

УДК 691

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ CLT-ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ЖИЛОЙ МНОГОЭТАЖНОЙ ЗАСТРОЙКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Д.И. Арзиманов, З.А. Гаевская

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

**Аннотация.** Технический прогресс строительной отрасли 21-го века привел к использованию в конструкциях зданий новых материалов. Особое внимание научного сообщества и девелопмента сосредоточено на потенциале дерева, ввиду его природного происхождения, доступности, возобновляемости, энергоэффективности и относительной дешевизне. Эксперименты развитых стран по возведению и эксплуатации многоэтажных жилых зданий из CLT-панелей перерастают в устойчивую практику, а российский рынок девелопмента начинает осваивать для себя новую отрасль. В статье рассмотрены нормативно-правовые предпосылки для использования ДПК в многоквартирном жилом строительстве. Проведенный в статье сравнительный анализ теплотехнических характеристик двух стеновых конструкций из CLT (ДПК) и железобетона в климатических условиях г. Санкт-Петербург доказал преимущество использования древесины перекрестно-клееной с точки зрения расхода тепловой энергии и требуемой толщины утеплителя для стен типа СФТК. Статья актуальна для застройщиков и проектировщиков жилых многоэтажных зданий ленинградской области.

**Ключевые слова:** ДПК, CLT, девелопмент, сравнительный анализ, жилые здания, многоквартирные дома, несущие конструкции, перекрестно-клееные панели, КДК, дерево, теплотехнический расчет

**Ссылка для цитирования:** Арзиманов Д.И., Гаевская З.А. Сравнительный анализ энергоэффективности CLT-панелей для жилой многоэтажной застройки Санкт-Петербурга // Инженерные исследования. 2023. №2 (12). С. 11-18. EDN: HGAQIZ

## COMPARATIVE ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF CLT-PANELS FOR RESIDENTIAL HIGH-RISE BUILDINGS IN ST. PETERSBURG

D.I. Arzimanov, Z.A. Gaevskaia

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

**Abstract.** Technical progress in the construction industry of the 21st century has led to the use of new materials in building structures. Particular attention of the scientific community and the development industry is focused on the potential of wood, due to its natural origin, availability, renewability, energy efficiency and relative cheapness. Experiments of developed countries on the construction and operation of multi-storey residential buildings made of CLT-panels are growing into a sustainable practice, and the Russian development market is beginning to master a new industry for itself. In this article regulatory and legal prerequisites for the use of CLT in multifamily residential construction are considered. The comparative analysis of the thermal characteristics of two wall structures made of CLT and reinforced concrete in the climatic conditions of St. Petersburg proved the advantage of using cross-laminated timber in terms of heat energy consumption and the required thickness of insulation for walls of the ETICS type. The article is relevant for developers and designers of residential multi-storey buildings in the Leningrad region.

**Keywords:** CLT, X-Lam, development, comparative analysis, residential buildings, multi-family buildings, load-bearing structures, cross-laminated timber, wood, thermal calculation.

**For citation:** Arzimanov D.I., Gaevskaia Z.A. Comparative energy efficiency analysis of CLT-panels for residential high-rise buildings in St. Petersburg // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.2 (12). Pp. 11-18. EDN: HGAQIZ

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно ГОСТ Р 56706-2022, древесина перекрестно-клееная (ДПК от англ. CLT; Cross-Laminated Timber) – это изготовленная заводским способом деревянная массивная плита, состоящая не менее чем из трех ортогонально склеенных слоев из цельных или сращенных по длине на зубчатое соединение досок и предназначенная для применения в несущих и ограждающих строительных конструкциях (рис. 1).

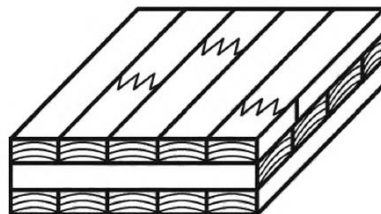


Рис.1. Древесина перекрестно-клееная<sup>1</sup>  
Fig.1. Cross-laminated wood

Сегодня в России производят панели шириной до 3,5 и длиной до 16 м, при толщине до 320 мм. Количество слоев варьируется от 3-х до 8-ми. Плотность такой плиты составляет  $500\text{кг/м}^3$ , что в 4 раза легче бетона класса В25<sup>2</sup>.

