дома в Финляндии / Т. Джигит, Д. Дюрр, Я. Туунанен, М. Луома // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 8 (13). С. 12-19.

21. Жигулина А.Ю., Пономаренко А.Л. Строительство энергоэффективных домов в России // Архитектура и развитие. 2012.

22. Энергоэффективные дома - дома будущего / Е.А. Ковалева, А.В. Казарбин, Л.В. Ковалева, И.В. Сысуев // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2015. № 1. С. 153-156.

23. Учинина Т.В., Толстых Ю.О., Биксалиева Д.Р. Особенности строительства и развития коттеджных поселков эконом-класса, удовлетворяющих требованиям энергоэффективности и экологичности (на примере г. Пензы) // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 189.

24. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 11 ноября 2009 г. // Рос. газ. 2009. 27 нояб. (№ 5050).

References

1. Baronin S., Kulakov K. Development of life cycle valuation with priority of national projects and energy efficiency. *E3S Web of Conferences. Ser. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020"*, 2020, pp. 07006.

2. Baronin S.A., Kulakov K.Yu. Otsenka i modelirovanie upravleniya stoimost'yu vladeniya zhiloi nedvizhimosti na osnove energoeffektivnykh meropriyatii [Evaluation and modeling of management of the cost of ownership of residential real estate based on energy-efficient measures]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie = Real Estate: Economics, Management*, 2020, no. 3, pp. 20-27.

3. Kazantsev P.A., Knyazhev V.V., Loshchenkov V.V., Kirik N.S. Issledovanie traditsionnoi arkhitekturoi modeli passivnogo solnechnogo otopeniya na primere eksperimental'nogo individual'nogo zhilogo doma Solar-SB [The study of the traditional architecture of the model of passive solar heating on the example of an experimental individual residential building Solar-SB]. *Vestnik Inzhenernoi shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta = Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*, 2016, no. 2 (27), pp. 116-127.

4. Tshovrebov E.S. Resursosberezhenie: osnovnye etapy stanovleniya, teorii i metody, tendentsii i perspektivy razvitiya v promyshlennosti i stroitel'noi industrii Rossii [Resource-saving: main formation stages, theories and methods, tendencies and prospects of development in industry and construction of Russia]. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU* [Monthly

Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(1):112-158. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.1.112-158>.

5. Sovetnikov D.O. Stroitel'stvo zdaniya, otvechayushchego standartam passivnogo doma [Construction of a building that meets the standards of a passive house]. Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii = Construction of Unique Buildings and Structures, 2014, no. 9 (24), pp. 11-25.

6. Tran Ngoc Chan, Nguyen Thi Khanh Phuong, Gorbarenko E.V. Otsenka energoeffektivnosti okonnoi sistemy s solntsezashchitnym ustroystvom P-obraznogo tipa [Assessment of the energy efficiency of a window system with a shading device of the egg-crate type]. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(6):655-665. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.6.655-665> (rus.)

7. Baronin S., Kulakov K. Residential property ownership valuation and cost management based on energy efficiency measures [Residential property ownership valuation and cost management based on energy efficiency measures]. *E3S Web of Conferences. Ser. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020"*, 2020. P. 07005.

8. Kulakov K.Y., Baronin S.A. Development of the municipal market of land plot auctions for housing construction in Russia. *Journal of Applied Economic Sciences*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 698-708.

9. Baronin S.A. *Metodicheskie aspekty formirovaniya i upravleniya sovokupnoi stoimost'yu zhiznennykh tsiklov nedvizhimosti s raznym urovnem energoeffektivnosti* [Methodological aspects of the formation and management of the total cost of real estate life cycles with different levels of energy efficiency]. Penza, 2017.

10. Bezgodov M.A., Stepanov N.D. Biopozitivnaya, resursosberegayushchaya tekhnologiya stroitel'stva maloetazhnykh zdanii [Biopositive, resource-saving technology for the construction of low-rise buildings]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika = Modern Technologies in Construction. Theory and Practice*, 2018, vol. 2, pp. 38-46.

11. Gareev I.F., Matveeva E.S. *Zhilishchnye issledovaniya: novye segmenty rynka i aktual'nye voprosy* [Housing research: new segments of the market and topical issues]. Moscow, 2016.

12. Bredikhin V.V. Strategiya razvitiya zhilishchnoi nedvizhimosti v regione [Strategy for the development of housing real estate in the region]. *Region: sistemy, ekonomika, upravlenie = Region: Systems, Economics, Management*, 2016, no. 3 (34), pp. 51-57.

