

## НОВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ДЕРЕВЯННЫЙ БРУС ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**В.Ю. Юдин**, *iudinvi@susu.ru*

*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия*

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные аспекты деревянного малоэтажного домостроения – экологический, экономический и эстетический. Экология – деревянный дом является экологически чистым и безопасным для здоровья жильём. Экономика – деревянные дома обычно стоят меньше, чем каменные или кирпичные, и требуют меньше энергии для обогрева. Эстетика – деревянный дом может иметь уникальный и привлекательный внешний вид благодаря различным способам отделки и декоративного украшения. В связи с новыми современными требованиями по теплотехнике ограждающих конструкций и в результате проведенного анализа был разработан новый композиционный строительный материал «Композиционный деревянный брус» для малоэтажного домостроения. Произведены теоретические расчеты и сравнение сопротивления теплопередаче для клееного профилированного бруса и композиционного деревянного бруса, а также на сопротивление паропроницанию нового строительного материала.

**Ключевые слова:** композиционный брус, теплый брус, теплопроводность бруса, паропроницание бруса, малоэтажное строительство

**Для цитирования.** Юдин В.Ю. Новый композиционный деревянный брус для малоэтажного строительства // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 4. С. 27–34. DOI: 10.14529/build230403

Original article  
DOI: 10.14529/build230403

## NEW COMPOSITE WOODEN BEAM FOR LOW-RISE CONSTRUCTION

**V. Yu. Yudin**, *iudinvi@susu.ru*

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

**Abstract.** The article discusses three main aspects of wooden low-rise housing construction that is environmental, economic and aesthetic ones. A wooden house is an environmentally friendly and healthy housing. Wooden houses usually cost less than stone or brick ones and require less energy for heating. Wooden houses can have a unique and attractive appearance thanks to various methods of finishing and decoration. The paper analyzes the new requirements for thermal engineering of enclosing structures and focuses on a new composite building material “Composite wooden beams” developed for low-rise housing construction. It presents the results of theoretical calculations and comparisons of heat transfer resistance for laminated timber and composite wooden beams, as well as the vapor permeability resistance of the new building material.

**Keywords:** composite timber, warm timber, thermal conductivity of timber, vapor permeability of timber, low-rise construction

**For citation.** Yudin V.Yu. New composite wooden beam for low-rise construction. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(4):27–34. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230403

### **Введение**

Древесина – это материал, который имеет богатую историю в России. Она использовалась для создания различных предметов для дома, строительства христианских храмов, домов, крепостей и многое другое. Это показывает, что дерево было доступным и важным материалом в культуре России и что его использование имеет глубокие корни. Начало индустриализации деревянного домостроения происходило в России [1], домокомплекты изготавливали в местах заготовки леса в специальных удобных производственных местах, далее готовую продукцию перевозили и монтировали у заказчика [2]. Климатические условия проживания и природная смекалка россиян определили подобный результат. Но и сейчас, в эпоху ультрасовременных технологий и материалов, интерес к деревянному домостроению по-прежнему очень высок. Развитие деревянного малоэтажного домостроения [3–9] охватывает широкий спектр научных исследований, что отражает безусловную важность и актуальность данной темы. Большой интерес для строителей и архитекторов представляют композиционные строительные материалы. Развитие деревянного домостроения имеет ряд преимуществ, которые делают его привлекательным для строительства индивидуальных жилых домов. Во-первых, дерево – это экологически чистый материал, который не загрязняет окружающую среду. Во-вторых, деревянные дома обладают высокой тепло- и звукоизоляцией, что делает их комфортными для проживания. В-третьих, деревянные дома имеют эстетичный вид и могут быть украшены различными пропиленными декоративными элементами [10–21]. Натуральное дерево позволяет воплотить практически любые строительные и архитектурно-художественные идеи на практике.

### **Анализ технологий домостроения**

В настоящее время применение древесины для возведения ограждающих конструкций ограничено в основном малоэтажным домостроением, но в этой области дерево по-прежнему сохраняет лидирующее положение, хотя традиционное бревно постепенно уступает место брусу. Это вызвано как экономическими причинами (быстрой сборкой дома и существенным уменьшением доли ручного труда), так и пониженными требованиями к квалификации исполнителей, необходимой при работе с брусом. Оцилиндрованное бревно при всех его достоинствах занимает меньший сегмент рынка из-за большей (по сравнению с обычным пиленым брусом) стоимости.