Древесина перекрестно-клееная (ДПК) за последние 30 лет практики хорошо зарекомендовала себя в европейском жилом строительстве [1]. Благодаря природному происхождению, сравнительно низкому расходу энергии на производство материал вписался в зеленую повестку [2]. Как показывает исследование [3], при производстве CLT-панелей используется на 28% энергии меньше, чем для железобетона. Кроме того, он демонстрирует конкурентные, в сравнении с железобетоном, результаты по восприятию нагрузок и сопротивлению деформациям, что позволяет применять плиты в многоэтажных зданиях [4].

В России ДПК – это новый, малоизученный и перспективный строительный материал, внедрение которого в многоэтажный девелопмент во многом зависит от совершенствования нормативно-правовой базы [5]. Актуальной инженерной задачей в связи с зеленой повесткой является повышение энергоэффективности ограждающих конструкций [6]. Известно, что зависимость между количеством теплотерь ( $Q$ ) через  $1\text{ м}^2$  ограждающей конструкции и значением приведенного сопротивления теплопередаче ( $R_0^{\text{пр}}$ ) выражается гиперболической функцией [7]. Т.к. толщина несущего слоя в рамках задачи является константой, то переменной будет толщина ( $\delta$ ) утеплителя. В качестве утеплителя выбраны плиты минераловатные из каменного волокна теплопроводностью по условиям «Б»  $\lambda=0,048\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$  в связи противопожарными требованиями к ДПК [8].

Цель исследования – проведение сравнительного анализа влияния значений приведенного сопротивления теплопередаче ( $R_0^{\text{пр}}$ ) стеновых ограждающих конструкций типа СФТК на основе ДПК и железобетона на толщину ( $\delta$ ) минераловатного утеплителя.

Задачи исследования:

1. Изучение нормативно-правовых предпосылок строительства многоэтажных жилых зданий с применением ДПК в России.
2. Выявление особенностей строения стеновых ограждающих конструкций типа СФТК на основе ДПК и железобетона.
3. Установление графической зависимости между значениями потерь тепловой энергии на отопление ( $Q$ ) и толщиной минераловатного утеплителя ( $\delta$ ).
4. Определение значения перерасхода утеплителя по толщине.
5. Сравнение разницы в затратах энергии на отопление зданий ( $Q$ ) с ограждающими конструкциями двух вариантов с определением процента экономии.
6. Анализ зависимости теплотерь от изменения толщины утеплителя с целью определения наиболее энергоэффективного варианта.

<sup>1</sup> ГОСТ Р 56706-2022 Плиты из перекрестноклееной древесины. Общие технические условия

<sup>2</sup> Каталог типовых архитектурных узлов с применением перекрестно-клееной древесины (CLT) [Электронный ресурс]. – URL: <https://segezha-group.com/product/clt-panel/?ysclid=lm05tdwruf782794325#section-documents> (дата обращения: 01.09.2023).

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

В стимуляции развития жилищного CLT-девелопмента в РФ играют роль несколько категорий документов.

Первая категория – общестроительная. Подписанный 7 мая 2018 г. Указ Президента РФ № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»<sup>3</sup> предполагает увеличить объем жилищного строительства не менее, чем до 120 млн. квадратных метров в год. Кроме того, в нем упоминается модернизация строительной отрасли и повышение качества индустриального жилищного строительства, а также введение новых технологий. Совершенствование нормативно-правовой базы – один из ключевых пунктов. Документ предполагает также сокращение вредных выбросов в атмосферу не менее чем на 20 процентов совокупного объема.

Вторая категория – нормативно-технологическая. Первый документ - СП 452.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций»<sup>4</sup>. Пункт 5.6 допускает применение ДПК в качестве несущих конструкций в жилых зданиях высотой до 28 м включительно. Пункт 7.5 посвящен остальным правилам применения ДПК.

Далее, ГОСТ Р 56706-2022, ранее изданный в 2015-ом закрепил официальное название древесины перекрестно-клееной ДПК взамен CLT, а также содержит требования для соблюдения при разработке технических условий и стандартов плит.

В начале 2022 года вышла редакция №3 к СП 64.13330.2017<sup>5</sup>, дополненная информацией про ДПК. Документ ссылается на СП452.1325800.2019 и допускает использование деревянных конструкций в зданиях до 28 м высотой.

