

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 666.973.2

Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 1. С. 76–83

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА

С. Н. Долматов, П. Г. Колесников

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: pipinaskus@mail.ru

Повышение энергосберегающих качеств объектов жилищного и коммунального строительства – важная задача, стоящая перед разработчиками перспективных строительных материалов, проектировщиками, строителями и эксплуатантами этих объектов. Особенно актуальна эта задача для индивидуального малоэтажного строительства при использовании сравнительно недорогих строительных материалов из местного сырья. Древесно-цементные композиты позволяют не только возводить ограждающие конструкции в высокими теплотехническими показателями, но и эффективно утилизировать древесные отходы лесопиления и деревообработки. Соответственно, решается проблема экологичного комплексного использования древесного сырья.

В ходе исследований определялось влияние теплопроводных включений в виде стальных крепежных элементов на показатели тепловой эффективности ограждающих конструкций из древесно-цементного композита (арболита и опилкобетона). Работа основывалась на применении методов физического моделирования (метод конечных элементов), реализованных в программном пакете Elcut. Влияние теплопроводных включений в виде металлических крепежных элементов на тепловые потери ограждающей конструкции из древесно-цементного композита весьма значительно и достигает 43...58 % от величины тепловых потерь конструкции без теплопроводных включений. Металлические крепежные элементы, имея температуру ниже температуры точки росы, интенсивно увлажняются, корродируют и способствуют увлажнению конструктивных элементов, находящихся с ними в контакте, что создает предпосылки развития плесени и грибов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации строительных конструкций, изготовленных из древесно-цементных композитов.

Ключевые слова: *дерево, древесно-цементная композиция, мост холода, крепежный элемент, сопротивление теплопередаче, эксперимент, тепловая эффективность.*

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 76–83

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STEEL HEAT-CONDUCTING INCLUSIONS ON THERMAL PROPERTIES OF THE FRONTING STRUCTURE FROM WOOD-CEMENT COMPOSITE

S. N. Dolmatov, P. G. Kolesnikov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: pipinaskus@mail.ru

Improving the energy-saving qualities of housing and communal construction projects is an important task facing the developers of promising construction materials, designers, builders and operators of these facilities. This task is especially relevant for individual low-rise construction using relatively inexpensive building materials from local raw materials. Wood-cement composites make it possible not only to erect enclosing structures with high thermal performance, but also to efficiently dispose of wood waste from sawmilling and woodworking. Accordingly, the problem of environmentally friendly integrated use of wood raw materials is being solved. In the course of the research, the influence of heat-conducting inclusions in the form of steel fasteners on the indicators of the thermal efficiency of enclosing structures made of wood-cement composite (arbolite and sawdust concrete) was determined. The work was based on the use of physical modeling methods (finite element method) implemented in the Elcut software package. The

influence of heat-conducting inclusions in the form of metal fasteners on the heat losses of the enclosing structure made of wood-cement composite is very significant and reaches 43...58 % of the value of the heat losses of the structure without heat-conducting inclusions. Metal fasteners, having a temperature below the dew point temperature, are intensively moistened, corroded and contribute to moistening of structural elements in contact with them, which creates the prerequisites for the development of mold and fungi. The results obtained can be used in the design and operation of building structures made of wood-cement composites.

Keywords: wood, wood-cement composition, cold bridge, fastener, heat transfer resistance, experiment, thermal efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в области жилищного строительства характеризуются устойчивым ростом интереса застройщиков и потребителей к малоэтажной жилой застройке. За рубежом объемы малоэтажного строительства составляют до 75 % в США и до 90 % в Финляндии. Существует устойчивая парадигма, связанная с инвестированием, проектированием, строительством, приобретением, эксплуатацией и утилизацией и рециклингом таких малоэтажных зданий. Сформирован и активно поддерживается на государственном уровне пул потенциальных собственников такого жилья – это, как правило, представители населения, имеющие средние показатели уровня доходов. К сожалению, в России все еще интенсивно застраиваются свободные территории многоэтажными домами, а на долю малоэтажных комплексов приходится в различных регионах от 10 до 30 % общего объема жилищного строительства. Строительство малоэтажных домов квартирного типа по-прежнему в России ориентировано на традиционные технологии, принятые в массовом многоэтажном строительстве. При создании малоэтажных жилых объектов требуется эволюция структуры строительных технологий [1].