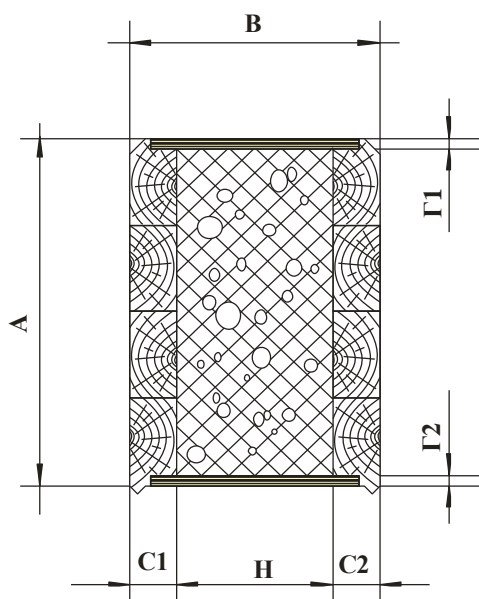
На рынке существует несколько различных технологий деревянного домостроения, включая каркасные дома, дома из бруса и дома из оцилиндрованного бревна. Каждая технология имеет свои преимущества и недостатки, и выбор зависит от личных предпочтений заказчика. Деревянный дом

должен служить нескольким поколениям – он строится на долгие годы. Для этого уже при планировании следует учесть целый ряд строительных нормативов, а при строительстве соблюдать обязательные условия, необходимые для реализации ряда главных критериев – прочности и малой теплопроводности, экологичности, эстетике и экономике.

В последнее время теплоизоляция жилых зданий стала очень важной проблемой в строительстве. Особенно это касается дачного и коттеджного строительства, где правильная теплоизоляция может снизить расходы на отопление в 3–4 раза. При анализе различных типов малоэтажного деревянного домостроения было выявлено, что дома из оцилиндрованных бревен, массивного профилированного бруса и рубленые дома являются наиболее экологически безопасными. Однако теплотехнические расчеты показали, что стены из бруса толщиной 200 мм требуют дополнительного утепления.

### **Новый композиционный строительный материал**

В результате проведенного анализа был разработан «Композиционный деревянный брус» (см. рисунок). В таблице приведена его характеристика. Брус содержит скрепленные между собой профилированные вертикальные и горизонтальные стенки с образованием внутри них продольного сквозного отверстия, заполненного утеплителем. Горизонтальные стенки, выполненные из многослойного тонколистового материала, установлены в пазах, выбранных в вертикальных стенках, при этом вертикальные стенки выполнены из склеенных между собой брусков с противоположным направлением волокон. Для обеспечения конструкции высоких прочностных и несущих характеристик на внутренней стороне вертикальных стенок



**Композиционный деревянный брус**

Таблица

Характеристика композиционного деревянного бруса

Параметр	Величина	Ед. изм.	Предельное отклонение
Высота бруса, А	340	мм	+/-0,5
Толщина бруса, В	220	мм	+/-0,5
	290	мм	+/-0,5
	340	мм	+/-0,5
	380	мм	+/-0,5
Толщина утеплителя, Н	150–300	мм	+/-0,5
Толщина стенок бруса, С1 и С2	42	мм	+/-0,5
Толщина фанеры, Г1 и Г2	10	мм	+/-2
Глубина паза, h2	10	мм	-0,5
Длина бруса, L	От 500 до 4500	мм	+/-2

закреплены ребра жесткости в плоскости, перпендикулярной плоскостям вертикальных стенок. При этом вдоль всей длины бруса установлены поперечные перемычки, выполненные из тонколистового материала и закрепленные в вертикальных стенках, с образованием  $n$  камер, а в верхней горизонтальной стенке выполнены технологические отверстия.

Выполнение горизонтальных стенок из многослойного тонколистового материала позволяет ускорить сборку готового бруса и использовать его как третий связующий элемент в угловых вертикальных и горизонтальных соединениях брусев. Вертикальные стенки выполнены из склеенных между собой брусков с противоположным направлением волокон. Тем самым достигаются высокие эстетические и прочностные характеристики изделия в целом.

