

УДК 693.9

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО ПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

**М.И. Ефимченко**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** Типовая панельная застройка позволяет возводить здания быстрее и дешевле. Однако панельные дома, построенные еще в советский период, имеют ряд недостатков: слабая звукоизоляция, низкий уровень теплоизоляции, разрушение стыков панелей, невозможность изменения планировки и т.д. Технологии современного панельного домостроения уже решили многие из указанных проблем. В статье приведены примеры типовых серий панельных домов советского периода, описаны преимущества и недостатки панельных домов, проведен теплотехнический расчёт ограждающих стеновых конструкций домов типовой серии П-46. На основании дополнительных расчетов даны рекомендации по оптимальному расположению теплоизоляционного материала в составе ограждающей конструкции с целью обеспечить требуемую теплоустойчивость внутренней среды помещений при минимальном потреблении энергоресурсов на их отопление и кондиционирование. Отдельное внимание уделено перспективам современного панельного домостроения, среди которых: увеличение высотности, свободная планировка, интересная архитектура зданий и др. Всё это позволило сделать вывод, что в будущем панельные дома также будут пользоваться популярностью.

**Ключевые слова:** жилищное строительство, крупнопанельное домостроение, типовые серии домов, утеплители, теплоизоляционные материалы, теплотехнический расчет, керамзитобетонные навесные панели, планировка квартир, ограждающие конструкции.

**Ссылка для цитирования:** Ефимченко М.И. Проблемы и перспективы современного панельного домостроения // Инженерные исследования. 2022. №4 (9). С. 17-25. EDN: WTAXKL

## PROBLEMS AND PROSPECTS OF MODERN PANEL HOUSING CONSTRUCTION

**M.I. Efimchenko**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** Typical panel building allows you to build buildings faster and cheaper. However, panel houses built back in the Soviet period have a number of disadvantages: poor sound insulation, low level of thermal insulation, destruction of panel joints, the impossibility of changing the layout, etc. The technologies of modern panel housing construction have already solved many of these problems. The article gives examples of typical series of panel houses of the Soviet period, describes the advantages and disadvantages of panel houses, carried out a thermal calculation of the enclosing wall structures of houses of the P-46 type series. Based on additional calculations, recommendations are given on the optimal location of the heat-insulating material in the building envelope in order to ensure the required thermal stability of the internal environment of the premises with minimal energy consumption for heating and air conditioning. Special attention is paid to the prospects of modern panel housing construction, including: an increase in height, free planning, interesting architecture of buildings, etc. All this led to the conclusion that panel houses will also be popular in the future.

**Keywords:** housing construction, large-panel housing construction, standard series of houses, heaters, heat-insulating materials, heat engineering calculation, expanded clay concrete hinged panels, apartment layout, enclosing structures.

**For citation:** Efimchenko M.I. Problems and prospects of modern panel housing construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No.4 (9). Pp. 17-25. EDN: WTAXKL

## ВВЕДЕНИЕ

Панельное домостроение, появившееся в середине прошлого века, до сих пор является крайне востребованным. Строители того времени возвели большое количество панельных домов различных типовых серий.

Панельные дома обладают рядом преимуществ, способствующим широкому распространению данного вида жилья:

1. Сроки строительства - панельные дома возводятся достаточно быстро (6-12 месяцев); сроки зависят от этажности и площади здания (рис. 1).
2. Внутренняя отделка, которая не требует много затрат, так как стены достаточно ровные.
3. Низкая стоимость квартир в панельных домах за счёт дешевизны материалов.



а)



б)

**Рис. 1.** Ход строительства ЖК «Ручьи» в Санкт-Петербурге<sup>1</sup>: а – Июль 2021; б – Март 2022  
**Fig. 1.** The progress of the construction of the residential complex "Streams" in St. Petersburg:  
а – 2021, July; б – 2022, March

Панельные дома имеют и ряд недостатков, которые можно объединить в следующие группы [1]:

1. Конструктивные решения: низкий уровень тепло- и звукоизоляции, плохая герметизация швов и другие проблемы.

