

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТЕН ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ ИЗ ЦЕЛЬНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Наталия Юрьевна Федяева, Степан Яковлевич Пырин,
Петр Константинович Коваленко

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

© Федяева Н. Ю., Пырин С. Я., Коваленко П. К., 2026

Автор-корреспондент: Н. Ю. Федяева, e-mail: nat_fedyaeva@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Данное исследование направлено на определение наиболее рациональных размеров ограждающих конструкций из древесины с использованием тепловизионных методов обследования. Несмотря на требования нормативных документов, направленных на соблюдение необходимых значений по достижению показателя расчетного сопротивления теплопередачи, на практике толщина стен деревянных домов оказывается менее расчетных показателей. Так, при учете нормативных показателей толщина стен деревянных домов должна составлять более 400 мм при применении, например, древесины сосны. На практике толщина стен таких домов обычно не превышает значения 200–220 мм. При этом в помещениях наблюдаются достаточно комфортные условия для проживания даже в наиболее холодную пятидневку в году. Таким образом, показатели расчетного сопротивления теплопередачи при использовании древесины не всегда сопоставимы с практикой строительства, что предполагает проведение оценки тепловой эффективности конструкций из древесины в зависимости от толщины стен, а также от различных климатических условий. Для проведения обследования использовались различные стеновые элементы домов в диапазоне температур наружного воздуха от –25 °С до 5 °С. С помощью тепловизора Testo 875-2i выполняли обследование ограждающих конструкций 4 деревянных домов в одном из районов Ленинградской области. С целью повышения достоверности результатов съемку вели в условиях отсутствия осадков и солнечной радиации на стеновые элементы деревянных домов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании деревянных домов заводского изготовления, в индивидуальном деревянном домостроении, домостроении в рамках национального проекта «Доступное жилье» и прочее.

Ключевые слова: древесина, деревянный дом, тепловые потери, тепловизор, энергоэффективность стен

Для цитирования: Федяева Н. Ю., Пырин С. Я., Коваленко П. К. Оценка энергоэффективности ограждающих конструкций стен деревянных домов из цельной древесины. // Технология и энергетика. 2026. № 1 (1). С. 36–42. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_36-42

ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF WALL ENVELOPE STRUCTURES IN SOLID TIMBER HOUSES

Natalya Yuryevna Fedyaeva, Stepan Yakovlevich Pyrin, Petr Konstantinovich Kovalenko

St. Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: N. Yu. Fedyaeva, e-mail: nat_fedyaeva@mail.ru

ABSTRACT

This study aims to determine the optimal dimensions of timber envelope structures using thermographic survey method. In practice, the walls of wooden houses are often built thinner than the calculated specifications despite the requirements of regulatory documents mandating compliance with necessary design thermal resistance values. Thus, according to regulatory standards, the wall thickness of wooden houses should exceed 400 mm when using materials such as pine wood. In practice, the wall thickness of such houses typically does not exceed 200–220 mm. At the same time adequately comfortable living conditions are observed indoors even during the coldest five-day period of the year. Therefore, the calculated thermal resistance coefficients for wood are not always comparable with actual construction



practice, which necessitates an evaluation of the thermal efficiency of wooden structures based on wall thickness and various climatic conditions. For the survey, various wall elements of houses were examined within an outdoor air temperature range of -25°C to 5°C . Using a Testo 875-2i thermal imager, an examination of the envelope structures was conducted on four wooden houses located in one of the districts of the Leningrad Region. In order to improve the accuracy of the findings, the thermal survey was carried out when there was no precipitation or direct sunlight on the walls of the wooden houses. The results obtained from this research can be used in the design of factory-made wooden houses, in individual timber house construction, and in housing development under the national "Affordable Housing" initiative, etc.