Обосновывая понятия малоэтажного строительства, нужно понимать, что наиболее привлекательным является строительство объектов достаточно высокой комфортабельности в ближайших пригородных зонах крупных городов, с соблюдением условия высокого благоустройства и преимуществ как загородного, так и городского образа жизни. Максимально полно эта концепция реализуется при строительстве малоэтажных строений, с этажностью до трех этажей. При этом необходимо обеспечить баланс высоких потребительских качеств и доступной стоимости реализации проектных решений. Максимально экономично строительство таких домов по каркасной технологии [2]. Вместе с тем, технология каркасного домостроения не всегда находит инвестиционный отклик конечного потребителя. И наряду с объективными причинами, например недостаточным количеством предприятий каркасно-панельного деревянного домостроения [3], существует общий, недостаточно позитивный окрас всей технологии каркасного домостроения.

Отечественный потребитель и застройщик технологиям каркасного домостроительства все еще относится с недоверием. Часто конечный потребитель относится к каркасным конструкциям, как к легким и недолговечным, считается, что срок службы каркасных и многослойных систем будет ниже, чем у конструкций с массивными однородными стенами. Самым существенным недостатком многослойных стен с эф-

фективными теплоизоляционными материалами является неопределенность их срока службы и недооценка затрат на их капитальный ремонт и утилизацию отслуживших свой срок теплоизоляционных материалов [4].

Жители России традиционно предпочитают жить и строить здания из кирпича, бетона, различных штучных блоков, бруса или оцилиндрованного бревна, считая что такие материалы имеют максимальный срок службы. Долговечность конструкции – часто главный критерий обоснованного выбора застройщика или покупателя недвижимости в России. Основе этого постулата лежит в области менталитета жителя России. Отличительной чертой менталитета россиян является пугливое отношение к собственному жилью. Получив жилье от государства, или в наследство, или купив его, человек (семья) старается с ним не расставаться до конца своих дней. Подобная модель формируется из поколения в поколение [5].

Следовательно, традиционные технологии малоэтажного строительства с применением штучных блоков, крупных панелей будут сохранять устойчивую привлекательность у конечного потребителя. При тенденции увеличения темпов малоэтажного строительства неизбежно будет расти объемы производства и потребления строительных материалов.

При увеличении объемов выпуска строительных материалов неизбежно возникает проблема увеличения объемов выбросов в атмосферу, т.е. так называемый «углеродный след» конечного продукта, в качестве которого может выступать как строительный материал, так и здание или сооружение в целом. Объекты промышленного и гражданского строительства генерируют до 40 % годовых выбросов CO₂ во всем мире. Из этого объема выбросов, на строительство приходится 28 % ежегодно, а на строительные материалы и строительство (обычно называемые воплощенным углеродом) приходится дополнительно 11 % ежегодно. [6] Также в случае значительных расстояний перевозки строительных материалов дополнительно образуется логистическая составляющая углеродного следа. В свете вышесказанного имеется обоснованная потребность в производстве строительных материалов на основе местных ресурсов и отходов промышленности и сельского хозяйства. Наличие современных трендов на рециклинг отходов, комплексное использование сырья и экономию ресурсов диктует необходимость развития строительных материалов на основе органических композитов с высокими эксплуатационными показателями [7; 8].

Строительные материалы, производимые из отходов деревообрабатывающей промышленности (арбо-

литы, опилкобетоны), сельского хозяйства (композиции на основе льняной и конопляной костры, отходов заготовки подсолнечника) могут найти широкое применение при возведении жилых и производственные объектов, поскольку относительно недороги, просты в производстве и имеют высокие прочностные и теплоизоляционные показатели. Одним из основных показателей строительного материала является показатель теплопроводности. Показатель теплопроводности ограждающей конструкции может существенно меняться при наличии в конструкции различных элементов, нарушающих ее однородность. К таким элементам можно отнести стыки панелей, металлические крепежные элементы, такие как гвозди, шурупы, дюбели, крепежные уголки, закладные детали. Чаще всего такие включения изготовлены из металла и представляют собой теплотехническую неоднородность в виде теплопроводного включения.

В качестве одного из достоинств древесно-цементных композитов часто приводят хорошую «гвоздимость», т. е. способность уверенно удерживать гвозди и шурупы. [9,10] Поэтому чаще всего в качестве крепежного элемента используется обычный стальной гвоздь или шуруп-саморез.

