

10. Prishchepa A.N., Shulunov A.N. Current status and problems of development of domestic instrument engineering // Vestn. metrologa. 2012. № 1. P. 4-7.
11. Kuvik T.E., Safonov A.A., Cybul'nikova K.A. Evaluation of the complexity of providing scientific and technical services in the field of metrology, for example, examination of documentation carried out for the purpose of issuing opinions on the possible use of measuring instruments for acquisition of weapons and military equipment // Sb. tr. GNMC Minoborony Rossii. 2016. № 49. P. 69-80.
12. Kornev A.S., Shajko E.I., Luckova T.A. Main points of complex estimation method of costs indicators for creation of perspective samples of metrological techniques // Sb. tr. GNMC Minoborony Rossii. 2015. № 39. P. 205-213.
13. Khayrullin R.Z. On Preparing Offers for Targeted Development Programs in Housing and Communal Services // HKHVI-th RSP Seminar "Theoretical Foundation of Civil Engineering", MATEC Web Conf. of 117, 00076 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/201711700076.
14. Marichev P.A., Kornev A.S., Hajrullin R.Z. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // Vestn. MGSU. 2018. T. 13, Вып. 1 (112). P. 71-79.
15. Kostoglotov A. A., Lazarenko S. V. Method for solving the inverse measuring tasks with application of nonsmooth analysis // Journal Information-measuring and Control Systems. 2009. T. 7, № 10. P. 38-45.
16. Kostoglotov A.A., Lazarenko S.V. Nonsmooth analysis in problems of processing measurement data // Measurement Techniques. 2009. № 2. P. 6-11.
17. Broomhead D.S., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // Complex Systems. 1988. № 2.
18. Cichocki A., Unbehauen R. Neural Networks for Optimization and Signal Processing. Wiley, 1993. 548 p.
19. Mas-Colell A., Whinston M.D., Green J.R. Microeconomic theory. N. Y.: Oxford Univ. Press, 1995. 981 p.
20. Ventcel' E.S., Ovcharov V.A. Theory of random processes and its engineering applications. M.: Nauka, 1991. 383 p.
21. Rutkovskaya D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy system. M.: Goryachaya liniya: Telekom, 2006. 452 p.
22. Myerson R.B. Games theory: analysis of conflict. London: Harvard University Press, 1991.
23. Fudenberg D., Tirole J. Game theory. Cambridge: MIT Press, 1995.
24. Bryson A., Ho Y. Applied Optimal Control. Blaisdell Publishing. Waltham. MA. 1969.
25. Nisan N., Roughgarden T. Tardos E., Vazirani V. Algorithmic game theory. N.-Y.: Cambridge University Press, 2009.
26. Broomhead D.S., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // Complex Systems. 1988. № 2. P. 34-37.

УДК 66.33.31; 44.31.01

DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-90-97

## Анализ энергоэффективности стеновых элементов деревянных домов заводского изготовления

Ар.А. Федяев<sup>1a</sup>, А.Н. Чубинский<sup>1b</sup>, А.А. Федяев<sup>2c</sup>, Н.Ю. Федяева<sup>3d</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>3</sup>Колледж отраслевых технологий «Краснодеревец», ул. Ушинского 16, Санкт-Петербург, Россия

<sup>a</sup>art\_fedyaev@mail.ru, <sup>b</sup>a.n.chubinsky@gmail.com, <sup>c</sup>vendsl@mail.ru, <sup>d</sup>nat\_fedyaeva@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8036-7432>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6233-3757>

Статья поступила 3.11.2018, принята 15.11.2018

*В статье проведен анализ трансмиссионных тепловых потерь через стены деревянных домов заводского изготовления различной толщины. Исследование проведено для стен толщиной 150, 175, 200 и 220 мм. Как показывают результаты расчетов трансмиссионных потерь тепловой энергии при температуре наружного воздуха не ниже 0 °С, что характерно для южных регионов страны, все фактические потери тепловой энергии через исследованные стены деревянных домов заводского изготовления не превышают максимально допустимые, предусмотренные СП. Это свидетельствует о низких потерях тепловой энергии через стены. Однако максимально допустимые потери тепловой энергии при толщине стен 150 и 220 мм превышают фактические соответственно в 2 и 5,74 раза. Это свидетельствует о необоснованном увеличении расчетных максимально допустимых толщин ограждающих конструкций и перерасходе сырьевых ресурсов для возведения деревянных домов заводского изготовления в климатических условиях региона эксплуатации с температурой наружного воздуха не ниже 0 °С. Проведенный анализ термограмм и результаты расчетов трансмиссионных потерь тепловой энергии определяют необходимость обоснованного подхода при выборе толщины стен не только с точки зрения тепловой защиты зданий, но и с учетом климатических особенностей региона эксплуатации.*

**Ключевые слова:** тепловизионное обследование; тепловые потери энергии; деревянные дома заводского изготовления; цельный брус.