Третья категория – энергоэффективная. Ключевое значение имеет Указ Президента РФ от 4 ноября 2020 года № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов»<sup>6</sup>, согласно которому к 2030 году необходимо сократить выбросы CO<sup>2</sup> до 70 процентов. После было подготовлено Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. №3052-р «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года»<sup>7</sup>. В [9] сказано необходимости строительства с 2030 г. новых домов с классом энергетической эффективности не ниже В, а с 2035 г. не ниже А, как о необходимой мере достижения целей Стратегии. Согласно Приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ №399 от 6 июня 2016 года<sup>8</sup>, классу А соответствует здание с величиной отклонения значения фактического удельного расхода энергетических ресурсов от базового уровня  $\delta$  от -40 до -50%.

## ВЫБОР ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Для исследования было выбрано несколько вариантов стеновых конструкций из ДПК и железобетона. ДПК - сравнительно молодой на российском рынке материал, поэтому был рассмотрен опыт компании ООО «Сокол СиЭлТи», дочернего предприятия ПАО «Сегежа Групп». В каталоге типовых архитектурных узлов и деталей с применением перекрестно-клееной древесины (CLT) представлено несколько конструкций наружных стен. Каждый тип стен состоит из 4-х функциональных слоев: базового (основания), энергоэффективного, наружного декоративно-защитного и внутренней отделки. В рамках исследования, рассмотрены следующие варианты: СФТК с наружными штукатурными слоями на основе ДПК (рис. 2) и ж/б (рис. 3)

<sup>3</sup> Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения: 01.09.2023).

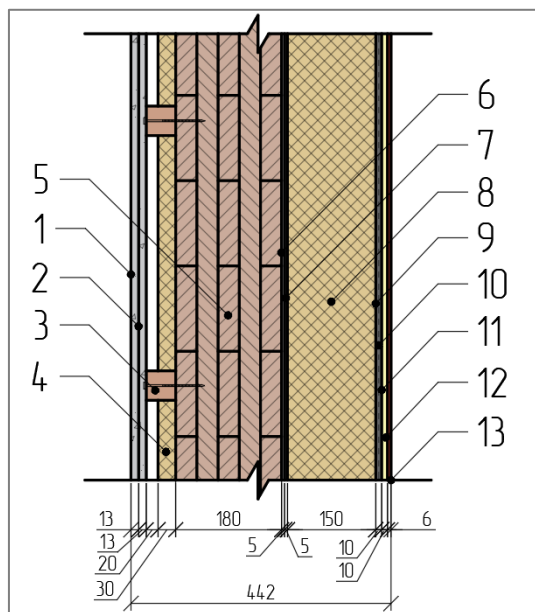
<sup>4</sup> СП 452.1325800.2019 Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования

<sup>5</sup> Изменение №3 к СП64.13330.2017 «СНИП II-25-80 Деревянные конструкции»

<sup>6</sup> Указ Президента Российской Федерации от 04.11.2020 г. № 666 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45990> (дата обращения: 01.09.2023)

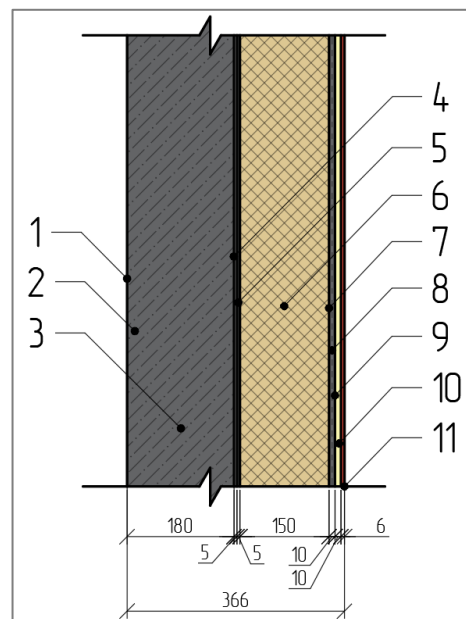
<sup>7</sup> Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. №3052-р [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022?ysclid=lm08bh33wi200111706> (дата обращения: 01.09.2023).

<sup>8</sup> Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 06.06.2016 № 399/пр "Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов" [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201608100003?ysclid=lm08emo9nj985416797> (дата обращения: 01.09.2023).