Keywords: wood, wooden house, heat loss, thermal imager, wall energy efficiency

For citation: Fedyaeva N. Yu., Pyrin S. Ya., Kovalenko P. K. (2026) Assessment of the energy efficiency of wall envelope structures in solid timber houses. *Technology and Energy*, 2026, vol. 1, no. 1, pp. 36–42, DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_36-42

ВВЕДЕНИЕ

В зависимости от назначения тепловизоры могут выполнять следующие основные функции: измерительные, визуальные, наблюдательные и т. д. [1]–[2]. В последнее время, согласно проведенному анализу использования тепловидения, можно сказать, что оно применяется практически во всех областях, а именно в медицине, строительстве, военном деле, в различных видах промышленности, при обслуживании инженерных сетей и электрооборудования и др. [3]–[6]. Тепловидение активно используют и для диагностики различных мест с дефектами в условиях реального времени [7]. Однако недостаточное внимание уделяется такому методу использования тепловидения, как определение размерно-качественных характеристик различных строительных материалов, в частности, обоснованию выбора толщины стеновых элементов домов в зависимости от региона их эксплуатации. Для нашего исследования наибольший интерес представляют стеновые элементы домов, выполненные из древесных материалов.

Толщина стеновых элементов деревянных домов на практике может быть в диапазоне показателей от 150 до 250 мм. Показатель толщины стеновых элементов в первую очередь зависит от региона эксплуатации дома, а также от финансовых возможностей заказчика его строительства. При использовании стеновых элементов с толщиной менее 150 мм может произойти потеря устойчивости всего здания в целом. К толщине стеновых элементов дома также предъявляются требования, которые представлены в нормативных документах, например, в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Согласно этому строительному документу, данные по толщине стеновых элементов являются нерациональными. Например, при требуемом сопротивлении теплопередаче материалов для г. Санкт-Петербурга $3,08 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ расчетная толщина стен для достижения этого показателя из цельной древесины составит более 277 мм, а коэффициент теплопроводности

для древесины сосны поперек волокон будет равен $0,09 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ и выше в зависимости от условий эксплуатации. Следует отметить, что для различных не древесных строительных материалов показатель толщины стеновых элементов также является необоснованно высоким, например, толщина стенового элемента из газобетона свыше 600 мм, из керамического кирпича — свыше 1600 мм. Стоит уточнить, что для выполнения требований СП 50.13330.2012 к тепловой защите зданий из цельного бруса сосны толщина сырья для выпуска стеновых элементов дома должна составлять от 350 до 450 мм, что значительно ограничивает сырьевую базу для производства, а стоимость готового дома будет намного выше. Цельный брус также имеет ряд специфических недостатков, в частности, наличие мест с дефектами и пороками, неравномерное распределение влажности в древесине после сушки, риск коробления стеновых элементов, нарушения целостности конструкции и прочее.

В настоящее время существующие расчётные методы оценки затрат тепловой энергии при использовании различных типов ограждающих конструкций можно использовать только для определения усредненных тепловых свойств различных материалов. При оценке тепловых потерь с применением стандартных методик на основе стандартных обобщенных данных часто не учитываются особенности изготовления конструкций и материалов, монтажа и условий эксплуатации, а также требуемые характеристики древесных материалов. Как следствие, достаточно высока вероятность погрешности при оценке энергозатрат с использованием различных типов конструкций; при этом не будут учтены реальные тепловые свойства и размеры древесины. Выполненные нами предварительные измерения с применением тепловизора показали высокую точность при определении фактических потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции из древесных материалов.



Целью работы является снижение расхода древесины на изготовление ограждающих конструкций энергоэффективных деревянных домов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать эффективность тепловой защиты зданий из древесины методом тепловизионной диагностики.
2. Обосновать рациональные размеры древесных элементов, обеспечивающих тепловую защиту зданий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рациональное обоснование параметров и размеров элементов ограждающих конструкций для деревянных домов с использованием тепловизора является достаточно актуальным в настоящее время. Также при проведении исследований стоит учитывать условия региона эксплуатации деревянных домов.