## Energy efficiency analysis of wall elements of prefabricated wooden houses

Ar.A. Fedyaev<sup>1a</sup>, A.N. Chubinsky<sup>1b</sup>, A.A. Fedyaev<sup>2c</sup>, N.Yu. Fedyaeva<sup>3d</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>3</sup> College of Industrial Technologies "Krasnoderevets"; 16, Ushinsky St., St. Petersburg, Russia

<sup>a</sup>art\_fedyaev@mail.ru, <sup>b</sup>a.n.chubinsky@gmail.com, <sup>c</sup>vends1@mail.ru, <sup>d</sup>nat\_fedyaeva@mail.ru

<sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0001-8036-7432>,

<sup>c</sup><https://orcid.org/0000-0001-6233-3757>

Received 3.11.2018, accepted 15.11.2018

*The article analyzes transmission heat losses through the walls of factory-made wooden houses of various thicknesses. The study was conducted for walls with thickness of 150, 175, 200 and 220 mm. The results of calculations of transmission heat losses at outdoor temperatures not lower than 0 °C, which is typical for the southern regions of the country, all actual heat losses through the walls prefabricated wooden houses under study do not exceed the maximum allowable rates provided by the regulations. This indicates a low loss of heat energy through the walls. The maximum allowable loss of heat energy at a wall thickness of 150 and 220 mm is 2 and 5.74 times, respectively, higher than the actual. This indicates an unreasonable increase in the calculated maximum allowable thicknesses of the enclosing structures and excessive consumption of raw materials for the construction of prefabricated wooden houses in the climatic conditions of the region of operation with an outdoor temperature not lower than 0°C. The analysis of thermograms and the results of calculations of transmission loss of heat energy predetermine the need for a reasonable approach for choosing wall thickness not only from the point of view of thermal protection of buildings, but also taking into account the climatic features of the region of operation.*

**Keywords:** thermal imaging inspection; thermal energy losses; prefabricated wooden houses; one-piece bar.

### Введение

Сегодня в России обязательным элементом при выполнении программ федерального и регионального уровня по доступному жилью является строительство малоэтажных домов из древесины. Известна также мировая практика деревянного домостроения при реализации государственных программ, например, известных европейских программ «Wooden Europe» (Деревянная Европа), «Life in nature» (Жизнь в природе) и т. п. [1; 2].

По сравнению со строительством деревянных домов без использования промышленных технологий, достоинствами деревянных домов заводского изготовления являются следующие позиции: правильные геометрические формы применяемых материалов; практически полное отсутствие усадки дома в результате применения древесины эксплуатационной влажности; полный цикл изготовления элементов домов на предприятии и др. [3; 4]. На месте возведения конструкции такого дома выполняются сборка, внутренняя отделка и прокладка инженерных коммуникаций, после чего можно выполнять заселение в новый дом.

Расчет различных элементов и их количество, поэтажные планы, архитектурные решения, размеры древесных материалов, зависящие, в свою очередь, от формы, размеров, этажности здания и других параметров, можно выполнять при использовании, например, «CadWork», «КЗ Коттедж» и других программных продуктов.

Материалы из древесины, как и другие строительные материалы, могут использоваться для внутренней отделки деревянного дома. Традиционно для возведения деревянных домов в нашей стране используются древесные материалы хвойных пород — еловые, сосновые и лиственные. На рис. 1 показана классификация деревянных домов заводского изготовления, включающая четыре основных класса.

Энергоэффективность ограждающих конструкций при применении различных типов толщин деревянных домов заводского изготовления оценена при сравнительном анализе с применением как стандартных методов определения тепловых потерь [5–7], так и современных методов тепловизионного обследования [8; 9].



Рис. 1. Классификация деревянных домов, изготовленных в заводских условиях

**Методика исследования.** До начала проведения экспериментальных исследований элементы конструкций объектов фотографировали. Далее процессы термофотографирования выполняли при следующих условиях: температура воздуха  $0 \pm 0,5$  °C; скорость движения воздуха  $1 \pm 0,5$  м/с; температура воздуха внутри помещений  $23 \pm 0,5$  °C; влажность воздуха  $55 \pm 5$  % [10; 11]. В период проведения тепловизионной диагностики погодные условия удовлетворяли требованиям применяемой «Методики проведения теплотехнического обследования ограждающих конструкций здания» [12–15]. Процесс термофотографирования проводился последовательно, по заранее намеченным участкам, с последующей покадровой записью полученных термограмм во внутреннюю память тепловизора Testo 875-2i. При движении оператора вдоль изучаемых объектов линейное расстояние до ограждающей поверхности конструкции в целях достоверности последующих расчетов, как правило, сохранялось неизменным [16; 17]. Дальнейшая обработка термограмм выполнялась в палитре 256 цветов, что позволяло наглядно видеть распределение температуры на поверхности исследуемого объекта. Обработка снимков проводилась с помощью специализированного программного продукта — тепловизора. Была выбрана температурная шкала, соответствующая цветовой палитре в плане представления температур и разрезов полученных кадров по сечениям с соответствующим полем распределения температур. Для выполнения качественного анализа и привязки мест полученных тепловых аномалий (дефектов) данные тепловизионной съемки дополнены фотографиями [18; 19] обследованных участков.

С целью выполнения в последующем сравнительного анализа были выбраны элементы участков стен ограждающих конструкций деревянных заводских домов из цельной древесины породы сосна толщиной 150, 175, 200 и 220 мм.

