

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ДОМАХ С ДЕРЕВЯННЫМИ СТЕНАМИ И ДОЩАТОЙ ОБШИВКОЙ НА ОТНОСЕ

Нина Павловна Умнякова^{1,2}

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

Значительная часть России всегда была покрыта лесами и на сегодняшний день их площадь составляет около 48 % от всей территории. Поэтому традиционно различные постройки — дома, храмы, башни, крепости и другие сооружения возводились из дерева. В достаточно суровых климатических условиях русских зим вопросы сохранения тепла в домах или вопросы энергосбережения стояли очень остро. Многие элементы фасадов, которые мы сейчас воспринимаем как декоративные элементы, были предназначены для защиты наружных ограждений от дополнительных теплопотерь и проникновения холодного воздуха с улицы вглубь помещений: наличники на окнах, обшивка досками наружных углов, установка ветровых досок или причелин на торце двускатной крыши. С XVII–XVIII вв. деревянные срубы снаружи стали обшивать досками с образованием между срубом и дощатой обшивкой воздушной прослойки, которая вентилировалась через неплотности в примыканиях досок. Таким образом, уже в те времена деревянные срубы с обшивкой досками представляли собой вентилируемые фасады, которые в настоящее время получили широкое распространение. В статье приводятся результаты исследований по оценке теплозащитных качеств дощатых обшивок при наличии воздушных прослоек с учетом и инфильтрации наружного воздуха через обшивку. Проведенные исследования показали, что наличие дощатой обшивки позволяет повысить температуру на внутренней поверхности сруба в зоне припазовки на 3,5–5,0 °C и уменьшить вероятность образования конденсата. Решение балансового уравнения теплопередачи через наружную бревенчатую стену с воздушной прослойкой и обшивкой досками позволило получить аналитическое выражение для расчета температуры в воздушной прослойке в зависимости от скорости ветра, количества инфильтрующегося воздуха при различных примыканиях досок друг к другу и оценить теплозащитные характеристики деревянной обшивки из досок на основе бревенчатой стены с учетом инфильтрации. В дальнейшем данную методику можно использовать при расчете тепловой защиты наружных стен, обшитых современным сайдингом.

Ключевые слова: деревянный сруб, температура, инфильтрация, дощатая обшивка, воздухопроницаемость, теплопередача, тепловая защита

Для цитирования: Умнякова Н.П. Обеспечение энергосбережения в домах с деревянными стенами и дощатой обшивкой на основе // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 80–89. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.80-89

ENERGY SAVINGS OF LOG HOUSES WITH WOODEN WALL AND BOARD SIDING WITH AIR GAP

Nina P. Umnyakova^{1,2}

¹ Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

A significant part of Russian lands has always been covered by forests, and today they account for approximately 48 % of the country's total territory. Therefore, various buildings — houses, churches, towers, fortresses, and other structures — were traditionally constructed of wood. In the relatively harsh climate of Russian and severe winter frosts, heat preservation and energy conservation were particularly pressing issues. Many facade elements that we now perceive as decorative elements were intended to protect external enclosures from additional heat loss and the penetration of cold air from the street into the interior of the premises: window frames, boarding of external corners, installation of wind boards or vergeboard on the end of a gable roof. Beginning in the 17th and 18th centuries, wooden log houses began to be covered with wooden boards on the exterior, creating an air gap between the log house and the board siding, which allowed ventilation through the gaps in the board connections. Thus, wooden log houses with wooden board siding represented ventilated facades, a feature that is now widely used. This article presents the results of studies evaluating the thermal insulation properties of wooden board siding with air gaps, considering outside air infiltration through the gaps between the boards. The studies showed that the presence of board siding increases the temperature on the interior surface of the log house in the joint

area by 3.5–5.0 °C and reduces the probability of condensate formation. The solution of the balance equation for heat transfer through an external log wall with an air gap and board siding allowed us to obtain an analytical expression for calculating the temperature in the air gap depending on the wind speed and the amount of infiltrating air at various board abutments, and to evaluate the thermal insulation characteristics of wooden board siding on the log wall, considering infiltration. In the future, this method can be used to calculate the thermal protection of external walls covered with modern siding.

Keywords: wooden log house, temperature, infiltration, wooden board siding, air permeability, heat transfer, thermal protection

For citation: Umnyakova N.P. Energy savings of log houses with wooden wall and board siding with air gap. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2026; 1:80-89. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.80-89 (rus.).

Отличительной особенностью климата на территории Российского государства были низкие зимние температуры. Мороз в Центральной России обычно воспринимается как температура ниже –20 °C, просто холод — нормальная для зимнего времени температура между –10 и –20 °C [1]. Анализ температурных показателей случайно выбранных лет середины XVII в. дает основания утверждать, что XVII столетие на Руси относилось к «малому ледниковому периоду» [2]. И, несмотря на произошедшее потепление в конце XX – начале XXI в. [3], российский климат остается достаточно суровым. Поэтому вопросы обеспечения энергосбережения в домах, деревянных срубах, которые были широко распространены по всей Руси, остается актуальным по сей день.

Одним из самых распространенных материалов на Руси была древесина. Большая часть России, Сибирь, Русский Север были покрыты девственными лесами. Древесина была самым доступным материалом, легко обрабатываемым, достаточно легким и с хорошими теплозащитными качествами. Поэтому дома, храмы, башни, крепостные стены и другие постройки, возведенные из деревянных бревен, были распространены по всей территории России (рис. 1).