Объектом исследования стали стены деревянных домов из цельной древесины. Исследованию подлежали четыре жилых деревянных дома с толщиной стен 150, 175, 200 и 220 мм, расположенные в одном районе Ленинградской области. С использованием термофотографирования провели обследование стеновых элементов дома внутри помещений для определения температуры на их поверхности. Термофотографирование выполнялось преимущественно осенью и зимой при стабильной температуре воздуха не менее трех суток в одном диапазоне по ранее намеченным участкам ограждающих стеновых конструкций дома. В память тепловизора Testo-875 записывались полученные термограммы. При проведении тепловизионного обследования учитывали параметры окружающей среды согласно строительной документации [12]: температура наружного воздуха составляла $0 \pm 0,5$ °C, влажность воздуха $60 \pm 5\%$, скорость движения воздуха $1 \pm 0,5$ м/с, температура внутри помещения $23 \pm 0,5$ °C, влажность внутри помещения $50 \pm 5\%$. При помощи специализированной компьютерной программы Testo проводили обработку полученных термограмм. Представленная на рисунке 1, б температурная шкала соответствует цветовой палитре с указанием температур и разрезов по сечениям и поля распределения температур. Для более наглядного представления и определения мест привязки распределения температур на рисунке 1, а представлены фотографии исследуемого объекта в натуральном виде.

Оборудование, применявшееся для проведения обследования: тепловизор Testo 875-2i; пирометр Testo 845; люксметр Testo 540; анемометр с крыльчаткой Testo 410-2, который применяли для измерения температуры воздуха, а также скорости движения воздуха; манометр абсолютного давления Testo 511; измеритель плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03/3 «ПОТОК».

На основании ГОСТ 25380 «Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков,

проходящих через ограждающие конструкции» в начале проведения обследования выполнили фотографирование всех участков конструкций, а также определили температуру, относительную влажность и скорость движения наружного воздуха. Как говорилось ранее, все термограммы с покадровой записью были сохранены в памяти тепловизора Testo и затем обработаны в палитре 256 цветов.

В таблице 1 представлена методическая сетка проведенных обследований и экспериментов. Она включает в себя фиксацию на постоянном уровне таких показателей, как влажность, плотность, порода древесины; атмосферное давление, скорость движения воздуха, влажность воздуха внутри помещения, наружная влажность и температура внутри помещения. За переменные факторы для обследования были взяты температура наружного воздуха и толщина стен ограждающих конструкций. Наблюдения выполнялись с учётом статистической обработки в количестве, достаточном для достижения убедительной достоверности полученных результатов обследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 показан пример термофотографирования стены деревянного дома заводского изготовления в натуральном и инфракрасном спектрах. При съемке произведена оценка качества монтажа, определены места с отсутствием инфильтрации холодного воздуха из-за дефекта монтажа, определена зона, подлежащая проведению исследований.

На рисунке 2 представлена зависимость трансмиссионных потерь тепловой энергии от толщины стен ограждающих конструкций на 1 м^2 площади при температуре наружного воздуха от 5 °C до -25 °C. На представленном рисунке зависимость 8 построена с учетом нормативно-технической документации [12, 13].

Выполненные нами обследования показывают, что толщина стеновых элементов дома влияет на энергоэффективную эксплуатацию дома в целом. Использование ограждающих конструкций с толщиной, не обеспечивающей в должной степени тепловой защиты дома, будет приводить к увеличению расходов на отопление помещений. Применение ограждающих конструкций



Таблица 1. Методическая сетка проведения эксперимента по исследованию влияния температуры наружного воздуха на потери тепловой энергии при различной толщине элементов стен ограждающих конструкций

Table 1. Methodological framework for studying the influence of outdoor air temperature on heat loss with the various thicknesses of wall envelope elements