**Результаты исследований.** Отображения ограждающих поверхностей (стен) как в видимом, так и в инфракрасном спектрах, а также распределение температуры в процентах по площади выделенных участков в отопительный период для переменных толщин стен заводских деревянных домов представлены на рис. 2–5. Из полученных термограмм очевидно, что теплоизоляционные параметры ограждающих поверхностей (стен) заводских деревянных домов могут не соответствовать требованиям действующих нормативных документов, в том числе и по температурному перепаду относительно температуры внутреннего воздуха и температуры внутренней поверхности исследуемой ограждающей конструкции помещений. Одной из вероятных причин понижения энергоэффективности стен представляются дефекты изоляционного слоя между строительными элементами бруса, что наглядно видно на рис. 2 б. Такого рода нарушения могут быть получены вследствие нарушений самой технологии сборки деревянного дома заводского изготовления или обусловлены неправильными геометрическими формами строительного бруса. Также анализ представленных термограмм показал, что теплоизоляционные параметры участков стен ограждающих конструкций домов, как правило, отвечают предъявляемым требованиям нормативных документов при температуре наружного воздуха 0 °C по температурному перепаду относительно температуры внутреннего воздуха и температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции. В соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» такой перепад  $\Delta t$  не должен быть выше 4 °C.

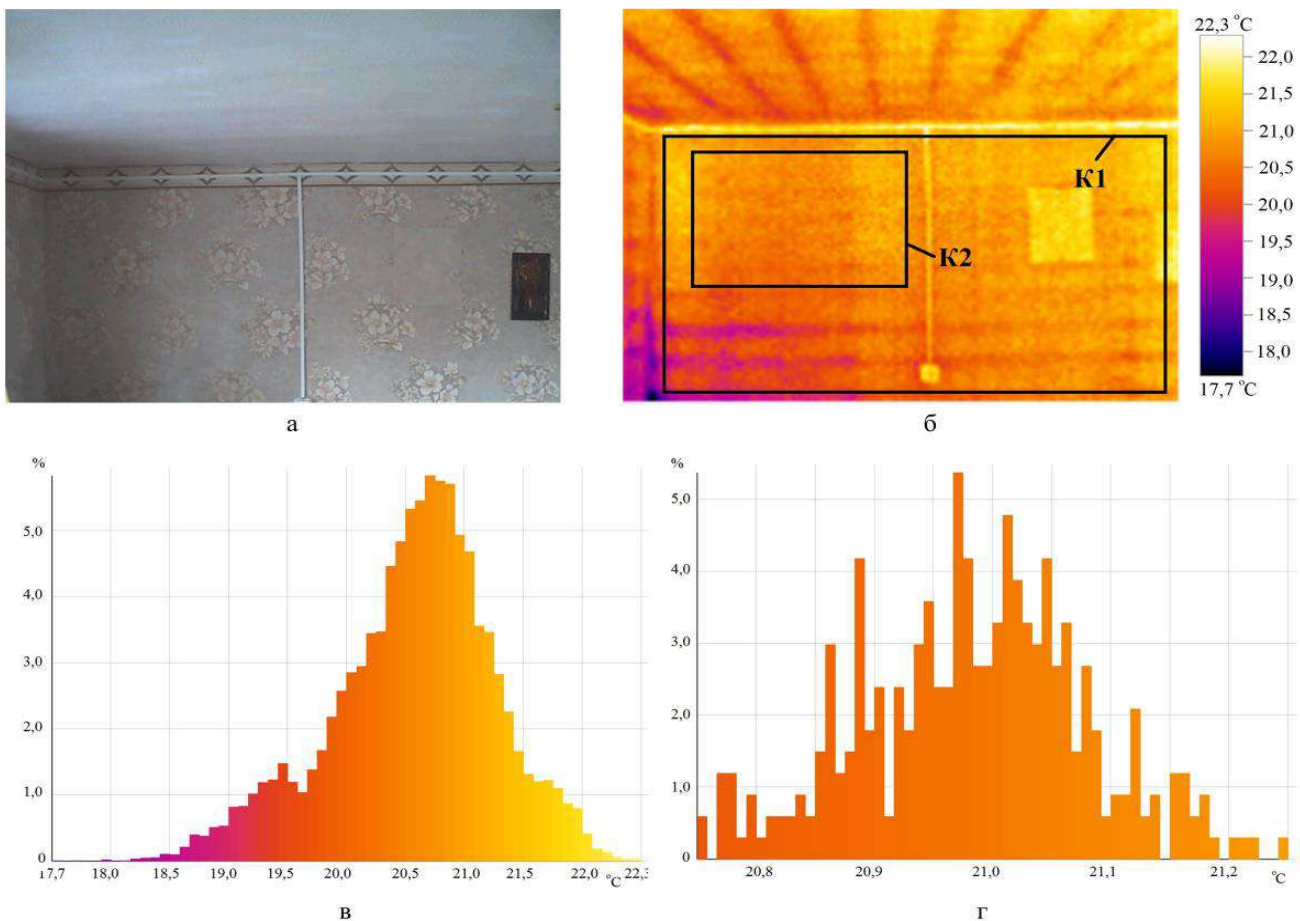
Распределение поля температуры в процентном соотношении по поверхности стен в соответствии с представленными контурами «К1» на термоснимках для соответствующих стен также представлено на рис. 2–5. Из графика на рис. 2 в очевидно, что, в зависимости от присутствия различных дефектных участков и нарушения сплошности ограждающей конструкции (стены), распределение температурного диапазона по поверхности конструкции представлено в

достаточно широком интервале от 17,7 до 22,3 °С. Такой разброс температур предполагает вывод о вероятности еще большего понижения температур на внутренних поверхностях стен в условиях отрицательных температур в зимние месяцы и, как следствие, снижении температуры воздуха внутри помещений и промерзании участков стен в худшем варианте.