### Результаты и обсуждения

Рассмотрим требуемое значение сопротивления теплопередаче для композиционного деревянного бруса толщиной 280 мм, высотой 320 мм, с вертикальными деревянными стенками 42 мм и утеплителем (пенополиуретан) 200 мм. В качестве горизонтальных стенок бруса используется водостойкая фанера толщиной 10 мм. Высокое качество межвенцового уплотнения достигается в результате применения специального утеплительного полотна (ватина) из лубяных волокон льна или джута толщиной 3 мм.

Величину градусо-суток  $D_d$  в течение отопительного периода следует вычислять по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) Z_{ht}. \quad (1)$$

Продолжительность отопительного периода  $Z_{ht}$ , сут, и среднюю температуру наружного воздуха  $t_{ht}$ , °С, в течение отопительного периода следует принимать согласно СП 131.13330.2020 [22], где  $t_{int}$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха, °С.

$$D_d = (21 - (-6,5)) \cdot 218 = 5995 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определим нормируемые значений сопротивления теплопередаче  $R_{reg}$  по формуле

$$R_{reg} = a \cdot D_d + b = 0,00035 \cdot 5995 + 1,4 = 3,3 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт} \quad (2)$$

Далее рассчитаем требуемое сопротивление неоднородной ограждающей конструкции по формуле

$$R_a = \frac{F_1 + F_2}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2}}, \quad (3)$$

где  $F_1$ ,  $F_2$  – площади отдельных участков конструкции (или части ее);  $R_1$ ,  $R_2$  – термическое сопротивление указанных отдельных участков конструкции. Подсчитываем термическое сопротивление каждого слоя стены:

$$\begin{aligned} R &= 1,2/0,15 = 1,33; R = 0,2/0,06 = 3,33; \\ R &= 0,2/0,05 = 4; R_{джута} = 0,23/0,06 = 3,83; \\ R_4 &= 0,045/0,14 = 0,323; R_5 = 0,045/0,14 = 0,32; \\ &0,32 + 0,003 = 0,323, \end{aligned}$$

где 0,32 – высота бруса, 0,003 – толщина утеплителя джута, 0,045 – толщина стенок бруса,  $\lambda_{дерево} = 0,14$ ; 0,2 – толщина утеплителя внутри бруса,  $\lambda_{утеплитель} = 0,05$ .

$$R_{a(1)} = \frac{0,323}{\frac{0,003}{3,83} + \frac{0,02}{1,23} + \frac{0,3}{4,64}} = 3,95;$$

$$R_b = 0,32 + 0,32 + 3,55 = 4,19.$$

$$R_{b(1)} = \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,02 + 0,24}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2}} + \frac{0,04}{0,15} =$$

$$= 0,27 + 4,1 + 0,27 = 4,66.$$

Приведенное термическое сопротивление ограждающей конструкции определяем по формуле

$$R_k^{пр} = \frac{R_a + 2R_b}{3} = \frac{3,95 + 2 \cdot 4,19}{3} = 4,11 \frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}}. \quad (4)$$

Сопротивление теплопередаче определяем:

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{1}{a_b} + R_k + \frac{1}{a_n} = \\ &= \frac{1}{8,7} + 4,11 + \frac{1}{23} = 4,268 \frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}}. \quad (5) \end{aligned}$$

Сравним полученные результаты:

$$R_0^{\text{тр.стен}} = 3,5 \frac{\text{М}^2\text{°C}}{\text{Вт}},$$

а сопротивление теплопередаче для композиционного деревянного бруса (толщиной 0,28 м, где вертикальные стенки бруса – 0,04 м, утеплитель толщиной 0,20 см) равно

$$R_0 = 4,2 \frac{\text{М}^2\text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Сравним результаты исследования:

$$R_0 > R_0^{\text{тр.стен}}.$$

Рассчитаем и сравним сопротивление теплопередаче для цельного клееного деревянного бруса и композиционного деревянного бруса.