2. Объемно-планировочные решения: типовые планировки, помещения небольшой площади, низкая высота потолков, отсутствие возможности перепланировки, в виду того, что панели являются несущими конструкциями.

3. Архитектурные решения: отсутствие ярких деталей в оформлении фасадов зданий, грубые широкие швы между панелями, снижающие общее впечатление и влияющие на тепловую защиту здания.

Несмотря на существующие недостатки технология панельного строительства до сих пор применяется застройщиками.

## ПАНЕЛЬНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ СОВЕТСКОГО ПЕРИОДА

Панельные дома советского периода представляли собой жилые дома исключительно типовых серий, которые строились как временные со сроком эксплуатации всего 25 лет. В военные годы жилищное строительство не велось. Ситуация усугублялась тем, что на оккупированных территориях было уничтожено более 50% жилого фонда, что и привело к повсеместному распространению дешёвых и быстрых в возведении панельных домов. Требовалось в короткие сроки и по достаточно низкой стоимости возвести большое количество жилья, из-за чего начали строиться блокированные дома в 2 этажа на 4-8 квартир [2-4].

Первый панельный пятиэтажный дом был построен в Москве в 1948 году. Наиболее распространёнными среди панельных домов являются серии КОПЭ (рис. 2), П-44 (рис. 3), И-155 (рис.4) и П-111М (рис. 5).

<sup>1</sup> Строительная компания ЛСР [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lsr.ru/spb/zhilye-komplekсы/ruchi/hod-stroitelstva/03-2022/> (дата обращения: 24.04.2022)



**Рис. 2.** Панельный дом серии КОПЭ<sup>2</sup>  
**Fig. 2.** Panel house of the KOPE series



**Рис. 3.** Панельный дом серии П-44<sup>2</sup>  
**Fig. 3.** Panel house of the P-44 series



**Рис. 4.** Панельный дом серии И-155<sup>3</sup>  
**Fig. 4.** Panel house of the I-155 series



**Рис. 5.** Панельный дом серии П-111М<sup>2</sup>  
**Fig. 5.** Panel house of the P-111M series

В первых панельных домах типа К7, П-35 применялись крупноразмерные панели, которые были максимально плотными и тонкими для того, чтобы снизить вес и утончить несущие конструкции, что, в свою очередь, повлияло на проблемы со звукоизоляцией. [5, 6].

Воздушный шум возникает в пространстве и, благодаря звуковым волнам, проникает сквозь стены, полы, потолки. Это звучание музыкальных инструментов, телевизора, проигрывателя. В соответствии с СП 51.13330.2011 его уровень не должен превышать 50 дБ.

Ударный шум образуется вследствие механического воздействия на плиту перекрытия любым способом – от шагов людей, передвижения мебели, ремонтных работ. В панельных домах пределом допустимого считается уровень звукового давления в 60 дБ.

В настоящее время ведутся работы по усовершенствованию герметизации межпанельных швов, что частично решает проблему звукоизоляции [7-10].

Существует и еще одна большая проблема – низкая теплоизоляция. В зимнее время межпанельные швы промерзают и стены пропитываются влагой, из-за чего внутри помещений возникают плесень и грибок, а также значительно снижается уровень тепла. Все это неизбежно приводит к необходимости утепления квартир (рис.6).

Положение слоя теплоизоляционного материала относительно наружной поверхности ограждающей конструкции определяется исходя из функционального назначения и режима эксплуатации зданий и помещений [11-16]. При этом должна обеспечиваться теплоустойчивость при минимальном потреблении энергоресурсов на их отопление и кондиционирование.

На основании методики, представленной в работе [17, 18], проведем теплотехнический расчет и определим положение слоя теплоизоляционного материала, которое обеспечит максимальную средневзвешенную температуру ограждающих стеновых конструкций.