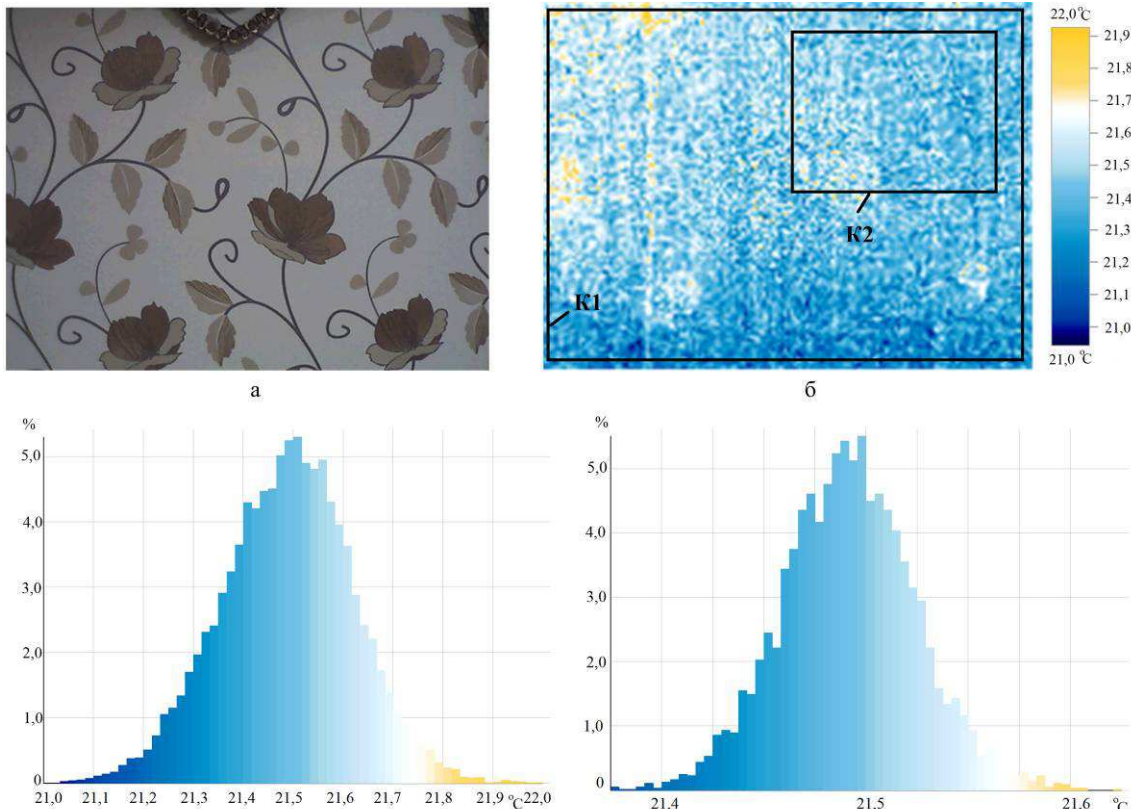
Также на рис. 2–5 показано распределение температур в процентах на поверхности стен деревянных конструкций, которое характеризует распределение температур на поверхности стен по выделенному контуру «К2» на термоснимках в так называемых бездефектных зонах. Для оценки влияния каждого отдельного фактора в отмеченных зонах исключено влияние целого ряда дефектов (например, нарушение сплошности стеновых элементов, неравномерное прилегание поверхности бруса друг другу) на изменение температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции стены не по естественным причинам. При исследованиях исключаются также влияние нарушения технологии монтажа, сборки элементов стен деревянных заводских домов, систем отопления и солнечного света, а также иных факторов на распределение температуры на внутренней поверхности ограждающей стены не по естественным причинам. В работе оценивается только энергоэффективность ограждающих конструкций в зависимости от температуры наружного воздуха.

В рамках проведенных экспериментов был выполнен сравнительный анализ максимально допустимых потерь тепла в окружающую среду через стены деревянных ограждающих конструкций домов с фактическими потерями тепла. Для исключения влияния фактора отдельных дефектов при монтаже ограждающих конструкций и технологии их изготовления расчет проводился с исключением потерь тепла через отмеченные выше дефектные участки и в соответствии с отмеченным на рис. 5 контуром «К2» (площадь 1 м<sup>2</sup>).