Задача исследования	Постоянные факторы		Критерий оценки	Переменные факторы		Количество опытов	Количество наблюдений в опыте	Общее количество наблюдений
	Наименование	Значение		Наименование	Значение			
Установить влияние температуры наружного воздуха на потери тепловой энергии через элементы стен ограждающих конструкций	1. Влажность древесины, %	15 ± 2	Температура элементов стен ограждающей конструкции внутри помещения, °C	Температура наружного воздуха, °C	5	12	6	72
	2. Плотность древесины, кг/м³	505 ± 25			0	12	6	72
	3. Порода древесины	сосна			-5	12	6	72
	4. Атмосферное давление, мм рт. ст.	760 ± 10			-10	12	6	72
	5. Скорость движения воздуха, м/с	1 ± 0,5			-15	12	6	72
	6. Влажность воздуха внутри помещения, %	50 ± 5			-20	12	6	72
	7. Влажность наружного воздуха, %	60 ± 5		Толщина стен ограждающих конструкций, мм	-25	12	6	72
	8. Температура внутри помещений, °C	23 ± 0,5			150	21	6	126
					175	21	6	126
					200	21	6	126
					220	21	6	126

Таблица 2. Энергетически эффективные толщины стены из цельной древесины в зависимости от климатических особенностей ряда регионов эксплуатации

Table 2. Energy-optimal wall thicknesses in solid timber wall based on the climatic conditions of various operational regions

Температура наружного воздуха, °C	Толщина энергетически эффективной стены из цельной древесины, мм	Возможный климатический регион эксплуатации с наиболее холодной пятидневкой в году с уровнем вероятности выше 0,9	Возможный климатический регион эксплуатации с наиболее холодным месяцем в году с уровнем вероятности выше 0,9
-25	202	Санкт-Петербург	Чита
-20	188	Калининград	Воркута
-15	167	Черкесск	Самара
-10	150	Южно-Курильск	Ульяновск