**Рис. 2.** СФТК на ДПК: 1 – штукатурка; 2 – ГКЛЮ два слоя; 3 – брусок 50x50; 4 – минеральная вата; 5 – ДПК пятислойная; 6 – пароизоляция; 7 – клеевая смесь; 8 – минераловатный утеплитель; 9 – штукатурно-клеевая смесь; 10 – фасадная стеклосетка; 11 – адгезионный грунт; 12 – декоративная штукатурка; 13 – краска. Автор: Д.И. Арзиманов

**Fig. 2.** ETICS with CLT: 1 - plaster; 2 - Fire Resistant Drywall two layers; 3 - bar 50x50; 4 - mineral wool; 5 - five-layered CLT; 6 - vapor barrier; 7 - glue mixture; 8 - mineral wool insulation; 9 - plaster and glue mixture; 10 - facade glass mesh; 11 - adhesive primer; 12 - decorative plaster; 13 - paint. Author: D.I. Arzimanov



**Рис. 3.** СФТК на ж/б: 1 – краска; 2 – штукатурка; 3 – железобетон; 4 – пароизоляция; 5 – клеевая смесь; 6 – минераловатный утеплитель; 7 – штукатурно-клеевая смесь; 8 – фасадная стеклосетка; 9 – адгезионный грунт; 10 – декоративная штукатурка; 11 – краска. Автор: Д.И. Арзиманов

**Fig. 3.** ETICS on reinforced concrete: 1 - paint; 2 - plaster; 3 - reinforced concrete; 4 - vapor barrier; 5 - adhesive mixture; 6 - mineral wool insulation; 7 - plaster-adhesive mixture; 8 - facade glass mesh; 9 - adhesive primer; 10 - decorative plaster; 11 - paint. Author: D.I. Arzimanov

Т.к. необходимо обеспечить нормативное время для пожарной эвакуации, стена на основе ДПК обшивается дополнительно изнутри слоем каменной ваты и двумя листами огнестойкого гипсокартона [10].

### ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Для климатических условий Санкт-Петербурга определяется значение градусо-суток отопительного периода,  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ , определяют по формуле (1):

$$ГСОП = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{от}}$ ,  $Z_{\text{от}}$  - средняя температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ , и продолжительность, сут./год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более  $8^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания,  $^{\circ}\text{C}$ , принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий, указанных в табл.3 СП 50.13330.2012 (по поз. 1 – по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале  $20-22^{\circ}\text{C}$ )).

$$ГСОП = (20 - (-1,2)) \cdot 211 = 4473,2 \frac{^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}}{\text{год}},$$

Далее, определяется требуемое сопротивление теплопередаче  $R_0^{mp}$  по формуле (2):

$$R_0^{mp} = a \cdot ГСОП + b \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, значение которых следует принимать по данным таблицы 3 СП50.13330.2012 для соответствующих групп зданий.

$$R_0^{mp} = 0,00035 \cdot 4473,2 + 1,4 = 2,96562 \frac{\text{M}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}},$$

Затем, нормированное значение приведенного сопротивления теплопередаче  $R_0^{норм}$  по формуле (3):

$$R_0^{норм} = R_0^{mp} \cdot m_p, \quad (3)$$

где  $m_p$  - коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете принимается равным 1.

$$R_0^{норм} = R_0^{mp} = 2,96562 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bm}$$

Характеристики ограждающей конструкции типа СФТК на ДПК представлены в табл.1.

**Таблица 1.** Теплотехнические характеристики ограждающей конструкции типа СФТК на ДПК  
**Table 1.** Thermal characteristics of the ETICS type envelope with CLT

Номер п/п	Материал	Толщина слоя ( $\delta$ ), м	Коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ), Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ )
1	Плиты минераловатные из каменного волокна	?	?
2	Сосна и ель поперек волокон	0,18	0,18
3	Плиты минераловатные из каменного волокна	0,03	0,048
4	Замкнутая воздушная прослойка	0,02	0,14
5	ГКЛО	0,026	0,15

Определяется условное сопротивление теплопередаче  $R_0^{усл}$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ , ограждающей конструкции по формуле (4):

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum R_s + \frac{1}{\alpha_н}, \quad (4)$$

где  $\alpha_н$  коэффициент теплоотдачи наружной поверхностей ограждающей конструкции для условий холодного периода года, Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ ), принимаемый по таблице 6;  $\alpha_в$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 4.  $R_s$  - термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, определяется по формуле (5):

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s}, \quad (5)$$

где  $\delta_s$  – толщина слоя, м;  $\lambda_s$  – теплопроводность материала слоя, Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ ), принимаемая по табл. 8, в зависимости от условий эксплуатации.

$$R_0^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,18}{0,18} + \frac{0,03}{0,048} + \frac{0,02}{0,14} + \frac{0,026}{0,15} + \frac{1}{23} = 2,1 \left( \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bm} \right),$$