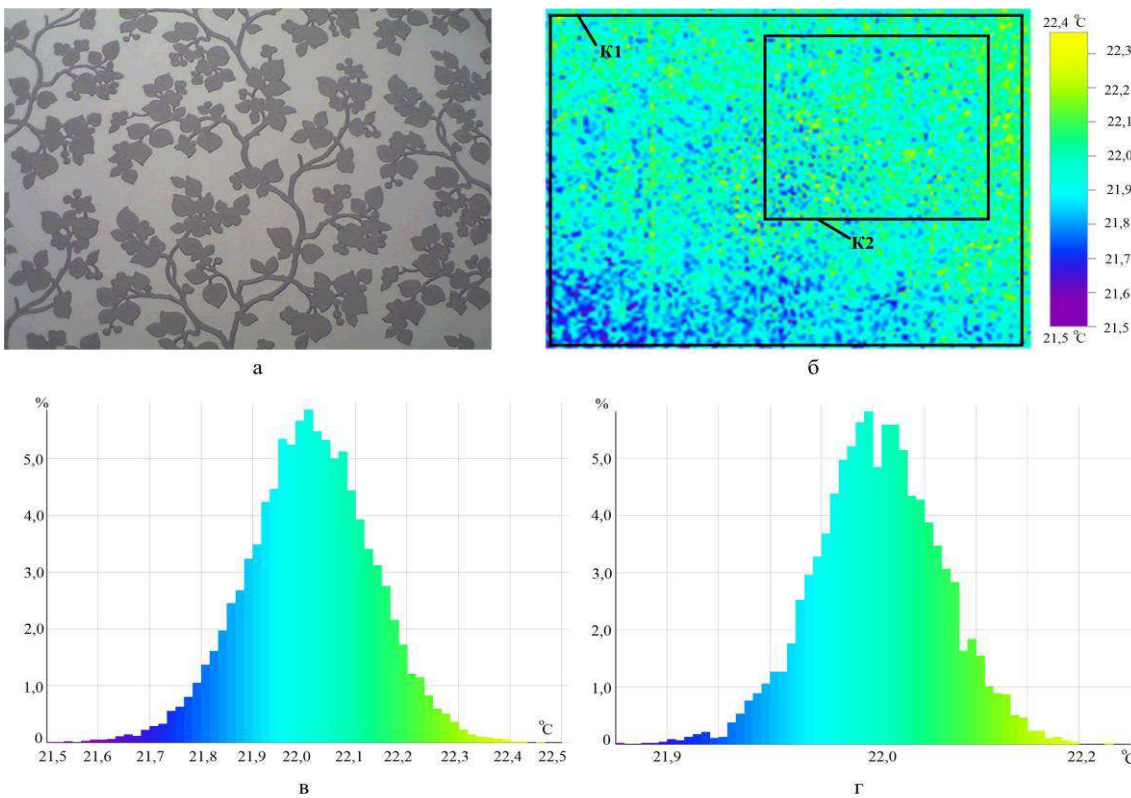
В рамках проведенных экспериментов был выполнен сравнительный анализ максимально допустимых потерь тепла в окружающую среду через стены деревянных ограждающих конструкций домов с фактическими потерями тепла. Для исключения влияния фактора отдельных дефектов при монтаже ограждающих конструкций и технологии их изготовления расчет проводился с исключением потерь тепла через отмеченные выше дефектные участки и в соответствии с отмеченным на рис. 5 контуром «К2» (площадь 1 м<sup>2</sup>).



**Рис. 2.** Отображение ограждающей конструкции заводского деревянного дома с толщиной бруса 150 мм в натуральном и инфракрасном спектрах, а также распределение температур в процентах на его поверхности: а — фотография участка объекта; б — термограмма участка объекта; в — распределение температур в процентах на поверхности контура К1; г — распределение температур в процентах на поверхности контура К2