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}})z_{\text{ht}} = (21 - (-6,5)) \cdot 218 = 5995 \text{ °C}$$

$$R_{\text{тр.стен}} = 3,5 + \frac{6000 - 5995}{2000} =$$

$$= 3,5 + 0,0025 = 3,5025 \frac{\text{М}^2\text{°C}}{\text{Вт}};$$

$$R_{\text{утеплителя}} = R_{\text{тр}} - \frac{1}{\gamma_{\text{н}}} - \frac{1}{\gamma_{\text{в}}} - R_{\text{к}} = \quad (6)$$

$$= 3,5025 - \frac{1}{23} - \frac{1}{8,7} - \frac{0,09}{0,14} =$$

$$= 3,5025 - 0,043 - 0,115 - 0,642 =$$

$$= 2,7025 \frac{\text{М}^2\text{°C}}{\text{Вт}};$$

$$\delta_{\text{утеплителя}} = 2,7025 \cdot 0,05 = 0,135 \text{ м} = 13,5 \text{ см},$$

где 0,05 – коэффициент теплопроводности утеплителя.

Для цельного клееного профилированного бруса

$$R_{\text{ст}} = 3,5025 - 0,043 - 0,115 = 3,3445 \frac{\text{М}^2\text{°C}}{\text{Вт}}.$$

$\delta_{\text{ст}} = 3,3445 \cdot 0,14 = 0,468 \text{ м} = 46,8 \text{ см}$  – расчетная толщина стены из клееного профилированного бруса.

Рассчитаем толщину стены для композиционного деревянного бруса:

$$R_0^{\text{т}} = \frac{1(18 - (-34))}{\Delta t_{\text{н}} \gamma_{\text{в}}} = \frac{1 \cdot 52}{4 \cdot 8,7} = 1,494 \frac{\text{М}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \cdot 0,14 =$$
$$= 0,209 \text{ м} = 20,9 \text{ см}.$$

### Расчет на сопротивление паропрооницанию

Рассчитать сопротивление паропрооницанию композиционного деревянного бруса для жилого здания в Челябинске. Проверить соответствие сопротивления паропрооницанию стены требованиям СП 50.13330.2012 [23], рассчитать распределение парциального давления водяного пара по толще стены и возможность образования конденсата в толще стены.

### Исходные данные

Расчетная температура  $t_{\text{int}}$ , °C, и относительная влажность внутреннего воздуха  $\phi_{\text{int}}$ , %: для жилых помещений  $t_{\text{int}} = 20 \text{ °C}$  согласно ГОСТ 30494-2011 [24],  $\phi_{\text{int}} = 55 \%$  согласно СП 50.13330.2012 [23].

Для Челябинска наиболее холодный месяц январь и согласно СП 131.13330.2020  $t_{\text{ext}} = -15,8 \text{ °C}$ ,  $P_{\text{ext}} = 78 \%$  [22, табл. 3.1].

Влажностный режим жилых помещений – нормальный; зона влажности для Челябинска – сухая, тогда условия эксплуатации ограждающих конструкций определяют по параметру А согласно СП 50.13330.2012 [23]. Расчетные теплотехнические показатели материалов приняты по параметру А СП 23-101-2004 [25, приложение Д].

Композиционный деревянный брус состоит из следующих слоев, считая от внутренней поверхности:

1) доска из сосны толщиной 42 мм, плотностью  $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  $\mu = 0,06 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ ;

2) пенополиуретан Владипур А3017/1П толщиной 150 мм, плотностью  $\rho = 40 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,028 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  $\mu = 0,05 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ ;

3) доска из сосны толщиной 42 мм, плотностью  $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  $\mu = 0,06 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ .

### Порядок расчета

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции равно

$$R = 1/8,7 + 0,042/0,14 + 0,15/0,028 +$$
$$+ 0,042/0,14 + 1/23 = 6,115 \text{ (М}^2\text{°C)/Вт}.$$

Согласно СП 50.13330.2012 [24] (п. 9.1, примечание 3) плоскость возможной конденсации в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

Сопротивление паропрооницанию  $R_{\text{вп}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ , ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропрооницанию, определяемых по формулам СП 50.13330.2012 [23]:

$$R_{\text{вп1}}^{\text{req}} = (e_{\text{int}} - E)R_{\text{ype}}/(E - e_{\text{ext}}); \quad (7)$$

$$R_{\text{вп1}}^{\text{req}} = 0,0024z_0(e_{\text{int}} - E_0)/(\rho_w \delta_w \Delta_{\text{ав}} + \eta), \quad (8)$$