<sup>2</sup> Агентство недвижимости Циан [Электронный ресурс]. – URL: <https://spb.cian.ru/stati-8-samyh-udachnyh-serij-tipovyh-domov-gde-zhit-horosho-311759/> (дата обращения: 24.04.2022)

<sup>3</sup> Серии домов. И-155 [Электронный ресурс]. – URL: [http://tipdoma.ru/series\\_i-155.html](http://tipdoma.ru/series_i-155.html) (дата обращения: 24.04.2022)



a)



b)

**Рис. 6.** Способы утепления квартир в панельных домах: а – внешний<sup>4</sup>; б – внутренний<sup>5</sup>  
**Fig. 6.** Methods of insulation of apartments in panel houses: a – external; b – internal

Теплотехнический расчет проведем для панельных домов типовой серии П-46, основные характеристики которой представлены в табл.1.

Таблица 1. Основные характеристики домов типовой серии П-46<sup>6</sup>  
 Table 1. The main characteristics of houses of the P-46 type series

№ п/п	Показатель	Значение
1	Тип дома	Панельный
2	Количество этажей	12, 14 этажей, технический этаж в уровне чердака и подвал под всем зданием
3	Высота жилых помещений	2,64 м
4	Наружные стены	Керамзитобетонные навесные панели толщиной 340 мм
5	Внутренние стены	Железобетонные панели толщиной 140, 180 мм.
6	Междуэтажные перекрытия	Ж/б панели толщиной 140 мм, опирающиеся по контуру размером на комнату
7	Перегородки	Гипсобетонные панели толщиной 80 мм
8	Лестницы	Сборные ж/б из маршей и площадок

Основные теплотехнические характеристики внешних стен домов серии П-46 приведены в табл.2.

Таблица 2. Теплотехнические характеристики внешних стен домов серии П-46  
 Table 2. Thermal characteristics of the outer walls of houses of the P-46 series

Номер слоя	Материал	Толщина слоя (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	Плотность (ρ), кг/м <sup>3</sup>
1	Керамзитобетонные навесные панели	0,34	0,45	700 - 1200

Используя приведенную в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» методику, теплотехнические характеристики материала стеновой конструкции домов серии П-46, а также климатические условия Санкт-Петербурга, проведем теплотехнические расчет ограждающих конструкций.

Определим термическое сопротивление керамзитобетонных навесных панелей:

$$R_0 = R_{int} + R_{ext} + \sum R_i = \frac{1}{23} + \frac{1}{8,7} + \frac{0,34}{0,45} = 0,91 \frac{М^2 \cdot ^\circ C}{Вт}, \quad (1)$$

<sup>4</sup> Утепление фасадов панельных домов [Электронный ресурс]. – URL: <https://idei.club/47513-uteplenie-fasadov-panelnyh-domov-44-foto.html> (дата обращения: 19.04.2022)

<sup>5</sup> Как утеплить угловую квартиру изнутри [Электронный ресурс]. – URL: <http://xxl-teplo.ru/kak-uteplit-uglovuyu-kvartiru-iznutr/> (дата обращения: 19.04.2022)

<sup>6</sup> Серия П-46 - планировка квартир. Всё о серии [Электронный ресурс]. – URL: <https://resog.ru/seriya-p-46-informaciya-dlya-soglasovaniya-pereplanojki/> (дата обращения: 17.04.2022)

где  $R_{int}$  - сопротивление теплообмену на внутренней поверхности стены,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ,  
 $R_{ext}$  - сопротивление теплообмену на наружной поверхности стены,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ,  
 $\Sigma R_i$  - сумма термических сопротивлений всех слоев ограждения,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{int}$  - коэффициент теплопередачи внутренней поверхности стены,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}}, \quad (3)$$

где  $\alpha_{ext}$  - коэффициент теплопередачи внешней поверхности стены,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Определим минимально допустимое термическое сопротивление ограждающей конструкции.