Целью исследования является определение влияния металлических крепежных элементов на теплофизические свойства ограждающей конструкции из древесно-цементного композита (ДЦК).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сопrotивление теплопередаче является характеристикой уровня тепловой защиты ограждающей конструкции. Чаще всего теплотехнические показатели рассчитываются методами температурного поля узлов для характерных участков конструкции. Наличие крепежных элементов, играющих роль тепловых мостов, существенно нарушают показатели сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, что должно анализироваться и учитываться при расчетах. [11] Величина теплового потока является определяющим показателем при расчете показателя теплопроводности ограждающей конструкции в условиях стационарного режима.

Для моделирования и расчетов тепловой эффективности ограждающей конструкции при наличии тепловых мостов применялся программный продукт Elcut [12]. Программа Elcut предназначена для проведения инженерного анализа и моделирования посредством метода конечных элементов. [13; 14]. Проводя инженерные исследования в программах на основе метода конечных элементов, разработчик начинает свою работу с конечно-элементной модели элемента или изделия в целом, в которую он помещает требуемые, на его взгляд, элементы конструкции, элементы закрепления, стыковки и взаимодействия, необходимые для того, чтобы полученная конструкция выполняла определенные заложенные функции. Затем прикладываются к объекту проектирования действующие тепловые факторы, силы, нагрузки, точки закрепления, при этом проектировщик сразу видит деформации конструкции, действующие напряжения, темпе-

ратуры, величины тепловых потоков, изотермы тепловых полей. Модуль теплопередачи пакета Elcut предназначен для расчёта переходного и установившегося температурного поля с учётом конвективного и радиационного теплообмена.

Используется для анализа систем обогрева и систем охлаждения. Методика исследований тепловых явлений использовалась [15]. Величина показателей теплопроводности древесно-цементных композитов принята из исследований [16].

Объектом исследования являлось определение влияния теплопроводных включений в виде металлических крепежных элементов на показатель тепловой эффективности ограждающей конструкции из древесно-цементного композиционного материала. При моделировании тепловой защиты ограждающей конструкции здания, важное значение имеет однородность конструкции и отсутствие «тепловых мостов». Понятие «тепловой мост» включает область ограждающей конструкции с пониженным термическим сопротивлением по сравнению с массивом стены. При расчетах приведенного сопротивления теплопередаче необходимо учитывать влияние «тепловых мостов» – линейных и точечных теплотехнических неоднородностей [17].

Металлические крепежные элементы (гвозди, шурупы-саморезы), как предметы с более высокой теплопроводностью, по сравнению с древесно-цементным композитом, будут играть роль тепловых мостов, изменяющих картину теплопередачи в массиве стены.

Влияние тепловых мостов в виде стальных гвоздей рассмотрим на примере образцов ограждающей конструкции из древесно-цементных композитов (арболита и опилкобетона). Объектом моделирования выступал фрагмент ограждающей конструкции, размером 200×1000×1000 мм, вектор теплового излучения был направлен перпендикулярно к поверхности материала, толщиной 200 мм. Показатели плотности, теплопроводности материалов представлены в табл. 1. Условия эксплуатации ограждающих конструкций для Красноярского края могут быть приняты А или Б в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района строительства. Примеров крепления вспомогательных конструкций, является гвоздевое крепление деревянного бруска сечением 50×50 мм (рис. 1). Такая конструкция весьма характерна для технологии отделки внутренних стен помещения листами гипсокартона с креплением ГКЛ к деревянной обрешетке.

Конструкция моделировалась в системе Elcut. Проводилась разбивка сеткой конечных элементов. Затем задавались параметры стационарной задачи теплопереноса и проводился расчет стационарного теплового потока через ограждающую конструкцию. В программе определялся тепловой поток через определенное сечение при помощи тепловых полей. Согласно ГОСТ 30494–2011 [18] принято: внутренняя температура воздуха $t_{\text{int}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура наружного воздуха по СП 50.13330.2012 $t_{\text{ext}} = -35 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\alpha_{si} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, $\alpha_{se} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ [19].