где  $e_{\text{int}}$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле:

$$e_{\text{int}} = (\phi_{\text{int}}/100)E_{\text{int}}, \quad (9)$$

где  $E_{\text{int}}$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре  $t_{\text{int}}$  принимается по приложению СП 23-101-2004 [25]: при  $t_{\text{int}} = 20 \text{ °C}$   $E_{\text{int}} = 2338 \text{ Па}$ . Тогда при  $\phi_{\text{int}} = 55 \%$   $e_{\text{int}} = (55/100) \times 2338 = 1286 \text{ Па}$ ;

$E$  – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12, \quad (10)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  – парциальные давления водяного пара, Па, принимаемые по температуре  $t_i$  в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;  $Z_1, Z_2, Z_3$ , продолжительность, мес, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая с учетом следующих условий:

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус  $5^\circ\text{C}$ ;

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус  $5$  до плюс  $5^\circ\text{C}$ ;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше плюс  $5^\circ\text{C}$ .

Продолжительность периодов и их средняя температура определяются по табл. 3.1 СП 131.13330.2020 [22], а значения температур в плоскости возможной конденсации  $t_i$ , соответствующие этим периодам, по формуле СП 23-101-2004 [25]

$$t_i = t_{\text{int}} - (t_{\text{int}} - t_i)(R_{\text{si}} + sR) / R_0, \quad (11)$$

где  $t_{\text{int}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха  $^\circ\text{C}$ , принимаемая для жилого здания в Челябинске равной  $20^\circ\text{C}$ ;

$t_i$  – расчетная температура наружного воздуха  $i$ -го периода,  $^\circ\text{C}$ , принимаемая равной средней температуре соответствующего периода;  $R_{\text{si}}$  – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности ограждения, равно

$$R_{\text{si}} = 1/a_{\text{int}} = 1/8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}; \quad (12)$$

$sR$  – термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации;

$R_0$  – сопротивление теплопередаче ограждения, определенное ранее равным  $R = 6,115 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$ .

Определим термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации

$$sR = 0,042/0,14 + 0,15/0,028 = 5,657 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}.$$

Установим для периодов их продолжительность  $Z_i$ , сут, среднюю температуру  $t_i$ ,  $^\circ\text{C}$ , согласно СП 131.13330.2020 [22] и рассчитаем соответствующую температуру в плоскости возможной конденсации  $t_i$ ,  $^\circ\text{C}$ , по формуле (11) для климатических условий Челябинска:

зима (январь, февраль, март, ноябрь, декабрь):

$Z_1 = 5$  мес;

$$t_1 = [(-15,8) + (-14,3) + (-7,4) + (-6,2) + (-12,9)] / 5 = -11,32^\circ\text{C};$$

$$t_1 = 20 - (20 + 11,32)(0,115 + 4,05) / 4,508 = -8,94^\circ\text{C};$$

весна–осень (апрель, октябрь):

$Z_2 = 2$  мес;

$$t_2 = [3,9 + 2,4] / 2 = 3,15^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 20 - (20 - 3,15)(0,115 + 4,05) / 4,508 = 4,43^\circ\text{C};$$

лето (май–сентябрь):

$Z_3 = 5$  мес;

$$t_3 = (11,9 + 16,8 + 18,4 + 16,2 + 10,7) / 5 = 14,8^\circ\text{C};$$

$$t_3 = 20 - (20 - 14,8)(0,115 + 4,05) / 4,508 = 15,2^\circ\text{C}.$$

По температурам ( $t_1, t_2, t_3$ ) для соответствующих периодов определяем по приложению С парциальные давления ( $E_1, E_2, E_3$ ) водяного пара:  $E_1 = 285,5$  Па,  $E_2 = 838$  Па,  $E_3 = 1727$  Па и по формуле (10) определим парциальное давление водяного пара  $E$ , Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции соответствующих продолжительностей периодов  $Z_1, Z_2, Z_3$ .