Т.к.  $R_0^{усл} < R_0^{норм}$ , то необходимо определить толщину утеплителя для обеспечения минимальных требований теплозащиты (6).

$$\delta_{ym}^{req} = \lambda_{ym} \cdot R_{targ} \quad (6)$$

Минимально допустимое (требуемое) термическое сопротивление теплоизоляционного материала определяется по формуле (7):

$$R_{targ} = R_0^{норм} - R_0^{усл} \quad (7)$$

Требуемая толщина утеплителя для СФТК на ДПК составит:

$$\delta_{ym}^{req} = 0,048 \cdot (2,96562 - 2,1) = 0,041m \approx 0,05m$$

Значение термического сопротивления R для СФТК на ДПК будет равно:

$$R = 2,1 + \frac{0,05}{0,048} = 3,14 \left( \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bm} \right)$$

Таким образом, определена нижняя граница термического сопротивления R для СФТК на ДПК.

Потери тепловой энергии на отопление  $Q_{огр}$ , кВт ч/год через 1  $m^2$  ограждающих конструкций находится по формуле (8):

$$Q = 0,024 \cdot ГСОП \cdot \frac{F}{R} \quad (8)$$

где F – площадь поверхности ограждающей конструкции принимаемая 1 м<sup>2</sup>; ГСОП– то же, что и в (1); R – термическое сопротивление ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт; 0,024 – переводной коэффициент потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции из Вт · сут в кВт · ч (1 сут =24 ч, 1Вт= 0,001кВт, 1Вт · сут = 0,024 кВт · ч).

$$Q = 0,024 \cdot 4473,2 \cdot \frac{1}{3,14} = 34,19 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$$

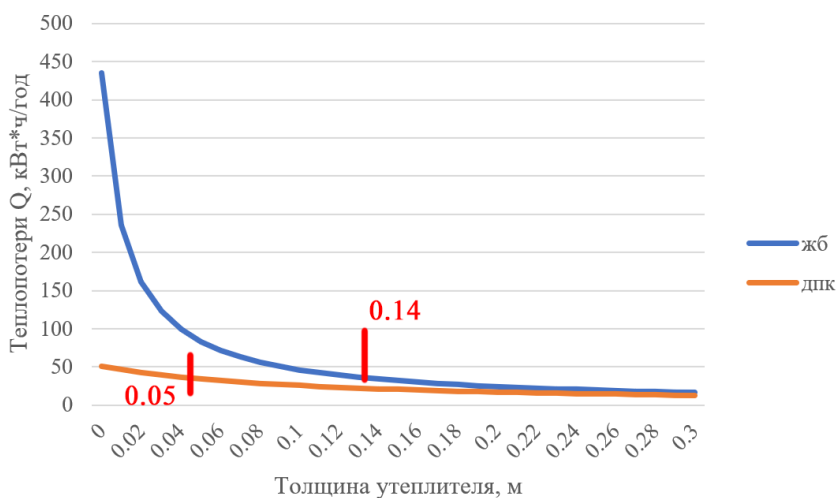
Пользуясь аналогичным методом, определим значение термического сопротивления R для СФТК на железобетоне. Характеристики конструкции представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Теплотехнические характеристики ограждающей конструкции типа СФТК на ж/б  
**Table 2.** Thermal characteristics of the enclosing structure of ETICS type with reinforced concrete

Номер п/п	Материал	Толщина слоя (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
1	Плиты минераловатные из каменного волокна	0,14	0,048
2	Железобетон	0,18	2,04

Нижняя граница термического сопротивления R будет равна 3,16 (м<sup>2</sup>·°C)/Вт при толщине утеплителя 0,14 м. Значение потерь тепловой энергии на отопление Q<sub>жб</sub> равно 33,94 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) .

Рассмотрим зависимость потери тепловой энергии Q от толщины утеплителя δ в обоих вариантах конструкций (рис.4).