Таблица 1
Характеристики материалов

Древесно-цементный композит	Объемный вес кг/м ³	Коэффициент теплопроводности Вт/(м ⁰ С)		
		В сухом состоянии	Условия эксплуатации	
			А	Б
Дерево (сосна поперек волокон)	500	0,09	0,14	0,18
Опилкобетон	850	0,25	0,41	0,63
Арболит	650	0,18	0,33	0,53
Сталь	7850	58	58	58

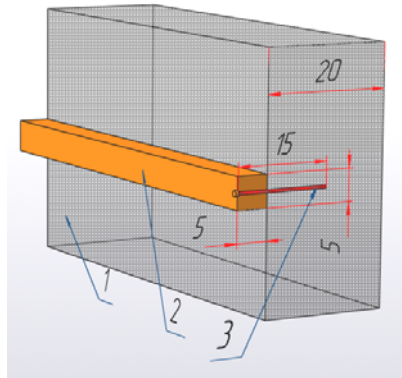


Рис. 1. Элементы исследуемой ограждающей конструкции из древесно-цементного композита:
1 – массив стены; 2 – деревянный брусок; 3 – крепежный стальной элемент (размеры в сантиметрах)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов температурных полей представлены в виде схемы (рис. 2) с нанесенными изотермами и векторами теплопереноса. Изотермы имеют шаг 2 °С. На рис. 2 видно, что наличие стального крепежного элемента в виде гвоздя кардинально ме-

няет картину теплового поля и интенсивность теплового излучения ограждающей конструкции.

В табл. 2 приведены расчеты удельных потерь теплоты и полученные величины сопротивления теплопередаче для различных режимов эксплуатации конструкции.

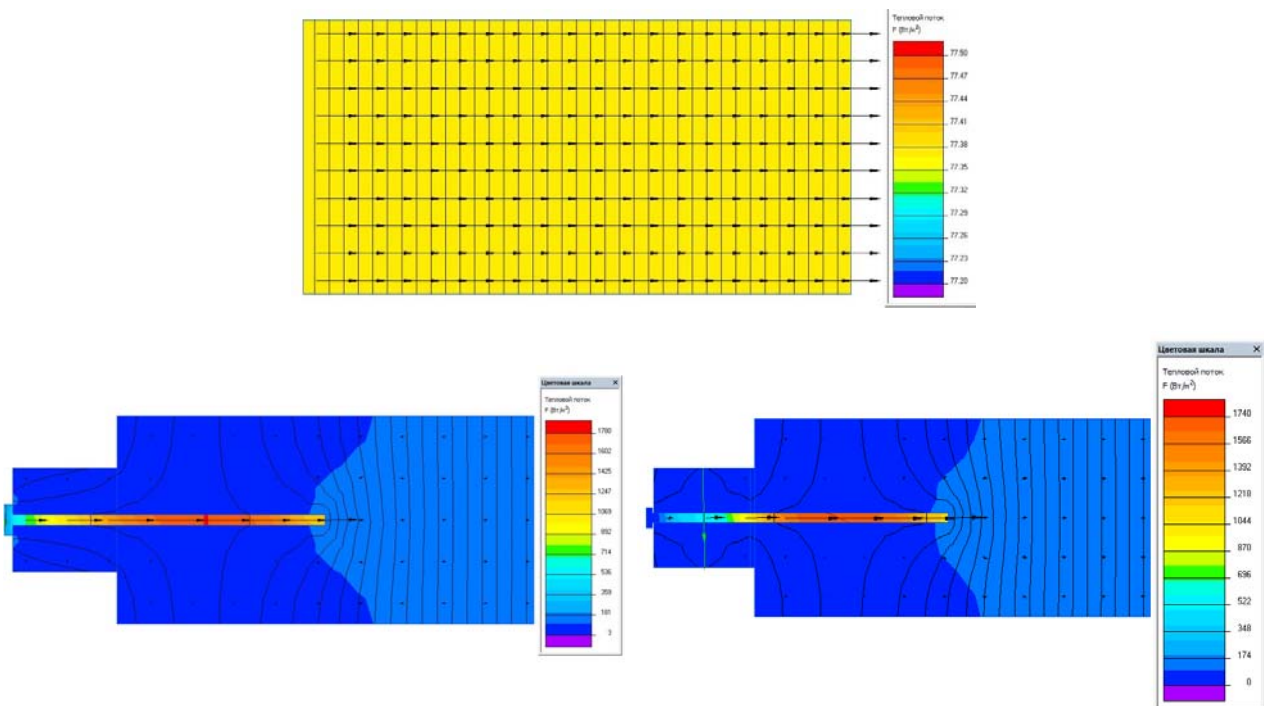


Рис. 2. Векторы теплового излучения и величина теплового потока в программе Elcut (вверху – сплошное тело ДЦК, по центру – брусок из сосны 50×50 мм с креплением к стене из ДЦК гвоздем 150 мм.), внизу – брусок из сосны 50×50 мм креплением к стене с воздушным зазором 3 мм)