13. Smirnova Yu.O., Loginova V.V. Vliyanie energoeffektivnykh meropriyatii na teplotekhnicheskie i ekonomicheskie kharakteristiki mnogokvartirnykh zhilykh domov [Influence of energy-efficient measures on heat engineering and economic characteristics of multi-apartment residential buildings]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo = Regional Architecture And Construction*. 2017, no. 4 (33), pp. 96-101.

14. Zubareva G.I. Solnechnyi dom s Vegetariem [Solar House with Vegetarian]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura = Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 126-135.

15. Baronin S.A., Grabovyi P.G. Glavnye tendentsii i sovremennye osobennosti razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii [Main trends and modern features of the development of low-rise housing construction in Russia]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2011, no. 5-2 (38), pp. 48-58.

16. Baronin S.A., Kazeikin V.S., Nikolaeva E.L., Chernykh A.G., Androsov A.N. *Problema i tendentsii razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii* [The problem and trends in the development of low-rise housing construction in Russia]. Moscow, 2016.

17. Kornilov P.P. Sovremennye tendentsii razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva [Modern trends in the development of low-rise housing construction]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie = Real Estate: Economics, Management*, 2016, no. 4, pp. 39-44.

18. Uchinina T.V., Baronin S.A. Development nedvizhimosti pri realizatsii proektov stroitel'stva ekologichnogo i energoeffektivnogo maloetazhnogo zhil'ya v Penzenskoi oblasti [Real estate development in the implementation of projects for the construction of environmentally friendly and energy-efficient low-rise housing in the Penza region]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2011, no. 5-2 (38), pp. 325-331.

19. Gulak L.I., Bubnovich S.N. Obosnovanie tselesoobraznosti ispol'zovaniya passivnykh domov [Substantiation of the expediency of using passive houses]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Vysokie tekhnologii. Ekologiya = Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: High technologies. Ecology*, 2015, no. 1, pp. 33-36.

20. Dzhigit T., Duerr D., Tuunanen J., Luoma M. Passivnye doma v Finlyandii [Passive houses in Finland]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii = Construction of unique Buildings and Structures*, 2013, no. 8 (13), pp. 12-19.

21. Zhigulina A.Yu., Ponomarenko A.L. Stroitel'stvo energoeffektivnykh domov v Rossii [Construction of energy-efficient houses in Russia]. *Arkhitktura i razvitie = Architecture and development*, 2012.

22. Kovaleva E.A., Kazarbin A.V., Kovaleva L.V., Sysuev I.V. Energoeffektivnye doma - doma budushchego [Energy-efficient houses - houses of the future]. *Dal'nii Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa = Far East: Problems of Development of the Architectural and Construction Complex*, 2015, no. 1, pp. 153-156.

23. Uchinina T.V., Tolstykh Yu.O., Biksaliyeva D.R. Osobennosti stroitel'stva i razvitiya kottedzhnykh poselkov ekonom-klassa, udovletvoryayushchikh trebovaniyam energoeffektivnosti i ekologichnosti (na primere g. Penzy) [Features of the construction and development of economy-class cottage settlements that meet the requirements of energy efficiency and environmental friendliness (on the example of Penza)]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = *Modern Problems of Science and Education*, 2012, no. 4, p. 189.

24. *Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoi effektivnosti i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii: feder. zakon Ros. Federatsii* [On Energy Saving and Increasing Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation: Feder. law Ros. Federation] dated November 23, 2009 No. 261-FZ: adopted by the State. Duma Feder. Sobr. Ros. Federation November 11, 2009. Ros. gas. 2009. 27 November. (No. 5050).

Информация об авторах / Information about the Authors

Бредихин Владимир Викторович, доктор экономических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, г.Курск, Российская Федерация, e-mail: bvv001@mail.ru

Vladimir V. Bredikhin, Dr. of Sci. (Economic), Associate Professor, Southwest State University Kursk, Russian Federation, e-mail: bvv001@mail.ru

Кулаков Кирилл Юрьевич, доктор экономических наук, профессор, проректор по финансовой политике, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: kulakovkyu@mgsu.ru

Kirill Y. Kulakov, Dr. of Sci. (Economic), Professor, Vice-Rector, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, e-mail: kulakovkyu@mgsu.ru

Учинина Татьяна Владимировна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Российская Федерация, e-mail: tatiana-Vladim@yandex.ru

Tatyana V. Uchinina, Cand. of Sci. (Economic), Associate Professor of the Department of Expertise and Real Estate Management, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, e-mail: tatiana-Vladim@yandex.ru

Пышная Алена Сергеевна, магистрант, кафедра «Экспертиза и управление недвижимостью» Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Российская Федерация e-mail: alena122q@icloud.com

Alena S. Pyshnaya, Undergraduate, Department of Expertise and Real Estate Management, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation e-mail: alena122q@icloud.com