При возведении деревянных домов плотники всегда использовали топор: его лезвие во время рубки рассекает древесину, «заминает» волокна и уплотняет поры. Благодаря этому влага практически не проникает в поры древесины. А при использовании пилы в месте распила древесина «распушается», влага свободно проникает вглубь пор и древесина загнивает достаточно быстро. Заметив эту особенность, плотники в основном рубили дома топором, и поэтому рубленные постройки стали называться срубами.

Достаточно суровые климатические условия на Руси с холодными и продолжительными зимами приучили жителей делать все для сохранения тепла. Поэтому как основные элементы сруба, так и декоративные были нацелены на обеспечение защиты от холода.

На рис. 2 показан старый деревянный дом, богато декорированный резными деревянными украшениями. На первый взгляд эти элементы являются украшением фасада дома, однако они выполняют и защитные функции. Например, наличники на окнах, которые придают архитектурную выразительность, своеобразие постройке и подчеркивают оконный проем, защищают зону примыкания оконного блока



Рис. 1. Традиционные для Руси рубленные деревянные дома: деревянная изба крестьянина, музей деревянного зодчества, Суздаль



Рис. 2. Деревянный дом в Нижнем Новгороде

к деревянной стене от продувания и проникновения холодного воздуха внутрь помещения. Деревянная обшивка досками выступающих торцов бревен на углах дома позволяет защитить открытые торцы бревен от проникновения влаги и несколько утеплить наружный угол. Обязательным элементом деревянной избы была причелина или ветровая планка — доска, расположенная на фасаде дома, закрывающая торцы сруба либо крыши и защищающая подкровельное пространство от продувания. Такие доски обычно украшались различным орнаментом и придавали своеобразный облик каждому дому, которые украшали [4].

В XVII–XVIII вв. деревянные срубы стали снаружи обшивать досками. И существует предположение,

что деревянный дворец царя Алексея Михайловича в Коломенском снаружи имел дощатую деревянную обшивку (рис. 3).

В те времена деревянную обшивку досками позволить себе мог только состоятельный владелец дома, так как процесс изготовления досок был достаточно трудоемким: бревна топорами расщепляли вдоль волокон и в результате получали доски. Однако с течением времени технология изготовления досок сильно упростилась и уже в XIX в. деревянные срубы очень часто обшивали досками. В результате между бревнами и досками обшивки образовывалось воздушное пространство, которое вентилировалось через неплотности досок обшивки. И такая конструкция деревянной стены представ-



Рис. 3. Дворец царя Алексея Михайловича в Коломенском. Архивная акварель

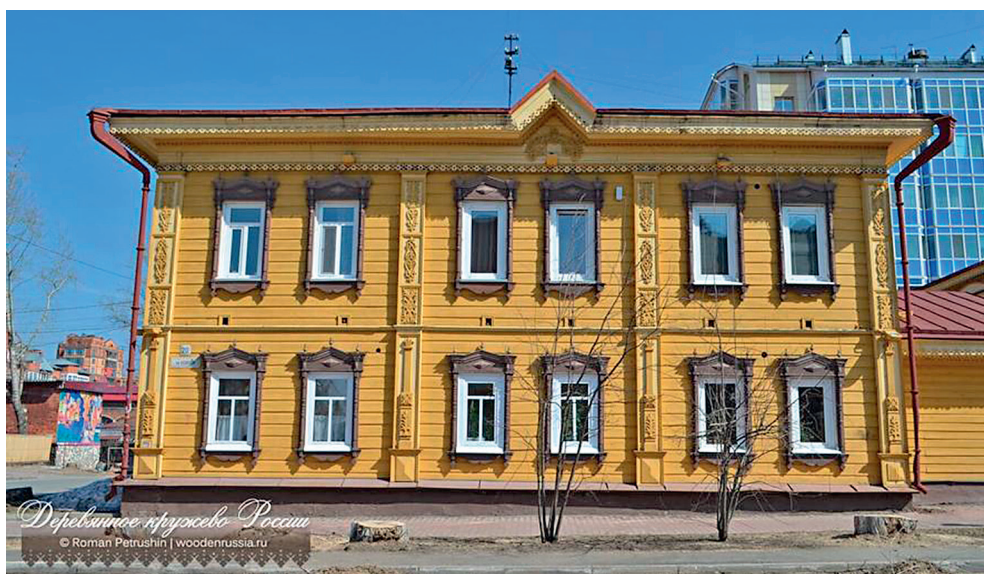


Рис. 4. Деревянный дом с обшивкой из досок в Томске

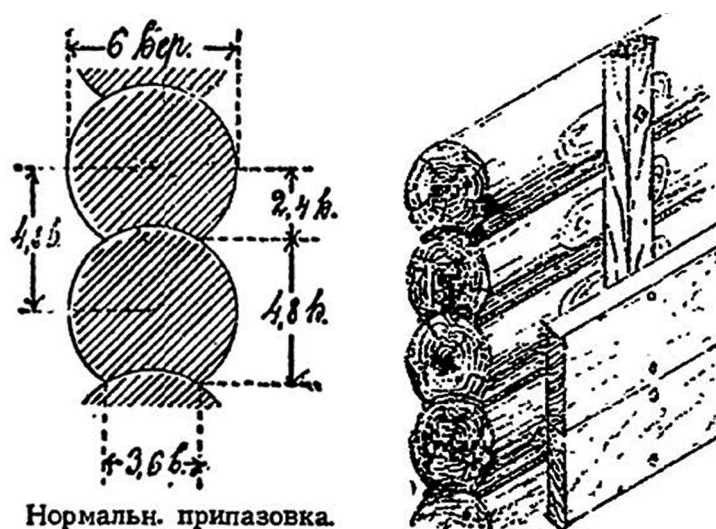


Рис. 5. Обшивка сруба деревянными досками по брускам с образованием воздушного пространства между бревнами и досками обшивки с нормальной припазовкой 6-вершковых бревен