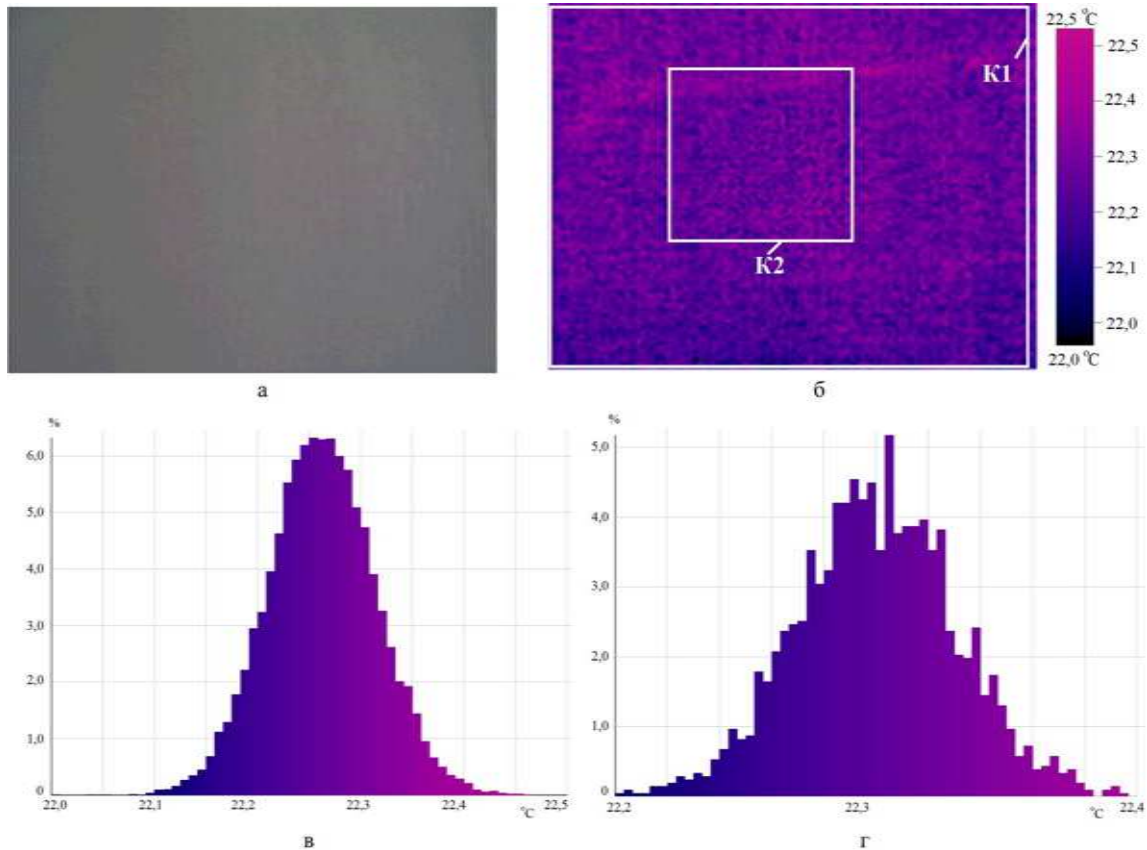


**Рис. 3.** Отображение ограждающей конструкции стены заводского деревянного дома с толщиной бруса 175 мм в натуральном и инфракрасном спектрах, а также распределение температур на его поверхности в процентах: *a* — фотография участка объекта; *б* — термограмма участка объекта; *в* — распределение температур в процентах на поверхности контура K1; *г* — распределение температур в процентах на поверхности контура K2



**Рис. 4.** Отображение ограждающей конструкции стены заводского деревянного дома с толщиной бруса 200 мм в натуральном и инфракрасном спектрах, а также распределение температур в процентах на его поверхности: *a* — фотография участка объекта; *б* — термограмма участка объекта; *в* — распределение температур в процентах на поверхности контура K1; *г* — распределение температур в процентах на поверхности контура K2

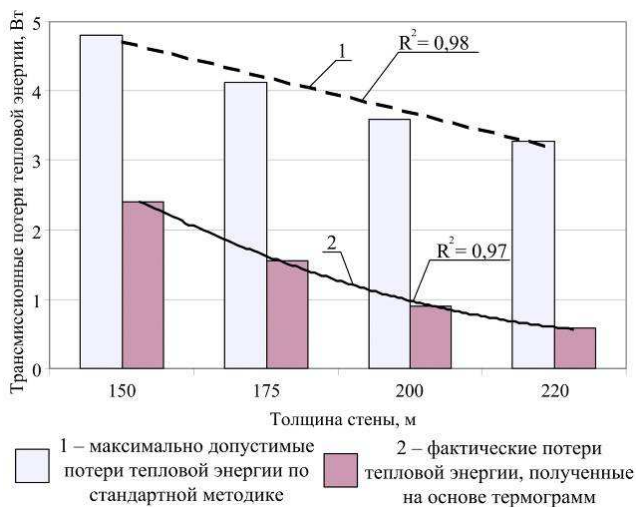




**Рис. 5.** Отображение ограждающей конструкции стены заводского деревянного дома с толщиной бруса 220 мм в натуральном и инфракрасном спектрах, а также распределение температур в процентах на его поверхности: *а* — фотография участка объекта; *б* — термограмма участка объекта; *в* — распределение температур в процентах на поверхности контура K1; *г* — распределение температур в процентах на поверхности контура K2

Расчетные исследования трансмиссионных тепловых потерь ограждающих конструкций (стен) были проведены в соответствии с законом Ньютона – Рихмана [20].

Результаты определения тепловых потерь участка стен ограждающих конструкций на 1 м<sup>2</sup> площади поверхности [21] представлены на рис. 6.



**Рис. 6.** Зависимость величины тепловых потерь элементов стен ограждающих конструкций (на 1 м<sup>2</sup> их площади) от толщины стен

По результатам обработки полученных экспериментальных данных и из анализа графиков на рис. 6, зависимости трансмиссионных потерь тепловой энергии от толщины стен деревянных ограждающих конструкций могут быть представлены в виде уравнений (1) и (2):

$$Q_c^T = -0,0218 \cdot h_c + 8,0051, \quad (1)$$

$$Q_c^Ф = 0,0002 \cdot h_c^2 - 0,095 \cdot h_c + 12,502, \quad (2)$$

где  $Q_c^T$  и  $Q_c^Ф$  — максимально допустимые и фактические трансмиссионные потери тепловой энергии через деревянные ограждающие конструкции (стены), Вт;  $h_c$  — толщина деревянных ограждающих конструкций (стен), диапазон  $150 \leq h_c \leq 220$  мм.