$$E = (285,5 \times 5 + 838 \times 2 + 1727 \times 5) / 12 = 978,2 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропрооницанию  $R_{\text{vp}}^e$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ , части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации,  $R_{\text{vp}}^e = -0,042/0,06 = 0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ . Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха  $e_{\text{ext}}$ , Па, за годовой период определяется по СП 131.13330.2020 [22, табл. 7.1]  $E_{\text{ext}} = (160 + 170 + 290 + 530 + 780 + 1160 + 1470 + 1260 + 900 + 530 + 330 + 220) / 12 = 650$  Па. По формуле определяем нормируемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации согласно СП 50.13330.2012 [23] (п. 8.1а)

$$R_{\text{vp1}}^{\text{req}} = (1286 - 978,2) \times 0,7 / (978,2 - 650) = 0,66 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропрооницанию  $R_{\text{vp2}}^{\text{req}}$  из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха берут продолжительность этого периода  $Z_o$ , сут, среднюю температуру этого периода  $t_o$ ,  $^\circ\text{C}$ :  $z_o = 151$  сут,  $t = -11,32^\circ\text{C}$ . Температуру  $t_o$ ,  $^\circ\text{C}$ , в плоскости возможной конденсации для этого периода определяют по формуле  $t_o = 20 - (20 + 11,32)(0,115 + 5,675) / 6,115 = -9,65^\circ\text{C}$ . Парциальное давление водяного пара  $E_o$ , Па, в плоскости возможной конденсации определяют по приложению С [25] при  $t_o = -9,65^\circ\text{C}$  равным  $E_o = 267$  Па.

Согласно СП 50.13330.2012 [23] в многослойной ограждающей конструкции увлажняемым слоем является утеплитель, в данном примере пенополиуретан плотностью  $40 \text{ кг}/\text{м}^3$  при толщине  $\delta = 0,15$  м. Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в этом материале согласно СП 50.13330.2012 [23]  $\Delta w_{\text{av}} = 25\%$ .

Средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами, равна

$$E_{\text{оext}} = (160 + 170 + 290 + 330 + 220) / 5 = 234 \text{ Па}.$$

Коэффициент  $\eta$  определяется по формуле (8.5) СП 50.13330.2012 [23].

$$\eta = 0,0024(267 - 234)151/0,7 = 17,08.$$

Определим  $R_{\text{vp2}}^{\text{req}}$  по формуле (8.2) СП 50.13330.2012 [23]

$R_{vp2}^{req} = 0,0024 \times 151(1286 - 267) / (40 \times 0,15 \times 25 + 17,08) = 2,21 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ .

Сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации):  
 $R_{vp} = \sum(\delta_i / \mu_i) = 0,042 / 0,06 + 0,15 / 0,05 = 3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ .

При сравнении полученного значения  $R_{vp}$  с нормируемым устанавливаем, что  
 $R_{vp} = 3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} > R_{vp2} = 2,21 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} > R_{vp2}^{req} = 0,66 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$

### **Выводы**

Можно отметить, что эстетика деревянных домов может быть очень красивой и гармонично вписывающейся в природный ландшафт. Они также могут иметь уникальный и индивидуальный

дизайн, что делает их привлекательными для проживания людей. В целом деревянное малоэтажное домостроение является перспективным направлением в строительстве, которое может сочетать в себе экологические, экономические и эстетические преимущества. Современное инновационное решение – изобретенный строительный материал «Композиционный деревянный брус» (патент № 2008143949/057341). Он соответствует новым требованиям к теплотехническим характеристикам ограждающих конструкций. Это интересная тема для продолжения данного исследования, в которой можно рассмотреть результаты по теоретическому расчету и испытанию прочности для возведения несущих ограждающих стен из «Композиционного деревянного бруса».