ляла собой вентилируемый фасад [5, 6]. Многие из построек того времени с деревянной дощатой обшивкой сохранились и до сегодняшних дней (рис. 4). Помимо защиты бревен сруба от непосредственного попадания влаги при дожде или снегопаде, деревянная обшивка с воздушной прослойкой позволяла повысить теплозащитные качества деревянной стены. При этом необходимо было учитывать, что в срубе из бревен в местах примыкания бревен друг к другу (в зоне припазовки) толщина стены резко уменьшается и создаются условия для ее промерзания.

В Урочном положении [7], подготовленном еще во второй половине XIX в. графом Н.И. де-Рошефором, отмечается, что «критическое место деревянной стены составляет ее припазовка (ширина паза на пакле): чтобы стена не промерзала, припазовка

должна быть шириною в 3,6 вершка¹, а это возможно только при 6-вершковом лесе; с бревнами в 41/2 до 5 вершков припазовка выходит в 2 вершка и такие стены в северной полосе промерзают» (рис. 5).

Анализ характера распределения температур на поверхности бревенчатой стены показал, что наличие воздушной прослойки и дощатой обшивки на отnose позволяет улучшить теплозащитные качества рубленой стены (рис. 6, 7).

Проведенные расчеты температурных полей показали, что на внутренней стороне бревенчатой стены в зоне припазовки при отсутствии дощатой обшивки при припазовке, равной 15,5 см, температура внутренней поверхности опускается: при $t_n = -20^\circ\text{C}$ до $11,46^\circ\text{C}$; при $t_n = -30^\circ\text{C}$ до $9,77^\circ\text{C}$;

¹ 1 вершок = 4,445 см; 2 вершка = 8,89 см; 3,6 вершка = 16 см.

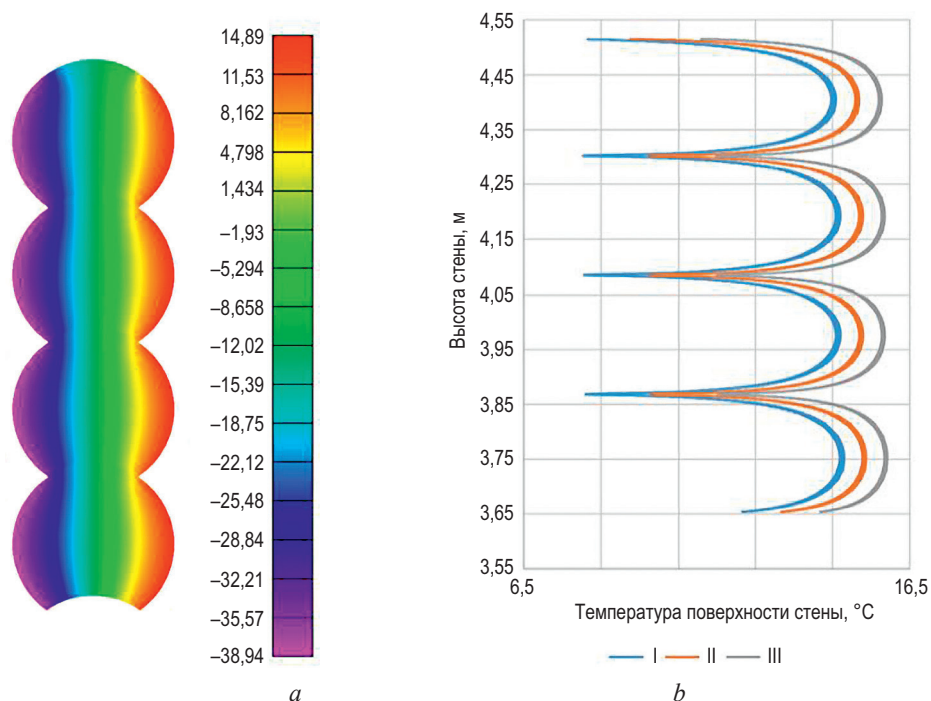


Рис. 6. Распределение температур в толще и по внутренней поверхности бревенчатой стены толщиной 26 см с припазовкой 15,5 см: *a* — температурное поле в толще стены при $t_b = +18\text{ °C}$, $t_n = -40\text{ °C}$; *b* — распределение температур по поверхности стены при: I — $t_b = +18\text{ °C}$, $t_n = -40\text{ °C}$; II — $t_b = +18\text{ °C}$, $t_n = -30\text{ °C}$; III — $t_b = +18\text{ °C}$, $t_n = -20\text{ °C}$