Градусо-сутки отопительного периода по СНиП 23-02-2003 определяются по формуле как:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = (20 + 1,8) \cdot 220 = 4796 \text{ °C} \cdot \text{сут}$$

Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче следует принимать не менее нормируемых значений, определяемых по СНиП 23-02-2003 в зависимости от градусо-суток района строительства:

$$R_{req} = a \cdot D_d + b = 0,00035 \cdot 4796 + 1,4 = 3,0786 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

где:  $D_d$  - градусо-сутки отопительного периода в Санкт-Петербурге,  
 $a$  и  $b$  - коэффициенты, принимаемые по СНиП 23-02-2003.

Теплотехнический расчет показал, что термическое сопротивление стены  $R_0=0,91$   $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , что гораздо ниже требуемого ( $R_{req}=3,08$   $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ). В связи с выявленным несоответствием необходимо дополнительно утеплить ограждающие стеновые конструкции здания.

Определим минимально допустимое (требуемое) термическое сопротивление теплоизоляционного материала:

$$R_{targ} = R_{req} - R_0 = 3,08 - 0,91 = 2,17 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \quad (4)$$

Так как внешний слой ограждающей конструкции (утеплитель) будет оштукатурен, сделаем корректировку величины, рассчитанной по формуле (4). При толщине слоя цементно-песчаного раствора 0,02 м ( $\lambda=0,93$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ) минимально допустимое (требуемое) термическое сопротивление теплоизоляционного материала составит 2,19  $(\text{м} \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

На рынке строительных материалов доступно множество вариантов утеплителей торговых марок: Knauf, Isoroc, Isover, Rockwool, Paroc, Ursa, Эковер, Пеноплэкс, Технониколь, Baswool и др. Термическое сопротивление представленных на рынке образцов варьируется от 0,03 до 0,044  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ . На примере утеплителя, имеющего среднее из более 150 рассмотренных в [17, 19] вариантов утеплителей значение коэффициента теплопроводности ( $\lambda=0,037$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ) определим толщину утеплителя, которая обеспечит требуемое термическое сопротивление стены (5):

$$\delta_{yt}^{req} = \lambda_{yt} \cdot R_{targ} = 0,037 \cdot 2,19 = 0,081 \text{ м} = 81 \text{ мм} \quad (5)$$

Большинство утеплителей выпускается в виде плит с толщиной 50 или 100 мм. По формуле (6) определим термическое сопротивление стены из условия, что толщина утеплителя будет равна 100 мм - толщина, максимально близкая к рассчитанной по формуле (5):

$$R_0^{yt} = R_{int} + R_{ext} + \sum R_i^{yt} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,34}{0,45} + \frac{0,1}{0,037} + \frac{0,02}{0,93} = 3,62 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \quad (6)$$

Из полученного результата видно, что  $R_0=3,62$   $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт} > R_{req}=3,08$   $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , что превышает минимально допустимые нормы и обеспечит комфортное проживание людей.

Для определения расположения слоя утеплителя, рассмотрим распределение температур по сечению ограждающей конструкции при температуре наружного воздуха  $t_{ext} = -26 \text{ °C}$  для двух вариантов [19]:

– 1 вариант – слой утеплителя находится со стороны наружной среды, а несущий слой – с внутренней стороны;

– 2 вариант – слой утеплителя находится со стороны внутренней среды, а несущий слой – с наружной стороны ограждающей конструкции.

Определим распределение температур в сечении конструкции для двух вариантов положения слоя утеплителя.

Температура на границе  $n$ -ного слоя ограждающей конструкции  $\tau_n$ , с его «теплой» стороны, определяется по формуле (7):

$$\tau_n = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot r \cdot (R_B + R_1 + \dots + R_n) \quad (7)$$

где:  $R_1, \dots, R_n$  – сопротивление теплопередачи  $n$ -ного слоя ограждающей конструкции.

Подставим в (7) исходные данные и полученные расчетные значения. Результаты расчетов представлены в табл.3 – табл.5 и на рис.7.