Таблица 2
Результаты расчетов

Вид древесно- цементного композиата	Удельные потери теплоты (массив стены Q, Вт/(м ² · °C))			Удельные потери теплоты (стена с металлическим элементом Q, Вт/(м ² · °C))			Удельные потери теплоты (стена с металлическим элемен- том с учетом неплотного приле- гания бруска Q, Вт/(м ² · °C))		
	В сухом состоянии	Условия эксплуатации		В сухом состоянии	Условия эксплуатации		В сухом состоянии	Условия эксплуатации	
		А	Б		А	Б		А	Б
Опилкобетон	70,1	86,7	104,7	59,9	66,7	76,7	94,8	131,3	153,4
Арболит	52,3	66,2	77	43,6	48,7	56	83,1	98,6	116

Расчетные величины удельных тепловых потерь составили 43,6...153,4 Вт/(м² · °C). Показатель тепловых потерь зависит от группы условий эксплуатации, а также от вида ограждающей конструкции. В случае сплошной ограждающей конструкции их древесно-цементного композита без металлических включений, образующих мосты холода, показатель тепловых потерь составил 52,3...104,7 Вт/(м² · °C), что в хорошо согласуется с данными, полученными ранее [15]. При условии гвоздевого крепления деревянного бруска сечением 50×50 мм величина тепловых потерь снижается до уровня 43,6...76,7 Вт/(м² · °C), это объясняется тем, что в идеальных условиях, когда брусок и массив стены работает как единое плотное тело, увеличивается общее суммарное сечение материала, осуществляющего теплоперенос. Об этом свидетельствует характер изотерм (рис. 2, по центру). Однако, в реальных условиях, при креплении деревянного бруска к стене, будет всегда присутствовать воздушный зазор между бруском и массивом стены. Этот зазор будет вносить существенную корректировку в характер распределения изотерм и в конечный результат по потерям тепла. Этот режим изображен на рис. 2 (внизу), удельные тепловые потери 83,1...153,4 Вт/(м² · °C). Таким образом, дополнительные тепловые потери через конструкцию в месте нахождения металлического крепежного элемента весьма значительны и должны учитываться, т. е. если принять тепловой поток массивной однородной стены из древесно-цементного композита за 100 %, то наличие даже одного гвоздя, (длиной 150 мм) на 1 м² увеличивает потери тепла на 43...58 %. Кроме того, установлено, что дополнительные потери тепла прямо пропорциональны имеющемуся перепаду температур внутри помещения и снаружи. Следовательно, для сохранения уровня тепловых потерь нужно либо увеличивать толщины ограждающей конструкции, либо применять крепежные элементы с низкой теплопроводностью (например, неметаллические, пластиковые), либо избегать конструктивных решений, связанных с проникновением металлических элементов в массив стены из древесно-цементного композита.

На рис. 3 изображен график изменения температуры крепежного гвоздя. Анализ графика позволяет сделать вывод, что даже шляпка гвоздя, находящаяся на максимальном удалении от наружной стороны огражда-

ющей конструкции, испытывающей температуру – 30 °C имеет температуру +10,5 °C, что ниже чем температура точки росы. Температура объекта, на котором начнет конденсироваться пар, т. е. точка росы, зависит в основном от температуры воздуха и влажности воздуха. Для влажности 55 % и температуры воздуха внутри помещения +20 °C температура точки росы составляет 10,7 °C [20]. Исходя из этого, на стальной поверхности крепежного элемента будет конденсироваться влага. А учитывая тот факт, что гвоздь не покрывается каким-либо защитным или антикоррозионным покрытием, на его поверхности будет интенсивно развиваться коррозия.

Из рис. 4 видно, что металлический крепежный элемент оказывает ярко выраженное влияние на распределение изотерм по поверхности бруска. Влияние положительной температуры внутри помещения будет приводить к постоянному подсушиванию древесины бруска. Вместе с тем, если проанализировать температуру бруска по сечению А-А (рис. 5), видно, что температура ниже точки росы распространяется далеко за пределы области, ограниченной диаметром крепежного гвоздя, достигая 17...20 мм, т. е. древесина деревянного бруска в этой области будет переувлажняться. В этих условиях (повышенная влажность, недостаточное проветривание, положительные температуры) создаются благоприятные условия для развития дереворазрушающих грибов, плесени и т. п.