Результаты расчетов трансмиссионных потерь тепловой энергии показывают, что при температуре наружного воздуха не ниже 0 °С все фактические потери тепловой энергии через исследуемые стены деревянных заводских домов не превышают максимально допустимые, что в целом свидетельствует о низких потерях тепловой энергии через эти ограждающие элементы. Однако максимально допустимые потери тепловой энергии при толщине стен 150 и 220 мм превышают фактические соответственно в 2 и 5,74 раза. Последнее свидетельствует о необоснованном росте рациональных толщин

ограждающих конструкций (стен) и превышении расхода сырьевых ресурсов для строительства заводских деревянных домов в климатических условиях региона эксплуатации, в частности, с температурой наружного воздуха не ниже 0 °С, что характерно для южных регионов страны, например, Сочи, где в соответствии с СП 131.13330 при уровне вероятности выше 0,9 такая температура соответствует наиболее холодной пятидневке в году.

Результаты исследований показали, что на энергоэффективность различных элементов ограждающих конструкций (стен) влияют не только размерно-качественные характеристики материалов, применяемых при возведении заводских деревянных домов, но и климатические условия региона эксплуатации. Последнее требует проведения дальнейших исследований для научно обоснованного подхода при определении рациональных размеров толщины ограждающих конструкций.

### Выводы

1. Используемые в настоящее время стандартные методы расчета тепловых потерь через ограждающие конструкции деревянных домов не отражают их фактические значения для различных конструкций и материалов, используемых для их изготовления.

2. Применение тепловизионных методов неразрушающего контроля позволяет учитывать особенности теплоизоляционных характеристик различных материалов и выполнять оценку их энергоэффективности в реальных климатических условиях эксплуатации, в частности для деревянных домов заводского изготовления.

3. Показано, что энергоэффективность стен ограждающих конструкций зависит не только от качества их монтажа и изготовления, но и от размерно-качественных характеристик используемых материалов.

### Литература

1. Левинский Ю.Б., Онегин В.И., Черных А.Г., Афанасьев М.В., Казаков Ю.Н. Деревянное домостроение. СПб.: НП «Ассоциация деревянного домостроения», 2008. 343 с.
2. Запруднов В.И., Стриженко В.В. Конструкции деревянных зданий. М.: МНФРА-М, 2013. 314 с.
3. Кондратюк В.А., Косарев В.А. О задачах и путях развития деревянного домостроения в России // Вестник МГУЛ - Лесной вестник. 2012. № 8. С. 79-84.
4. Ермолина А.В., Миронов П.В. Получение и свойства теплоизоляционного материала на основе вторичной волокнистой массы. ИВУЗ. «Лесной журнал». Архангельск, 2011. № 4. С. 109-114.
5. 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.
6. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Теппоев А.В., Ананьева Н.И., Семишкур С.О., Бахшиева М.А. Физические неразрушающие методы испытания и оценка структуры древесных материалов // Дефектоскопия. 2014. № 11. С. 76-84.
7. Chubinskii A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishku S.O., Bakhshieva M.A. Physical Nondestructive Methods for the Testing and Evaluation of the Structure of Wood Based Materials. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. Vol. 50. № 11. P. 693-700. DOI: 10.1134/S1061830914110023.
8. Будадин О.Н. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Наука, 2002. 472 с.
9. Будадин О.Н., Абрамова Е.В., Родин М.А., Лебедев О.В. Тепловой неразрушающий контроль зданий и строительных сооружений // Дефектоскопия. 2003. № 5. С. 77-94.
10. Федяева Н.Ю., Федяев А.А., Чубинский А.Н. Анализ тепловых потерь ограждающих элементов из древесины // Современные проблемы биологического и технического лесоведения: сб. I Междунар. науч.-практической конф. Йошкар-Ола, 2016. С. 128-130.
11. Федяев А.А., Чубинский А.Н., Федяев А.А., Федяева Н.Ю. Анализ энергоэффективности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2015. Вып. 212. С. 198-210.
12. Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применение. М.: Интел универсал, 2002. 87 с.
13. Данилов О.Л., Бобряков А.В., Гаврилов А.И. Особенности тепловизионного способа определения тепловых потерь ограждающими конструкциями зданий // Энергонадзор и энергосбережение сегодня. 2001. № 2. С. 52-57.
14. Данилов О.Л., Коваленко А.П. Влияние процессов тепло- и массообмена на погрешность определения тепловых потерь тепловизионным способом // Материалы междунар. науч.-практической конф. «Инновация – 2003»: сб. науч. ст. Ташкент, 2003. С. 63-68.
15. Данилов О.Л., Коваленко А.П., Королев Д.В. Влияние процесса инеобразования на поверхностях ограждающих конструкций на погрешность определения тепловых потерь тепловизионным способом // Материалы Десятой междунар. науч.-технической конф. студентов и аспирантов. Радиоэлектроника и энергетика. М., 2004. С. 121-125.
16. Садович М.А., Коплик В.С., Федяев П.А. Исследование температурных полей монолитных конструкций с помощью тепловизора // Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы X (XXXII) Всероссийской научно-технической конференции. 2011. С. 98-100.
17. Федяев А.А., Чубинский А.Н., Федяев А.А., Федяев П.А., Танковская Н.Ю. Обоснование необходимости проведения тепловизионного обследования конструкций и сооружений из древесины // Современные проблемы переработки древесины: материалы междунар. науч.-практической конф. СПб., 2014. С. 23-26.
18. Федяев П.А., Федяев А.А., Федяева Е.С. Инструментальное определение тепловых потерь теплотехнологическими установками // Труды Братского государственного университета: Сер. Естественные и инженерные науки развитию регионов Сибири. 2010. Т. 2. С. 53-58.
19. Федяев П.А., Шейшенов Ж.О. Энергетическая оценка выборочных направлений энергосбережения. М., 2013. Ч. 1. С. 299-302.
20. Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О.К. Теплотехника. М.: Энергоатомиздат, 1991. 224 с.
21. Федяева Н.Ю. Обоснование энергоэффективных деревянных ограждающих конструкций на основе тепловизионной диагностики: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2018. 19 с.