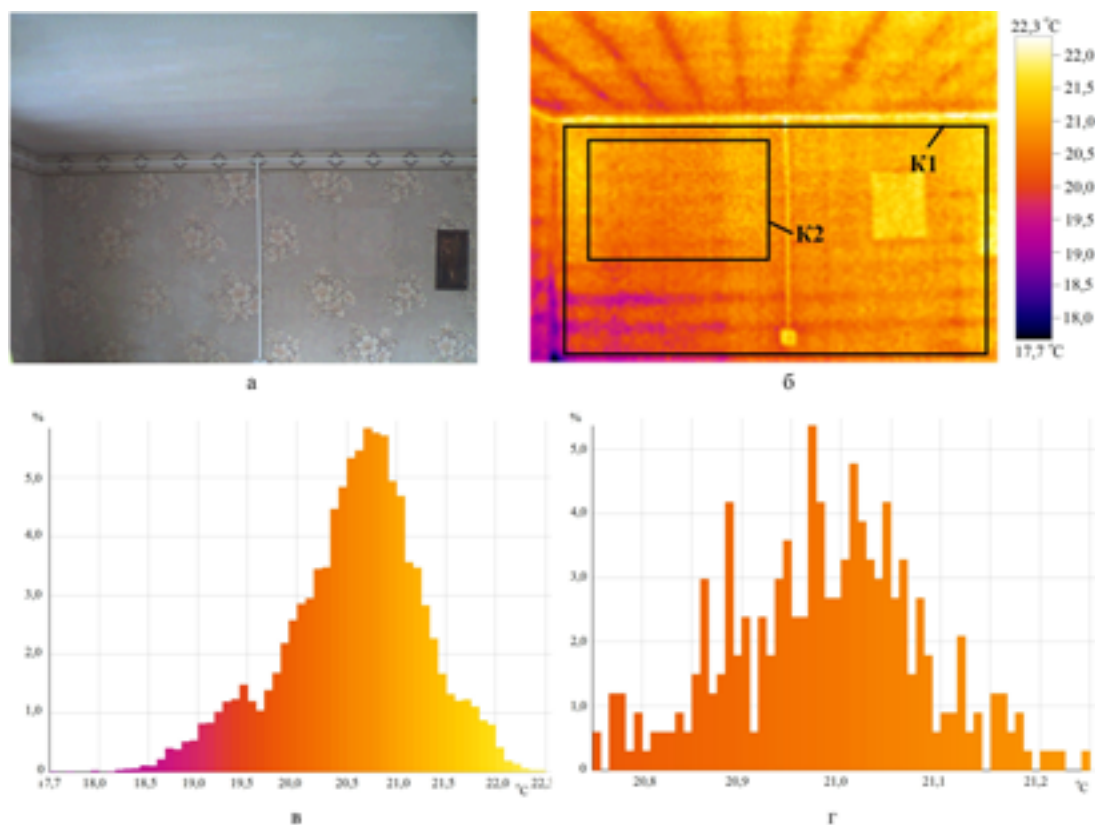


Рисунок 1. Изображение ограждающей конструкции стены деревянного дома заводского изготовления с толщиной бруса 150 мм в натуральном и инфракрасном спектрах, а также % распределение температур на его поверхности: а – фотография объекта; б – термограмма объекта; в – процентное распределение температур на поверхности контура K1; г – процентное распределение температур на поверхности контура K2

Figure 1. Image of a wall envelope assembly of a factory-made wooden house with 150 mm timber thickness in natural light and infrared spectrum, along with the percentage distribution of temperatures on its surface: а – photograph of the object; б – thermogram of the object; в – percentage temperature distribution across the K1 surface contour; г – percentage temperature distribution across the K2 surface contour

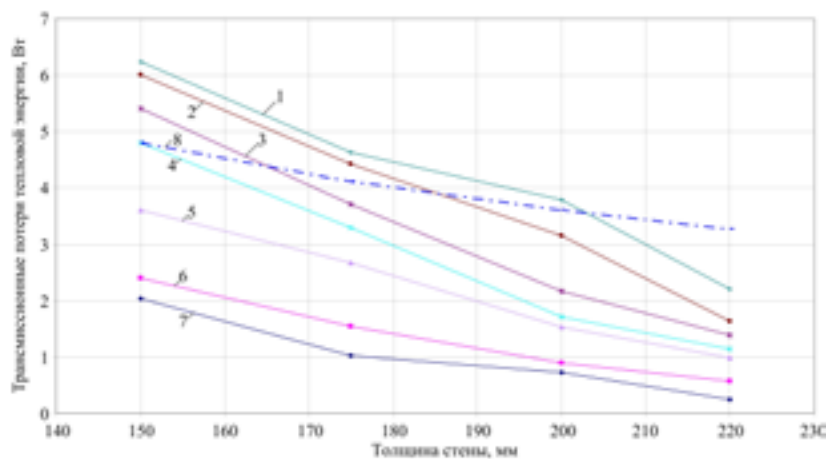


Рисунок 2. Зависимость трансмиссионных потерь тепловой энергии от толщины стен на 1 м² их площади при различной температуре наружного воздуха: 1 – -25 °C; 2 – -20 °C; 3 – -15 °C; 4 – -10 °C; 5 – -5 °C; 6 – 0 °C; 7 – 5 °C; 8 – максимально допустимые трансмиссионные потери тепловой энергии при соответствующей толщине стен

Figure 2. Dependence of heat transmission losses on wall thickness per 1 m² of their area at various outdoor air temperatures: 1 – -25 °C; 2 – -20 °C; 3 – -15 °C; 4 – -10 °C; 5 – -5 °C; 6 – 0 °C; 7 – 5 °C; 8 – maximum permissible heat transmission losses at given wall thicknesses