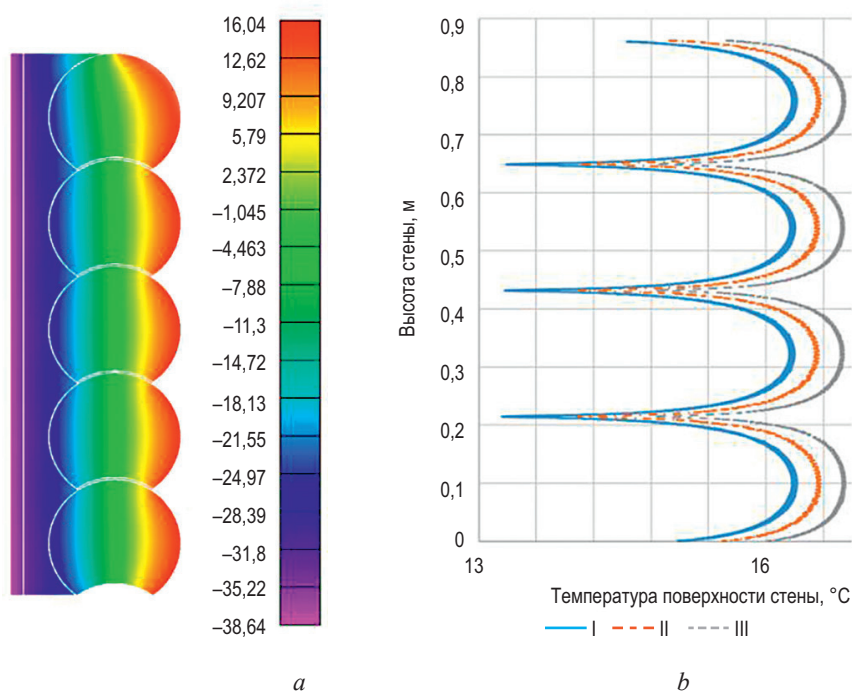


Рис. 7. Распределение температур в толще и по внутренней поверхности бревенчатой стены толщиной 26 см с припазовкой бревен 15,5 см и конопаткой паклей с деревянной обшивкой из досок при толщине воздушного пространства 0,06 м: *a* — изополя температур в толще стены при $t_b = +18\text{ °C}$, $t_n = -40\text{ °C}$; *b* — распределение температур по поверхности стены при: I — $t_b = +18\text{ °C}$, $t_n = -40\text{ °C}$; II — $t_b = +18\text{ °C}$, $t_n = -30\text{ °C}$; III — $t_b = +18\text{ °C}$, $t_n = -20\text{ °C}$

при $t_n = -40\text{ °C}$ до $8,52\text{ °C}$. При температуре внутреннего воздуха $t_b = 18\text{ °C}$ конденсат на внутренней поверхности стены в зоне припазовки будет образовываться, соответственно, при влажности внутреннего воздуха выше 65, 58 и 53 %.

Устройство деревянной обшивки на отnose при толщине воздушного пространства 0,06 м с наружной стороны сруба позволяет повысить температуру на внутренней поверхности бревенчатой стены при припазовке, равной 15,5 см: при $t_n = -20\text{ °C}$ до

14,89 °С; при $t_n = -30$ °С до 14,21 °С; при $t_n = -40$ °С до 13,48 °С. При температуре внутреннего воздуха $t_{в} = 18$ °С конденсат будет образовываться в зоне припазовки при влажности внутреннего воздуха при значительно более высокой влажности, соответственно выше 82, 78 и 75 %.

Таким образом, наличие дощатой обшивки с наружной стороны сруба позволяет улучшить тепловую защиту наружных стен, повысить температуру в зоне припазовки бревен и уменьшить вероятность образования конденсата на внутренней поверхности сруба.

В реальных условиях эксплуатации через дощатую обшивку при воздействии ветра холодный воздух проникает внутрь воздушной прослойки, что приводит к дополнительным инфильтрационным потерям теплоты.

Проанализируем влияние инфильтрации воздуха через деревянную обшивку из досок на температурный режим воздушных прослоек на основе решения уравнения теплового баланса. Величина теплового потока с учетом инфильтрации через деревянную обшивку из досок будет:

$$Q_{об}^{инф} = K_{об}^{инф} (t - t_n), \quad (1)$$

где $K_{об}^{инф}$ — коэффициент теплопередачи через дощатую обшивку с учетом инфильтрации, Вт/(м²·°С); t_n — температура наружного воздуха, °С.

Для определения коэффициента теплопередачи при инфильтрации воспользуемся формулой, предложенной в работе [8]:

$$K_{об}^{инф} = K_{об} + \Delta K = K_{об} + \frac{cW(K_{об} + cW)}{2K_{об} + cW}, \quad (2)$$

где $K_{об}$ — коэффициент теплопередачи через деревянную обшивку без учета инфильтрации, Вт/(м²·°С); cW — коэффициент фильтрационного теплообмена, Вт/(м²·°С).

Для оценки тепловой защиты деревянных стен с обшивкой воспользуемся данными по воздухопроницаемости дощатой обшивки i , представленными в работе [9], для различных видов примыкания досок друг к другу:

- при обрезных досках впритык: $i = 12,4$ кг/(м²·ч·Па);
- при обрезных досках в четверть: $i = 8,2$ кг/(м²·ч·Па);
- при шпунтованных досках: $i = 0,7$ кг/(м²·ч·Па).

Разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхности деревянной обшивки из досок, вызванную действием ветрового напора, определим по следующему выражению [10]:

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_n - \gamma_{воз.пр}) + 0,03\gamma_n v^2, \quad (3)$$

где H — высота здания по вертикали, м;

$\gamma_n, \gamma_{воз.пр}$ — плотность наружного воздуха и воздуха в воздушном пространстве, кг/м³;

v — расчетная скорость ветра, м/с.