Кроме того, попеременное увлажнение и высушивание деревянного бруска будет способствовать его расширению и сжатию, а поскольку материал бруска имеет анизотропные свойства, складываются предпосылки к его короблению и соответственно к разрушениям на лицевом облицовочном слое (например, из листов гипсокартона). Обычно с нежелательным фактом образования конденсата сталкиваются в угловых соединениях бревенчатых и брусчатых стен, являющихся самым холодным местом в доме [21].

Традиционные технологии защиты в виде пропиток антисептиками, грунтовок, финишных покрытий в случае увлажнения конструкций при наличии промерзающих мостов холода малоэффективны. Поэтому решение по защите необходимо искать в области недопущения понижения температур металлических крепежных элементов ниже точки росы за счет совершенствования конструкции, утепления.

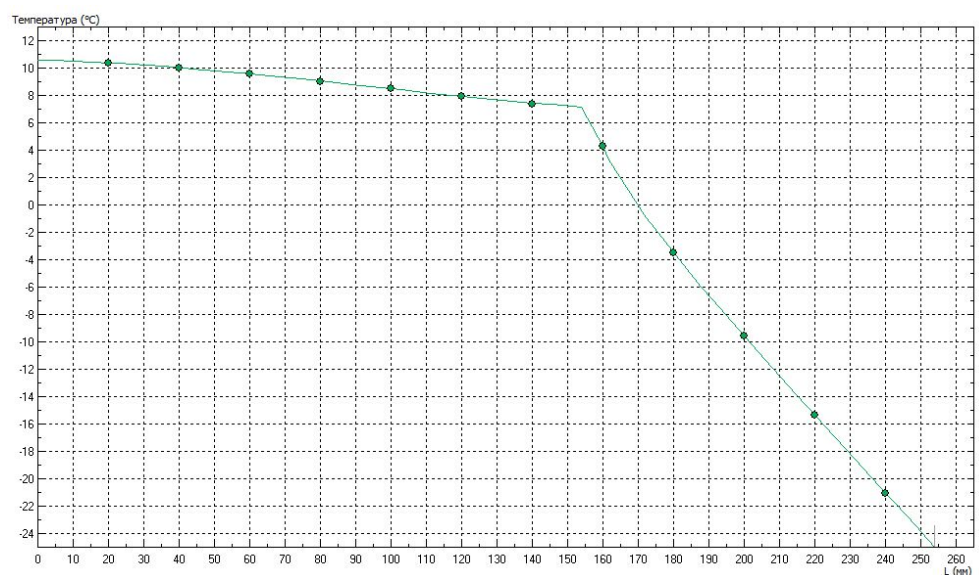


Рис. 3. График изменения температуры (разрез по оси симметрии крепежного гвоздя)

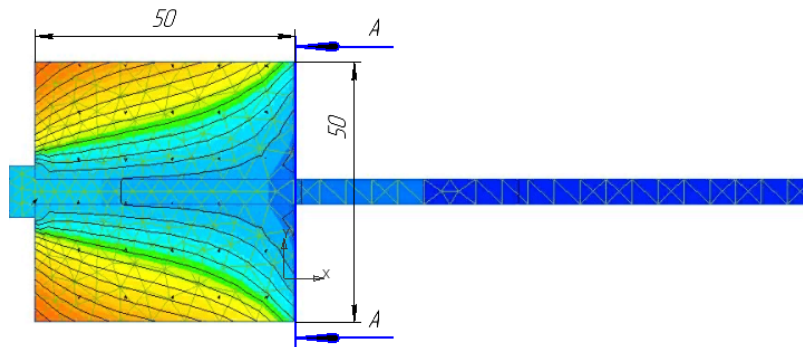


Рис. 4. Распределение температуры по поверхности бруса в зоне влияния изотерм металлического крепежного элемента