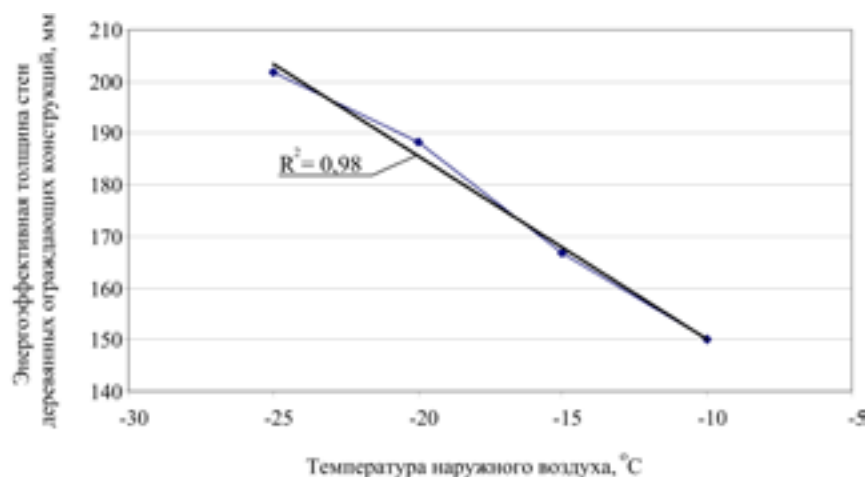


Рисунок 3. Влияние температуры наружного воздуха на изменение энергоэффективной толщины стен деревянных ограждающих конструкций

Figure 3. Influence of outdoor air temperature on the change in energy-optimal thickness of wooden wall envelope structures

с размерами, которые превышают рекомендуемые показатели, влечет за собой перерасход энергии и сырья на их изготовление, монтаж и транспортировку. На основании этого отметим, что определение энергетически эффективных размеров стеновых ограждающих конструкций для различных климатических зон с учётом температуры, в частности для наиболее холодных пятидневки и месяца в году, является актуальной задачей.

Результаты представлены в таблице 2. На рисунке 3 показана зависимость энергетически эффективных толщин стен деревянных домов от температуры наружного воздуха. Также эту зависимость можно описать уравнением 1:

$$h_n^{\dot{y}} = -3,546 \cdot t_{n.a.} + 114,7, \quad (1)$$

где $h_n^{\dot{y}}$ — энергетически эффективная толщина стены, мм;

$t_{n.a.}$ — температура наружного воздуха, °C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного обследования можно сделать следующие основные выводы:

1. Фактические теплотери увеличиваются с уменьшением толщины ограждающей конструкции не пропорционально, в отличие от линейной зависимости максимально допустимых потерь тепловой энергии, которые рассчитываются по стандартным методикам.
2. Рекомендуемая толщина стеновых элементов деревянных домов, при которой необходимая тепловая

защита помещений будет обеспечиваться в должной объеме, составляет от 150 до 202 мм в диапазоне температур наиболее холодной пятидневки в году от 5 °C до — 25 °C соответственно.

Список литературы

1. Nondestructive Testing Handbook. Vol. 3. Infrared and Thermal Testing. ASNT, USA, 2001.
2. Shepard S. Advances in pulsed thermography. Thermosense XXIII: 16–20 April 2001, Orlando, Florida, United States. Proceedings of SPIE — the International Society for Optical Engineering (Vol. 4360), ISSN 1996-756X. P. 511–515.
3. Тажибаева К. М. Повышение энергоэффективности жилого дома. // Современные инновации. № 1 (39). Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Республика Казахстан. 2021. С. 54–58.
4. Титунин А. А. Определение коэффициента теплопроводности деревянных клееных конструкций с учетом макроструктуры и плотности древесины // Умные композиты в строительстве. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 8–18.
5. Леонович О. К., Короб А. Ю. Перспективные направления в строительстве деревянных малоэтажных зданий // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 188–198.
6. Федяев А. А., Чубинский А. Н. Неразрушающие методы контроля свойств продукции из древесины. СПб.: Галаника, 2022. 118 с.
7. Будадин О. Н. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Наука, 2002. 472 с.
8. Вавилов В. П. Тепловые методы неразрушающего контроля: справочник. М.: Машиностроение, 1991. 240 с.
9. Вавилов В. П., Климов А. Г. Тепловизоры и их применение. М.: Интел универсал, 2002. 87 с.