Таблица 3. Распределение температур в ограждающей конструкции  
 Table 3. Temperature distribution in the building envelope

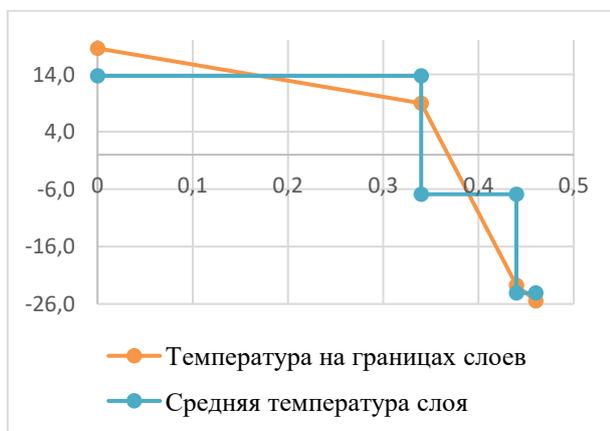
Обозначение	Температура на границах слоев	
	утеплитель снаружи	утеплитель внутри
$\tau_{\text{int}}$	18,5	18,5
$\tau_1$	8,97	15,8
$\tau_2$	-22,72	-15,9
$\tau_3$	-25,5	-25,4
Средняя температура конструкции	7,6	-14,5

Таблица 4. Теплофизические характеристики ограждающей конструкции (утеплитель снаружи)  
 Table 4. Thermophysical characteristics of the building envelope (outside insulation)

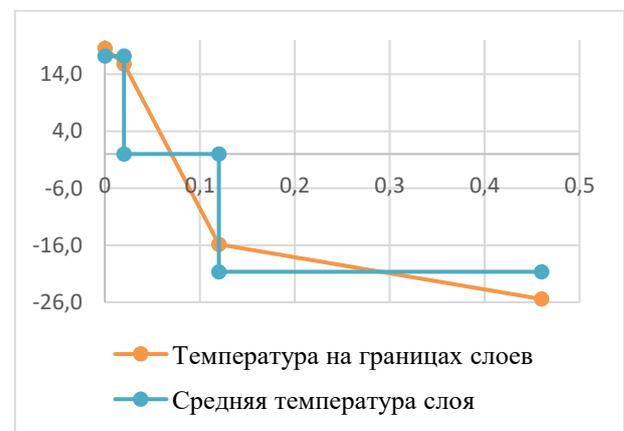
Расположение слоев	$\lambda$	$\delta$	R	Средняя температура слоя
Керамзитобетонные навесные панели	0,45	0,34	0,756	13,754
Утеплитель	0,04	0,10	2,500	-6,879
Цементно-песчаный раствор	0,09	0,02	0,215	-24,086

Таблица 5. Теплофизические характеристики ограждающей конструкции (утеплитель внутри)  
 Table 5. Thermophysical characteristics of the enclosing structure (insulation inside)

Расположение слоев	$\lambda$	$\delta$	R	Средняя температура слоя
Цементно-песчаный раствор	0,09	0,02	0,215	17,180
Утеплитель	0,04	0,10	2,500	-0,027
Керамзитобетонные навесные панели	0,45	0,34	0,756	-20,660



а)



б)

Рис. 7. Распределение температур в ограждающей конструкции при различных вариантах положения слоя утеплителя: а – утеплитель снаружи; б – утеплитель внутри

Fig. 7. Temperature distribution in the building envelope for various options for the position of the insulation layer: a - insulation from the outside; b - insulation inside

В первом варианте (слой утеплителя расположен снаружи кладки) средняя температура ограждающей конструкции равна  $+7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, несущий слой всегда будет находиться в области положительных температур. Это уменьшает размер температурных деформаций в кладке и, следовательно, вероятность образования деформационных напряжений и трещин.