Сопротивление воздухопроницанию определяется по формуле:

$$R_u = \delta/i,$$

где δ — толщина слоя, м;

i — коэффициент воздухопроницаемости материала, кг/(м²·ч·Па);

и по формуле:

$$R_u = \Delta p/W,$$

где Δp — разность давлений воздуха, Па;

W — количество фильтрующегося воздуха, кг/(м²·ч).

Приравнявая выражения для вычисления сопротивления воздухопроницания друг другу, получим: $\delta/i = \Delta p/W$, откуда $W = \Delta p i / \delta$, где $i/\delta = J$ с размерностью [кг/(м²·ч·Па)] и Δp , Па. Тогда количество фильтрующегося воздуха, кг/(м²·ч), проходящего через деревянную обшивку из досок, будет:

$$W = J \Delta p. \quad (4)$$

Проведем теплотехнический расчет наружной бревенчатой стены двухэтажного дома с высотой этажа 3 м. Расчет проводим для температуры внутреннего воздуха плюс 18 °С и наружного воздуха минус 26 °С. Наружная стена выполнена из бревен толщиной 0,26 м с деревянной обшивкой из досок толщиной 0,02 м и воздушной прослойкой между бревнами и дощатой обшивкой толщиной 0,06 м. Расчетная скорость ветра 4,9 м/с.

При проведении инженерных теплотехнических расчетов заменим бревна сруба диаметром 0,26 м на эквивалентный по сечению брус размером 0,22 × 0,22 м. Вычисляем, что средняя температура воздуха в воздушном пространстве между деревянной стеной и дощатой обшивкой составляет минус 19,86 °С.

По формуле (4) определим Δp для наружной деревянной обшивки из досок первого этажа. При этом примем, что при температуре наружного воздуха -26 °С его плотность равна $\gamma = 1,43$ кг/м³; при температуре воздуха в воздушном пространстве $-19,86$ °С его плотность равна $\gamma = 1,38$ кг/м³. Тогда Δp будет:

$$\Delta p = 0,55 \cdot 6 \cdot (1,43 - 1,38) + 0,03 \cdot 1,43 \cdot 24,01 = 1,19 \text{ Па.}$$

Количество воздуха, проходящего через деревянную дощатую обшивку, составит (рис. 8):

- при обрезных досках впритык: $W = 12,4 \cdot 1,19 = 14,766$ кг/(м²·ч);
- при обрезных досках в четверть: $W = 8,2 \cdot 1,19 = 9,760$ кг/(м²·ч);
- при шпунтованных досках: $W = 0,7 \cdot 1,19 = 0,833$ кг/(м²·ч).

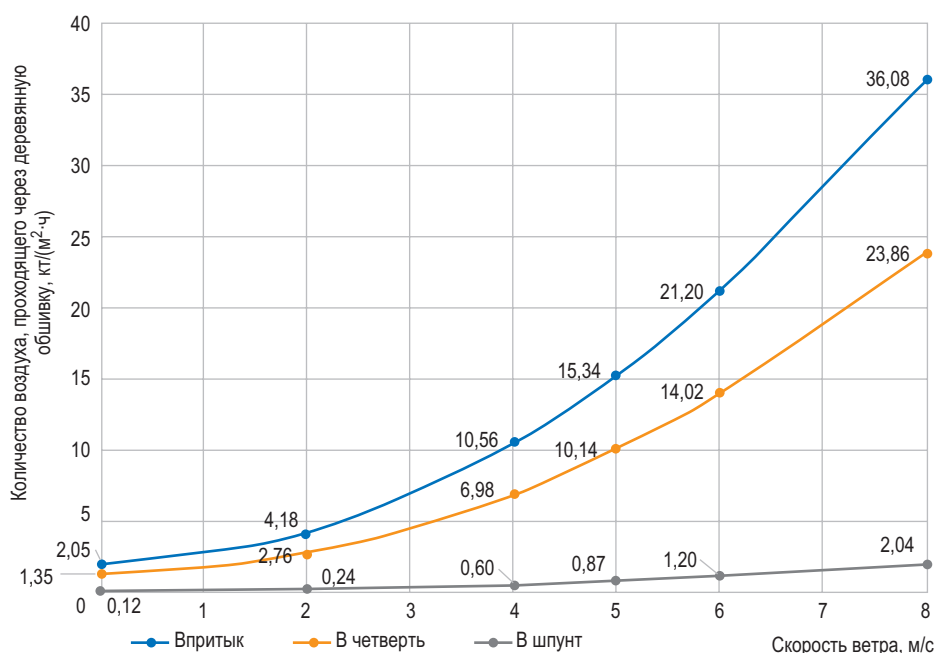


Рис. 8. Графики зависимости количества воздуха, проходящего через наружную обшивку, от скорости ветра при $\Delta p = 1,19$ Па

Определим численные значения коэффициента фильтрационного теплообмена для различных вариантов сопряжения досок при разном количестве инфильтрующего воздуха:

- при обрезных досках впритык: $cW = 0,278 \times 14,766 = 4,102 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- при обрезных досках в четверть: $cW = 0,278 \times 9,760 = 4,713 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- при шпунтованных досках: $cW = 0,278 \cdot 0,833 = 0,232 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Сопротивление теплопередаче деревянной обшивки из досок составит:

$$R_{\text{о.дер}} = R_{\text{н}} + \delta/\lambda + R_{\text{в.п}} = 0,043 + 0,02/0,18 + 0,075 = 0,229 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$$

или $K_{\text{об}} = 4,366 \approx 4,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Коэффициент теплопередачи деревянной обшивки с учетом инфильтрации, вычисляемый по формуле (2), составит:

- для обрезных досок впритык:

$$K_{\text{об}}^{\text{инф}} = 4,366 + \frac{4,102(4,366 + 4,102)}{2 \cdot 4,366 + 4,102} = 7,071 = 7,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

- для обрезных досок в четверть:

$$K_{\text{об}}^{\text{инф}} = 4,366 + \frac{2,713(4,366 + 2,713)}{2 \cdot 4,366 + 2,713} = 6,043 = 6,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

- для шпунтованных досок:

$$K_{\text{об}}^{\text{инф}} = 4,366 + \frac{0,232(4,366 + 0,232)}{2 \cdot 4,366 + 0,232} = 4,483 = 4,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Как видно из расчетов, при воздействии инфильтрации наружного воздуха теплозащитные качества дощатой обшивки ухудшаются и меняются в зависимости от вида сопряжения досок обшивки. Так, при обрезных досках впритык тепловая защита обшивки ухудшается на 61,7 %, для обрезных досок в четверть — на 38,2 %, а при шпунтованных досках — на 2,5 %.

Для нахождения зависимости температуры воздуха в воздушной прослойке от воздухопроницаемости и, соответственно, коэффициента теплопередачи дощатой обшивки при инфильтрации рассмотрим процесс передачи теплоты через наружную стену с дощатой обшивкой.

Величина теплового потока, поступающая из помещения через деревянный сруб $Q_{\text{дер.сруб}}$, в воздушное пространство будет:

$$Q_{\text{дер.сруб}} = K_{\text{дер.сруб}}(t_{\text{в}} - t), \quad (5)$$

где $K_{\text{дер.сруб}}$ — коэффициент теплопередачи деревянного сруба, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ и

$$K_{\text{дер.сруб}} = \left(R_{\text{в}} + \frac{\delta_{\text{дер.сруб}}}{\lambda_{\text{дер.сруб}}} + R_{\text{воз.пр}} \right)^{-1}$$

$R_{\text{в}}$ — сопротивление теплоотдачи внутренней поверхности $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$;

$\delta_{\text{дер.сруб}}$ — толщина деревянного сруба, м;

$\lambda_{\text{дер.сруб}}$ — коэффициент теплопроводности деревянного сруба $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$R_{\text{воз.пр}}$ — сопротивление теплоотдачи поверхности сруба, обращенной в воздушное пространство $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$. Подставляя численные значения, получим: $K_{\text{дер.сруб}} = (0,115 + 0,22/0,18 + 0,075)^{-1} = 0,709 \approx 0,71 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Количество теплоты, затрачиваемое на нагрев воздуха в воздушном пространстве при изменении температуры без учета инфильтрации и с ней, будет:

$$\Delta Q = cWdt. \quad (6)$$

Рассмотренные уравнения (1), (5) и (6) позволяют для стационарных условий теплопередачи написать уравнение теплового баланса в следующем виде:

$$Q_{\text{дер.сруб}} - Q_{\text{об}}^{\text{инф}} = \Delta Q$$

или

$$K_{\text{дер.сруб}}(t_v - t)dF - K_{\text{об}}^{\text{инф}}(t - t_n)dF = cWdt; \quad (7)$$

$$[(K_{\text{дер.сруб}}t_v + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_n) - (K_{\text{дер.сруб}}t + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t)]dF = cWdt. \quad (8)$$

Обозначим $A = K_{\text{дер.сруб}}t_v + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_n$ и $B = (K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}})t$, тогда уравнение (8) переписывается в виде:

$$(A - Bt)dF = cWdt. \quad (9)$$

Принимаем $A - Bt = x$ и про дифференцируем $dx = (A - Bt) = -Bdt$, тогда:

$$dt = -\frac{1}{B}dx; \int \frac{dt}{A - Bt} = \int \frac{-\frac{1}{B}dx}{x} = -\frac{1}{B} \int \frac{dx}{x}$$

и получим $-\frac{1}{B} \int \frac{d(A - Bt)}{A - Bt}$.

Произведем интегрирование от 0 до F и от $t_{\text{воз.пр}}$ до $t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}$:

$$\int_{F_0}^F \frac{dF}{cW} = \int_{t_{\text{воз.пр}}}^{t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}} \frac{dt}{A - Bt}$$

или

$$\int_0^F \frac{dF}{cW} = -\frac{1}{B} \int_{t_{\text{воз.пр}}}^{t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}} \frac{d(A - Bt)}{A - Bt} = -\frac{1}{B} \ln(A - Bt) \Big|_{t_{\text{воз.пр}}}^{t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}}. \quad (10)$$

После интегрирования уравнения (10) оно примет следующий вид:

$$-\frac{1}{B} \ln(A - Bt_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}) + \frac{1}{B} \ln(A - Bt_{\text{воз.пр}}) = \frac{F_0}{cW}$$

или

$$-\frac{1}{B} \ln \frac{(A - Bt_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}})}{(A - Bt_{\text{воз.пр}})} = \frac{F_0}{cW}. \quad (11)$$