10. Чубинский А. Н., Тамби А. А., Федяев А. А., Федяева Н. Ю., Кульков А. М. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины. // Системы. Методы. Технологии. Братск.: БрГУ, 2015. № 2 (26). С. 152–158.
11. Чубинский А. Н., Тамби А. А., Варанкина Г. С., Федяев А. А., Чубинский М. А., Швец В. Л., Чаузов К. В. Физические методы испытаний древесины. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 125 с.
12. СП 50.133330.2012 «Тепловая защита зданий».
13. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99 Строительная климатология».

References

1. Nondestructive Testing Handbook. Vol. 3. Infrared and Thermal Testing. ASNT, USA, 2001.
2. Shepard S. Advances in pulsed thermography. Thermosense XXIII: 16–20 April 2001, Orlando, Florida, United States. Proceedings of SPIE — the International Society for Optical Engineering (Vol. 4360), ISSN 1996-756X. Pp. 511–515.
3. Tazhibaeva K. M. INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF A RESIDENTIAL BUILDING. Modern Innovations No. 1 (39). International Educational Corporation, Almaty, Republic of Kazakhstan., 2021. Pp. 54–58.
4. Titunin A. A. Determination of the thermal conductivity coefficient of glued timber structures taking into account

- the macrostructure and density of wood // Smart Composites in Construction. 2024. Vol. 5, issue 1. Pp. 8–18.
5. Leonovich O. K., Korob A. Yu. Promising Directions in the Construction of Low-Rise Wooden Buildings. Proceedings of BSTU. Series 1, Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources. 2022. No. 1 (252). Pp. 188–198.
6. Fedyaev A. A., Chubinsky A. N. Non-destructive methods for testing the properties of wood products. St. Petersburg: GALANIKA, 2022. 118 p.
7. Budadin O. N. Thermal non-destructive testing of products. Moscow: Nauka, 2002. 472 p.
8. Vavilov V. P. Thermal methods of non-destructive testing. Handbook. Moscow: Mashinostroenie, 1991. 240 p.
9. Vavilov V. P., Klimov A. G. Thermal imagers and their application. Moscow: Intel universal, 2002. 87 p.
10. Chubinsky A. N., Tambi A. A., Fedyaev A. A., Fedyaeva N. Yu., Kulikov A. M. Areas of use of physical methods for testing the structure and properties of wood. // Systems. Methods. Technologies. Bratsk: BrGU, 2015 No. 2 (26). Pp. 152–158.
11. Chubinsky A. N., Tambi A. A., Varankina G. S., Fedyaev A. A., Chubinsky M. A., Shvets V. L., Chauzov K. V. Physical methods of wood testing. St. Petersburg: SPbGLTU. 2015. P. 125.
12. SP 50.133330.2012 Thermal protection of buildings.
13. SP 131.13330.2020 SNiP 23-01-99 Construction climatology.

Информация об авторах

Федяева Наталья Юрьевна, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры строительства и планировки населенных пунктов Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова; 194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-9454-9285; SPIN-код: 7500–5197, e-mail: nat_fedyaeva@mail.ru.

Пырин Степан Яковлевич, студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова; 194021, Институтский переулок, д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия.

Коваленко Петр Константинович, студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова; 194021, Институтский переулок, д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия.

Authors' information

Fedyaeva Natalya Yuryevna, Ph. D. in Engineering, Senior Lecturer at the Department of Construction and layout of settlement of the St. Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov; 194021, Institutskii per., 5, Bldg. U, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-9454-9285; SPIN-code: 7500–5197, e-mail: nat_fedyaeva@mail.ru.

Pyrin Stepan Yakovlevich, student of the St. Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov; 194021, Institutskii per., 5, Bldg. U, Saint Petersburg, Russia.

Kovalenko Petr Konstantinovich, student of the St. Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov named after S. M. Kirov; 194021, Institutskii per., 5, Bldg. U, Saint Petersburg, Russia.