Во втором варианте, когда слой утеплителя расположен со стороны внутренней среды здания, температура в кладке в зимнее время будет находиться в области отрицательных температур (средняя температура ограждающей конструкции составляет  $-14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). При резких изменениях температуры воздуха в годовом исчислении, а также при резкой смене погодных условий кладка будет подвергаться воздействию больших температурных колебаний, что может привести к появлению в ней трещин от температурных деформаций.

### СОВРЕМЕННОЕ ПАНЕЛЬНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ

Несмотря на, казалось бы, угасающий интерес, в настоящее время панельное домостроение активно применяется застройщиками.

Современные застройщики оптимизируют блок-секции, улучшают стыки между ними и применяют современные теплоизоляционные материалы обеспечения теплоустойчивости ограждающих стеновых конструкций. Был увеличен шаг несущих стен, изменены планировки (рис. 8). Из основных изменений: был увеличен размер кухни, увеличена высота потолков до 3 м и др.



**Рис. 8.** Планировки квартир панельных домов: а – Дом серии К-7<sup>7</sup>; б – ЖК «Ручьи» в Санкт-Петербурге<sup>8</sup>  
**Fig. 8.** Layouts of apartments of panel houses: а – K-7 Series House; б – Residential complex «Streams» in St. Petersburg

Также преимуществом современных панельных домов является улучшенная теплоизоляция. Застройщики используют технологию бесшовного домостроения, нанося теплоизоляционный слой из материалов с пониженным коэффициентом теплопроводности поверх железобетонных панелей. Это позволяет сделать фасады более устойчивыми к воздействию внешних факторов и увеличить срок их эксплуатации [20].

<sup>7</sup> Типовой жилой дом серии К-7 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.kvmet.ru/information/homes\\_series/k\\_7/](https://www.kvmet.ru/information/homes_series/k_7/) (дата обращения: 20.04.2022)

<sup>8</sup> Строительная компания ЛСР. Жилой комплекс Ручьи, очередь 1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lsr.ru/spb/zhilye-kompleksy/ruchi-ochered-1/> (дата обращения: 20.04.2022)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Типовая панельная застройка позволяет возводить здания быстрее и дешевле. В современных панельных домах учитываются ошибки домостроения советского периода, благодаря чему улучшается звукоизоляция, уменьшается теплопроводность стен и увеличивается срок эксплуатации таких домов.

В работе был произведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций домов серии П-46, на основании чего принималось решение о необходимости повышения энергоэффективности зданий. С помощью расчетов было показано, что положение слоя утеплителя в ограждающей конструкции в общем случае не влияет на значения температур внутренней и наружной поверхности. Несмотря на это в конструктивном отношении слой утеплителя целесообразно располагать с внешней стороны ограждающих конструкций жилых домов и других зданий, к помещениям которых предъявляется требования поддержания стабильной положительной температуры в течение всего времени их эксплуатации.