## References

1. Levinskij Yu.B., Onegin V.I., Chernyh A.G., Afanas'ev M.V., Kazakov Yu.N. Wooden house building. SPb.: NP «Associaciya derevyannogo domostroeniya», 2008. 343 p.
2. Zaprudnov V.I., Strizhenko V.V. Construction of wooden buildings. M.: MNFRA-M, 2013. 314 p.
3. Kondratyuk V.A., Kosarev V.A. On the tasks and ways of development of wooden house in Russia // Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik. 2012. № 8. P. 79-84.
4. Ermolina A.V., Mironov P.V. Production and properties of thermal insulation material based on recycled fibrous mass. IVUZ. «Lesnoj zhurnal». Arhangel'sk, 2011. № 4. P. 109-114.
5. Chubinskij A.N., Tambi A.A., Varankina G.S., Fedyayev A.A., Chubinskij M.A., Shvec V.L., Chazov K.V. Physical testing methods for wood. SPb.: SPbGLTU, 2015. 125 p.
6. Chubinskij A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishkur S.O., Bahshieva M.A. Physical non-destructive testing methods and evaluation of the structure of wood materials // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. № 11. P. 76-84.
7. Chubinskii A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishku S.O., Bakhshieva M.A. Physical Nondestructive Methods for the Testing and Evaluation of the Structure of Wood Based Materials. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. Vol. 50. № 11. P. 693-700. DOI: 10.1134/S1061830914110023.
8. Budadin O.N. Thermal non-destructive testing of products. M.: Nauka, 2002. 472p.
9. Budadin O.N., Abramova E.V., Rodin M.A., Lebedev O.V. Thermal non-destructive testing of buildings and building structures // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2003. № 5. P.77-94.
10. Fedyayeva N.Yu., Fedyayev A.A., Chubinskij A.N. Analysis of heat loss of wood fencing elements // Sovremennye problemy biologicheskogo i tekhnicheskogo drevesinovedeniya: sb. I Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. Joshkar-Ola, 2016. P. 128-130.
11. Fedyayev A.A., Chubinskij A.N., Fedyayev A.A., Fedyayeva N.Yu. Analysis of energy efficiency elements of translucent walling//Izvestia SPbLTA. 2015. Vyp. 212. P. 198-210.
12. Vavilov V.P., Klimov A.G. Thermal imagers and their applications. M.: Intel universal, 2002. 87 p.
13. Danilov O.L., Bobryakov A.V., Gavrilov A.I. Features of the thermal imaging method for determining thermal losses of building envelope // Energonadzor i ehnergoberezhnie segodnya. 2001. № 2. P. 52-57.
14. Danilov O.L., Kovalenko A.P. Influence of heat and mass transfer processes on the error in determining thermal losses by thermal imaging // Materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. «Innovaciya - 2003»: sb. nauch. st. Tashkent, 2003. P. 63-68.
15. Danilov O.L., Kovalenko A.P., Korolev D.V. Influence of the process of information on the surfaces of enclosing structures on the error in determining the thermal losses by thermal imaging // Materialy Desyatoy mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. studentov i aspirantov. Radioehlektronika i ehnergetika. M., 2004. P. 121-125.
16. Sadovich M.A., Koplík V.S., Fedyayev P.A. Study of temperature fields of monolithic structures using a thermal imager // Estestvennye i inzhenernye nauki - razvitiyu regionov Sibiri: materialy H (XXXII) Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii. 2011. P. 98-100.
17. Fedyayev A.A., Chubinskij A.N., Fedyayev A.A., Fedyayeva P.A., Tankovskaya N.Yu. Justification of the need for thermal imaging inspection of structures and structures made of wood // Sovremennye problemy pererabotki drevesiny: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. SPb., 2014. P. 23-26.
18. Fedyayev P.A., Fedyayev A.A., Fedyayeva E.S. Instrumental determination of heat losses by thermal technological installations // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta: Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki razvitiyu regionov Sibiri. 2010. T. 2. P. 53-58.
19. Fedyayev P.A., Shejshenov Zh.O. Energy assessment of selected areas of energy saving. M., 2013. Ch.1. P. 299-302.
20. Baskakov A.P., Berg B.V., Vitt O.K. Heat engineering. M.: Energoatomizdat, 1991. 224 p.
21. Fedyayeva N.Yu. Justification of energy-efficient wooden enclosing structures based on thermal imaging diagnostics: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2018. 19 p.