### **Список литературы**

1. Гладков Б.В., Карлсен Г.Г., Проневич В.П. Малоэтажные жилые дома заводского изготовления. М.: Стройиздат, 1948. С. 23–78.
2. Морозов Н.А. Заводское домостроение. М.: Госиздат по архитектуре, 1952. С. 27–56.
3. Никитенко Е.Б. Социально-экономические проблемы в вопросах развития деревянного домостроения // Жилищные стратегии. 2019. Т. 6, № 2. С. 199–214. DOI: 10.18334/zhs.6.2.40696.
4. Панитков О.И. Сравнение технологий деревянного домостроения в соответствии с принципами устойчивого развития // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 2(31). С. 143–148.
5. Репин А.А. Деревянное домостроение – направление развития малоэтажного жилья, гарантирующего экологическую устойчивость // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-5. С. 750–753.
6. Чемоданов А.Н., Матвеев Н.М. Малоэтажное деревянное домостроение // Наука и Мир. 2014. № 3-1(7). С. 215–218.
7. Смирнова О.П. Развитие деревянного домостроения в России как одно из направлений перспективного развития рынка жилья в регионе (на примере Ивановской области) // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2010. № 3(5). С. 18–23.
8. Коростин С.А. Особенности и тенденции развития регионального рынка малоэтажного домостроения // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2013. № 1(22). С. 93–99.
9. Медведева Ю.А., Абакумов Р.Г. Особенности и тенденции развития регионального рынка малоэтажного домостроения // Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления: материалы X международной научно-практической конференции, Курск, 28–30 мая 2015 года. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2015. С. 241–245.
10. Эрг И.Л. Орнаментика и символика домового декора деревянной архитектуры городов Западной Сибири // Мир науки, культуры, образования. 2008. № 5(12). С. 127–129.
11. Эрг И.Л. Особенности домового декора деревянной архитектуры сибирских городов (на примере г. Бийска) // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. 2008. № 11. С. 212–216.
12. Ащепков Е.А. Русское деревянное зодчество. М.: Гос. изд-во архитектуры и градостроительства, 1950. 34 с.
13. Баранов Д.А., Баранова О.Г., Мадлевская Е.Л. Русская изба: иллюстрированная энциклопедия. СПб.: Искусство, 1999. 76 с.
14. Богатырев Е.Е. Домовая резьба. М.: Вече, 2000. С. 23–41.
15. Буриков В.Г., Власов В.Н. Домовая резьба. М.: Нива России совместно с компанией «Евразийский регион», 1997.
16. Смолицкий В.Г. Русь избяная. М.: Государственный республиканский центр русского фольклора, 1993. 199 с.
17. Минетти В. Деревянная архитектура. Фасады и детали внешней архитектуры. Пг.: Изд-во М.Г. Стракуна, б/г. 36 с.
18. Деревянная архитектура Томска (альбом). Томск: Издательский дом «Д-Принт», 2010. С. 26–164.
19. Вагнер Г.К. Древние мотивы в домовой резьбе Ростова Ярославского. 1962. 67 с.

20. Скворцов А.И. Русская народная пропильная резьба. Л., 1984. С. 24–69.
21. Афанасьев А.Ф. Домовая резьба. М.: Культура и традиции, 2000. 540 с. С. 46–149.
22. СП 131.13330.2020. Строительная климатология СНиП 23-01-99\*. М.: ГУП ЦПП, 2020.
23. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: ГУП ЦПП, 2012. С. 5–17.
24. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартинформ, 2013. С. 2–10.
25. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М.: ФГУП ЦПП, 2004. С. 3–56.