Поскольку F_0 изменяется от 0 до F и t изменяется от $t_{\text{воз.пр}}$ до $t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}}$, уравнение (9) примет следующий вид:

$$\frac{B}{cW} F = -\ln \frac{(A - Bt_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}})}{(A - Bt_{\text{воз.пр}})}$$

или

$$e^{-\frac{B}{cW}F} = \frac{(A - Bt_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}})}{(A - Bt_{\text{воз.пр}})}. \quad (12)$$

Из уравнения (12) получим температуру воздуха в воздушном пространстве при инфильтрации наружного воздуха через деревянную обшивку:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{A}{B} - \left(\frac{A}{B} - t_{\text{воз.пр}} \right) e^{-\frac{B}{cW}F}. \quad (13)$$

При подстановке в уравнение (13) значений A и B получим уравнение (14):

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{K_{\text{дер.сруб}}t_v + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_n}{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}} - \left(\frac{K_{\text{дер.сруб}}t_v + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_n}{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}} - t_{\text{воз.пр}} \right) e^{-\frac{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}}{cW}F}. \quad (14)$$

Если принять $F = 1 \text{ м}^2$, то уравнение (14) определения температуры воздуха в воздушном пространстве при инфильтрации воздуха через дощатую обшивку примет следующий вид:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{K_{\text{дер.сруб}}t_v + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_n}{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}} - \left(\frac{K_{\text{дер.сруб}}t_v + K_{\text{об}}^{\text{инф}}t_n}{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}} - t_{\text{воз.пр}} \right) e^{-\frac{K_{\text{дер.сруб}} + K_{\text{об}}^{\text{инф}}}{cW}}. \quad (15)$$

По формуле (15) определяем среднюю температуру воздуха в воздушном пространстве при инфильтрации наружного воздуха через деревянную обшивку:

- из обрезных досок впритык:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{0,709 \cdot 18 + 7,071 \cdot (-26)}{0,709 + 7,071} - \left[\frac{0,709 \cdot 18 + 7,071 \cdot (-26)}{0,709 + 7,071} + 19,86 \right] e^{-\frac{0,709 + 7,071}{4,102}} = -22,10^\circ\text{C};$$

- из обрезных досок в четверть:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{0,709 \cdot 18 + 6,043 \cdot (-26)}{0,709 + 6,043} - \left[\frac{0,709 \cdot 18 + 6,043 \cdot (-26)}{0,709 + 6,043} + 19,86 \right] e^{-\frac{0,709 + 6,043}{2,713}} = -21,79^\circ\text{C};$$

- из шпунтованных досок:

$$t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = \frac{0,709 \cdot 18 + 4,472 \cdot (-26)}{0,709 + 4,472} - \left[\frac{0,709 \cdot 18 + 4,472 \cdot (-26)}{0,709 + 4,472} + 19,86 \right] e^{-\frac{0,709 + 4,472}{0,232}} = -20,74^\circ\text{C}.$$

Как видно, разница температур между температурой воздуха в воздушном пространстве без учета инфильтрации и с учетом инфильтрации составила:

- для обрезных досок впритык: $t_{\text{воз.пр}} - t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = -19,86 + 22,10 = 2,24 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- для обрезных досок в четверть: $t_{\text{воз.пр}} - t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = -19,86 + 21,79 = 1,96 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- для шпунтованных досок: $t_{\text{воз.пр}} - t_{\text{воз.пр}}^{\text{инф}} = -19,86 + 20,74 = 0,88 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Полученное уравнение (15) позволяет рассмотреть стационарный тепловой процесс поступления наружного воздуха в воздушное пространство и определить температуру в нем воздуха при инфильтрации. Результаты расчетов по формуле (15) для различных температур наружного воздуха представлены на рис. 7. Как следует из графика, на температуру воздуха в воздушном пространстве оказывает влияние количество воздуха, проходящее через обшивку, которое, в свою очередь, зависит от вида сопряжения досок обшивки — в шпунт, в четверть или впритык.

Анализ результатов расчетов по формуле (15) показал, что с понижением температуры наружного воздуха влияние инфильтрации на температуру воздуха в воздушном пространстве увеличивается. Наиболее высокие температуры воздуха наблюдаются в случае малой воздухопроницаемости дощатой обшивки при сопряжении досок в шпунт, наиболее низкие — при большой воздухопроницаемости дощатой обшивки. При сопряжении досок впритык температуры в воздушном пространстве наиболее низкие.

Разработанную методику расчета температуры воздуха в вентилируемой воздушной прослойке при воздухопроницаемой обшивке и методику расчета тепловой защиты наружных стен с дощатой обшивкой при инфильтрации наружного воздуха можно использовать при теплотехническом расчете наружных стен, обшитых современным сайдингом.

Таким образом на основании проведенных исследований получены следующие выводы.

1. Для повышения теплоизоляционных качеств наружных стен на Руси использовались различные элементы, которые впоследствии украшались и

сейчас воспринимаются как декоративные, хотя их основным функциональным назначением является тепловая защита. В частности, устройство дощатой обшивки на наружной поверхности рубленых стен позволяет повысить теплозащитные качества этих ограждений и создает условия для декоративной отделки дома.

2. Проведенные исследования показали, что деревянные стены из бревен (или бруса) с дощатой обшивкой на отnose и вентилируемой воздушной прослойкой, возводимые на Руси с XVII–XVIII вв., являются прообразами современных навесных вентилируемых фасадных систем.