В настоящее время панельные дома строятся не так часто, в основном строятся монолитные, но некоторые застройщики продолжают возводить панельные дома по новым технологиям, учитывая ошибки советского периода. Среди перспектив современного панельного домостроения можно выделить [21]: увеличение высоты панельных домов, свободная планировка, интересный в архитектурном плане облик зданий, особое проектирование первого этажа (с учетом востребованности аренды помещений под офисы или магазины), наличие сквозных вестибюлей и др. Всё это позволяет сделать вывод, что в будущем панельные дома также будут пользоваться популярностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черная О. А. Современные тенденции проектирования домов в панельном строительстве // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18-20 мая 2022 года. Том Часть 2. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 313-318. EDN OPPLBZ.
2. Николаев В.Н., Степанова В.Ф. Новый уровень панельного домостроения: композитные диагональные гибкие связи и петли монтажные для трехслойных бетонных панелей // Жилищное строительство. 2019. № 10. С. 14-20.
3. Гринкруг Н.В., Михайлова Т.М. Современные тенденции в панельном домостроении // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 5(53). С. 110-115. DOI 10.17084/20764359-2021-53-110. EDN HPIELX.
4. Смолий В.А., Косарев А.С., Яценко Е.А. Эффективность применения энергосберегающих трехслойных панелей для жилых и общественных объектов каркасно-панельного домостроения // Центральный научный вестник. 2018. Т. 3. № 15-16(56-57). С. 47-50. EDN XYOFLV.
5. Коршунов А.Н. Проектная «Универсальная система крупнопанельного домостроения» для строительства в Москве. Панельные дома могут быть как социальным, так и элитным жильем // Жилищное строительство. 2017. №5. С. 11-15. EDN YRHGSH.
6. Шмелев Г.Д., Фоменко Н.А., Гаврилова В.Н. Сравнительный анализ современных систем возведения зданий гражданского назначения // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 3(6). С. 9-19. EDN XVRESD.
7. Аристаров А.С. Развитие крупнопанельного домостроения в Петрозаводске // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 27. С. 1028-1033. EDN WPHNGE.
8. Леонтьев С.В., Власов Р. А. Современные перспективы развития технологии производства крупноформатных стеновых панелей // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 2. С. 390-395. EDN XPHJN.
9. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С., Черник В.И. Расчет параметров надежности стыковых соединений сборных железобетонных конструкций с использованием метода конечных элементов // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 148-152.
10. Кириллова А.Н., Жихарев Д.Ф., Бижанов С.А. Реновационные модели в процессе жизненного цикла существующей жилой застройки // Недвижимость: экономика, управление. 2018. № 4. С. 13-17.
11. Zemitis J., Terekh M. Management of energy efficient measures by buildings' thermorenovation // International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) electronic edition. MATEC Web of Conferences. 2018. P. 06003. DOI 10.1051/mateconf/201824506003. EDN GBUPQB.
12. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure // Magazine of Civil Engineering. 2016. No.8(68). P. 86-91. DOI 10.5862/MCE.68.9. EDN YMDLBD.
13. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture transfer in building enclosing structures // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 247. С. 257-266. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1\_26 EDN: HSLOOO

14. Zemitis J., Terekh M. Optimization of the level of thermal insulation of enclosing structures of civil buildings // International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) electronic edition. MATEC Web of Conferences. 2018. P. 06002. DOI 10.1051/mateconf/201824506002. EDN AIYBQJ.

15. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Graphical method for determination of maximum wetting plane position in enclosing structures of buildings // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019». 2020. С. 022046. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022046 EDN: МССАНН

16. Заборова Д.Д., Куколев М.И., Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель энергетической эффективности слоистых строительных ограждений // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2016. № 4(254). С. 28-33. EDN VMKLDТ.

17. Gamayunova O., Petrichenko M., Mottaeva A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building // Journal of Physics: Conference Series, Voronezh, 10-13 December 2019. Voronezh, 2020. P. 012066. DOI 10.1088/1742-6596/1614/1/012066. EDN PCBORQ.

18. Гамаюнова О. С. Выбор оптимального варианта утепления жилых домов в различных климатических зонах // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 16(68). С. 89-97. EDN ANXMJJ.

19. Гамаюнова О.С. Методика обоснования теплотехнических характеристик стеновых конструкций жилых зданий: специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2021. 166 с. EDN CJHWXK.

20. Бурыкин А.С., Кадушкин Ю.В. Каркасное и каркасно-панельное домостроение в условиях Северо-Западного региона РФ // Вестник Студенческого научного общества. 2018. Т. 9. № 2. С. 126-128.

21. Шелюто Т.Ю., Поль И.А., Шестов И.О. Современное панельное домостроение: прошлое, настоящее, будущее // Синергия Наук. 2017. № 10. С. 550-556. EDN YLPAZT.

## ОБ АВТОРАХ

**Марк Игоревич Ефимченко** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: markyefimchenko@gmail.com

## ABOUT THE AUTHORS

**Mark I. Efimchenko** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: markyefimchenko@gmail.com