### References

1. Gladkov B.V., Karlsen G.G., Pronevich V.P. *Maloetazhnye zhilye doma zavodskogo izgotovleniya*. [Factory-made low-rise residential buildings]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1948. P. 23–78. (In Russ.)
2. Morozov N.A. *Zavodskoe domostroenie*. [Factory housing construction]. Moscow: State Publishing House on Architecture; 1952. P. 27–56. (In Russ.)
3. Nikitenko E.B. Socio-economic problems in the development of wooden housing construction. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019;6(2):199–214. (In Russ.) DOI: 10.18334/zhs.6.2.40696.
4. Panitkov O.I. Comparison of technologies in wooden house building in accordance with sustainable development principles. *Bulletin of Civil Engineers*. 2012;2(31):143–148. (In Russ.)
5. Repin A.A. Wooden housing construction – the direction of development of the low housing guaranteeing ecological stability. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2014;11-5:750–753. (In Russ.)
6. Chemedanov A.N., Matveev N.M. Low-rise wooden house-building. *Science and World*. 2014;3-1(7):215–218. (In Russ.)
7. Smirnova O.P. Development of wooden housing construction in Russia as one of directions of perspective development of the housing market in the region (on the basis of Ivanovo region). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom* [News of higher educational institutions. Series: Economics. Finance and production management]. 2010;3(5):18–23. (In Russ.)
8. Korostin S.A. Features and trends in regional market low-rise building construction. *Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System*. 2013;1(22):93–99. (In Russ.)
9. Medvedeva Yu.A., Abakumov R.G. [Features and trends in the development of the regional market for low-rise housing construction]. In: *Aktual'nye problemy razvitiya khozyaystvuyushchikh sub"ektov, territoriy i sistem regional'nogo i munitsipal'nogo upravleniya: materialy X mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kursk, 28–30 maya 2015 goda*. [Actual problems of development of economic entities, territories and systems of regional and municipal management: materials of the X International Scientific and Practical conference, Kursk, May 28-30, 2015]. Kursk: Closed Joint Stock Company “University Book”; 2015. P. 241–245. (In Russ.)
10. Erg I.L. Ornamentation and symbolism of a house decor of wood architecture of the Western Siberia towns. *Mir Nauki, Kultury, Obrazovaniya* [World of science, culture, education]. 2008;5(12):127–129. (In Russ.)
11. Erg I.L. [Features of home decor in wooden architecture of Siberian cities (using the example of Biysk)]. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego* [XXI century: results of the past and problems of the present]. 2008;11:212–216. (In Russ.)
12. Ashchepkov E.A. *Russkoe derevyannoe zodchestvo* [Russian wooden architecture]. Moscow: State Publishing House of Architecture and Urban Planning; 1950. 34 p. (In Russ.)
13. Baranov D.A., Baranova O.G., Madlevskaya E.L. *Russkaya izba: illyustrirovannaya entsiklopediya* [Russian hut: an illustrated encyclopedia]. St. Petersburg: Art Publ.: 1999. 76 p. (In Russ.)
14. Bogatyrev E.E. *Domovaya rez'ba* [House carving]. Moscow: Veche Publ., 2000. P. 23–41. (In Russ.)
15. Burikov V.G., Vlasov V.N. *Domovaya rez'ba* [House carving]. Moscow: Niva Rossii together with the company “Eurasian Region”; 1997. (In Russ.)
16. Smolitsky V.G. *Rus' izbyanaya*. Moscow: State Republican Center of Russian Folklore; 1993. 199 p. (In Russ.)
17. Minetti V. *Derevyannaya arkhitektura. Fasady i detali vneshney arkhitektury* [Wooden architecture. Facades and details of external architecture] Pg.: Publishing house M.G. Strakun. 36 p. (In Russ.)
18. *Derevyannaya arkhitektura Tomska (al'bom)* [Wooden architecture of Tomsk (album)]. Tomsk: Publishing house “D-Print”; 2010. P. 26–164. (In Russ.)
19. Wagner G.K. *Drevnie motivy v domovoy rez'be Rostova Yaroslavskogo* [Ancient motifs in house carvings of Rostov. Yaroslavsky]. 1962. 67 p. (In Russ.)
20. Skvortsov A.I. *Russkaya narodnaya propil'naya rez'ba* [Russian folk saw carving]. Leningrad; 1984. P. 24–69. (In Russ.)
21. Afanasyev A.F. *Domovaya rez'ba* [House carving]. Moscow: Culture and Traditions; 2000. 540 p. P. 46–149. (In Russ.)

22. *SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya* [Set of Rules 131.13330.2020 Construction climatology]. Moscow: GUP CPP, 2020. (in Russ.)

23. *SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy* [Set of Rules 50.13330.2012. Thermal protection of buildings]. Moscow: GUP CPP, 2012. P. 5–17. (In Russ.)

24. *GOST 30494-2011. Residential and public buildings. Microclimate parameters for indoor enclosures*. Moscow: Standardinform Publ., 2013. P. 2–10. (In Russ.)

25. *SP 23-101-2004. Proektirovanie teplovoy zashchity zdaniy* [Set of Rules 23-101-2004 Design of thermal protection of buildings]. Moscow: FSUE CPP, 2004. P. 3–56. (In Russ.)

***Информация об авторе:***

**Юдин Вячеслав Юрьевич**, кандидат архитектуры, доцент кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; iudinvi@susu.ru

***Information about the author:***

**Vyacheslav Yu. Yudin**, Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Architecture, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; iudinvi@susu.ru

***Статья поступила в редакцию 25.09.2023, принята к публикации 29.09.2023.***

***The article was submitted 25.09.2023; approved after reviewing 29.09.2023.***