3. В результате математического моделирования методом конечных элементов конструкций бревенчатой стены с воздушным пространством и дощатой обшивкой на отnose получена картина распределения температур по внутренней поверхности бревенчатых стен, позволившая установить, что наличие обшивки из досок с воздушным пространством в конструкции бревенчатого сруба позволяет улучшить тепловую защиту стен и повысить температуру на их внутренних поверхностях.

4. Разработанная методика расчета коэффициента теплопередачи дощатой обшивки показала, что ее устройство на наружной поверхности брусчатых стен способствует повышению теплозащитных качеств ограждения как при наличии инфильтрации, так и при ее отсутствии.

5. На основе разработанного метода расчета для конструкции вентилируемого фасада, состоящей из бревенчатой стены и дощатой обшивки на отnose, получена аналитическая зависимость для расчета температуры в вентилируемом воздушном пространстве при инфильтрации наружного воздуха через деревянные обшивки с различной воздухопроницаемостью.

6. Разработанные в статье методы теплотехнических расчетов деревянных стен с дощатой обшивкой на отnose в дальнейшем могут быть использованы при оценке тепловой защиты стен с обшивкой современным сайдингом из винила (ПВХ), металла (сталь, алюминий), древесно-полимерного композита (ДПК), фиброцемента и керамики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Канищев В.В., Мизис Ю.А. К вопросу о методах историко-климатических исследований: московские погоды в середине XVII и середине XX вв. // История и современность. 2014. № 2 (20). С. 17–28.
2. Слепцов А.М., Клименко В.В. Обобщение палеоклиматических данных и реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет // История и современность. 2005. Т. 1. С. 118–135.
3. Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М. Климатические изменения на территории России в конце XX – начале XXI века // Метеорология и гидрология. 2021. № 10. С. 14–26. DOI: 10.52002/0130-2906-2021-10-14-26
4. URL: <https://bydom.ru/news/read/uznajte-cto-takoe-prichelina-i-posmotrite-foto-elementov-drevnerusskogozodchestva.html>

5. Подъяпольский С.С., Бессонов Г.Б., Беляев Л.А., Постников Т.М. Реставрация памятников архитектуры : уч. пос. для вузов. М. : Стройиздат, 1988. 264 с.
6. Умнякова Н.П. Прообразы конструкций вентилируемых фасадов в зданиях Древней Руси // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 25–28.
7. Рошефор Н.И. Иллюстрированное Урочное положение. Пособие при составлении и проверки смет, проектировании и исполнении работ. М., 1906. 730 с.
8. Власов О.Е. Основы строительной теплотехники // ВИА РККА. М., 1938. 93 с.
9. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. 5-е изд., пересмотр. / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. М. : АВОК–ПРЕСС, 2006. 256 с.
10. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. М., 2012. 87 с.

Об авторе: **Нина Павловна Умнякова** — доктор техн. наук, заместитель директора по науке; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; доцент, профессор кафедры ПГС; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: n.umniakova@mail.ru.

REFERENCES

1. Kanishchev V.V., Mizis Yu.A. On the Methods of Historical and Climatic Research: Moscow Weather in the Mid-17th and Mid-20th Centuries. *History and Modernity*. 2014; 2(20):17-28. (rus.).
2. Sleptsov A.M., Klimenko V.V. Generalization of Paleoclimatic Data and Reconstruction of the Climate of Eastern Europe over the Past 2000 Years. *History and Modernity*. 2005; 1:118-135. (rus.).
3. Perevedentsev Yu.P., Vasiliev A.A., Sherstyukov B.G., Shantalinsky K.M. Climatic Changes in Russia at the End of the Twentieth — Beginning of the Twenty-first Century. *Meteorology and Hydrology*. 2021; 10:14-26. DOI: 10.52002/0130-2906-2021-10-14-26 (rus.).
4. URL: <https://bydom.ru/news/read/uznajte-cto-takoe-prichelina-i-posmotrite-foto-elementov-drevnerusskogo-zodchestva.html>
5. Pod'yapol'sky S.S., Bessonov G.B., Belyaev L.A., Postnikov T.M. *Restoration of Architectural Monuments : a Text-book for Universities*. Moscow, Stroyizdat, 1988; 264. (rus.).
6. Umnyakova N.P. Prototypes of Ventilated Facade Designs in Buildings of Ancient Rus. *Housing Construction*. 2012; 6:25-28. (rus.).
7. Rochefort N.I. *Illustrated Lesson Regulations. A Guide to Preparing and Checking Estimates, Designing and Executing Work*. Moscow, 1906; 730. (rus.).
8. Vlasov O.E. Fundamentals of Structural Thermal Engineering. *VIA RKKA*. Moscow, 1938; 93. (rus.).
9. Fokin K.F. *Structural Thermal Engineering of Building Enclosures. 5th edition, revised*. Ed. Yu.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin. Moscow, AVOK-PRESS, 2006; 256. (rus.).
10. SP 50.13330.2012. Thermal Protection of Buildings. Updated Version of SNiP 23-02–2003. Moscow, 2012; 87. (rus.).

About the author: **Nina P. Umnyakova** — D. Sc. in Engineering, Deputy Director; **Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokonotive passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Assoc. Prof., professor of the Department of Industrial and Civil Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: n.umniakova@mail.ru.