**Рис. 4.** График зависимости теплопотери от толщины утеплителя для СФТК на основе ж/б и ДПК.

Автор: Д.И. Арзиманов

**Fig. 4.** Graph of dependence of heat loss on insulation thickness for ETICS based on reinforced concrete and CLT.

Author: D.I. Arzimanov

Как видно из графика, обеспечение минимального требуемого значения термического сопротивления R для стены типа СФТК на основе ДПК при кратности минераловатного утеплителя 0,01 м соответствует значению толщины δ 0,05 м. Для железобетона значение δ равно 0,14 м. Энергоэффективность при одинаковой толщине утеплителя равной 0,05 м определяются формулой (9):

$$Q_0 = Q_{дпк} - Q_{жб} = 34,17 - 83,33 = -49,15 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{год}) \quad (9)$$

Таким образом, затраты энергии на отопление при использовании СФТК на основе древесины перекрестно-клееной получились в 2,43 раза меньше по сравнению с железобетоном.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения исследования установлено, что:

1. Нормативно-правовые предпосылки свидетельствуют о заинтересованности государства и девелопмента в технологии перекрестно-клееных панелей. Существующие нормативные документы позволяют возведение жилых многоэтажных зданий до 28 м высотой.

2. Конструктивно стены типа СФТК на основе ДПК и ж/б отличаются между собой внутренней отделкой. Для ограждающей конструкции на основе ДПК требуется предусматривать защиту от огневого воздействия с внутренней стороны. Слой каменной ваты толщиной в 30 мм не оказывает серьезного влияния на сопротивление теплопередаче.

3. Зависимость потерь тепловой энергии от толщины утеплителя представлена гиперболической функцией для стены типа СФТК с несущим слоем из железобетона. Для стены на основе ДПК функция параболическая. Это свидетельствует о перерасходе утеплителя в случае с железобетоном почти в 3 раза.

4. Для утепления стеновой ограждающей конструкции типа СФТК на основе ДПК требуется на 90 мм меньше минераловатного утеплителя, чем для железобетонного варианта.

5. Разница в энергии, затраченной на отопление здания из ДПК по сравнению с железобетонным, составляет 49,15 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). Это дает экономию в 243%

6. Изменения толщины утеплителя ( $\delta$ ), м 0-100 мм сокращает количество теплотерь для железобетонной стены с 450 до 50 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). Для ДПК при аналогичных условиях теплотери уменьшаются с 50 до 35 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). Это свидетельствует о большей энергоэффективности ДПК.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wieruszewski M., Mazela B. Cross laminated timber (CLT) as an alternative form of Construction Wood // *DRVNA INDUSTRIJA*, 2017. №4 (68). P. 359-367. DOI:10.5552/drind.2017.1728
2. Hansted J.A., Lin N.R., Walbech M.R. Comparative life cycle assessment of cross laminated timber building and concrete building with special focus on biogenic carbon // *Energy & Buildings*, 2021. №254. pp. 111604 DOI:10.1016/j.enbuild.2021.111604
3. Sathre R., Gustavsson L. Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change // *Applied Energy*, № 86, 2009. P. 251-257. DOI:10.1016/j.apenergy.2008.04.007
4. Рогожина А.В. Расчет деформативности CLT-панели перекрытия // *Инженерный вестник Дона*, №6 (90), 2022. С 329-339. EDN: TWGFWN
5. Есауленко И.В. Перспективы развития высотного деревянного домостроения в России на примере зарубежного опыта // *Архитектура, строительство, транспорт*, №4 (98), 2021. С. 17-25. DOI: 10.31660/2782-232X-2021-4-17-25 EDN: OFUFZP
6. Кожин В.А., Кремлёв С. Сущность понятия энергоэффективности и показатели её измерения в жилищном строительстве // *Научный альманах*, № 5-1 (103), 2023. С. 33-37.
7. Горшков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // *Инженерно-строительный журнал*, № 1, 2010. С 9-13 EDN: MZJCQP
8. Serrano E. Översikt och delprojektrapporter i // *School of Technology and Design Reports*. 2009. No. 47. P 1-25. ISBN 978-3-902320-59-9
9. Булгакова И.А. Повышение энергоэффективности в сфере жилищно-коммунального комплекса как путь снижения углеродного следа // *Энергосбережение* №7, 2022. С 1-13. EDN: RHBQFW
10. Teibinger M. Multi-storey Timber Houses in Urban Regions in Austria // *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee*. Geneva. 2010. P 1-10

## ОБ АВТОРАХ

**Давид Ифтихарович Арзиманов** – студент магистратуры. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: arzimanov.david@mail.ru

**Злата Анатольевна Гаевская** – доцент, к.арх. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gaezлата@yandex.ru

#### ABOUT THE AUTHORS

**David I. Arzimanov** – the Master degree student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: [arzimanov.david@mail.ru](mailto:arzimanov.david@mail.ru)

**Zlata A. Gaevskaya** – Associate Professor, architecture PhD. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: [gaezlata@yandex.ru](mailto:gaezlata@yandex.ru)