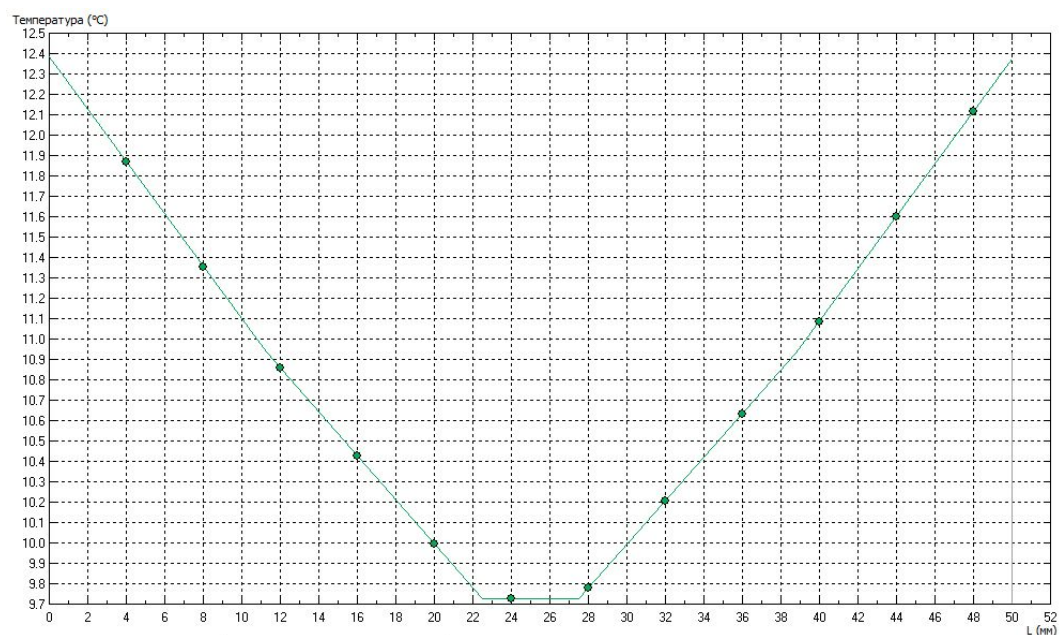


Рис. 5. Температурное поле узла крепления бруса (вверху) и график изменения температуры по разрезу бруса по сечению А-А (внизу)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние теплопроводных включений в виде металлических крепежных элементов на тепловые потери ограждающей конструкции из древесно-цементного композита весьма значительно и достигает 43...58 % от величины тепловых потерь конструкции без теплопроводных включений. Такое влияние необходимо учитывать при проведении практических расчетов тепловых потерь ограждающих конструкций, выполненных из древесно-цементных композитов.

Еще большее влияние металлические теплопроводные включения оказывают на распределение температуры по поверхности конструктивных элементов, которые они закрепляют. При гвоздевом креплении элементов деревянной обрешетки непосредственно к стене из древесно-цементного композита температура деревянных элементов может быть ниже, чем температура точки росы. При этом древесина будет переувлажняться, что создает предпосылки для развития дереворазрушающих грибов. Интенсивное увлажнение незащищенного стального крепежного приведет к его интенсивной коррозии. Это необходимо учитывать, поскольку возможен выход пятен коррозии на поверхность облицовочных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Левин Ю. А. Малоэтажное строительство: современные тенденции рынка и оценка инвестиционной привлекательности // *Инновации и инвестиции*. 2017. № 8. С. 137–140.
2. Кузьменков А. А., Титова С. А. Технико-экономическое сравнение вариантов конструкций стен малоэтажных жилых зданий для северных условий Республики Карелия // *Resour. Technol.* 2016. № 4. С. 58–70.
3. Инжутов И. С., Рожков А. Ф., Никитин В. М. К проблеме малоэтажного домостроения в Сибири // *Вестник ТГАСУ*. 2007. № 1. С. 75–81
4. Енюшин В. Н., Нурмухаметова А. Д., Хаеретдинова А. Д. Энергоэффективность современных ограждающих конструкций // *Известия КазГАСУ*. 2016. № 4 (38). С. 217–221.
5. Николаев С. В. СПКД – система строительства жилья для будущих поколений // *Жилищное строительство*. 2013. С. 2–4.
6. Architecture 2030 – Почему строительный сектор? [Электронный ресурс]. URL: <https://architecture2030.org/why-the-building-sector/> (дата обращения: 01.10.2021).
7. Competition and management of wood-cement compositions among light concretes in the market of construction materials / S. N. Dolmatov, A. V. Nikonchuk and S. V. Gorbunova. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*, Volume 822, doi:10.1088/1757-899X/822/1/012001.
8. Долматов С. Н., Никончук А. В. Исследование показателей теплопроводности древесно-цементных композитов // *Хвойные бореальной зоны*. 2019. Т. XXXVII, № 5. С. 341–346.
9. Наназашвили И. Х., Бунькин И. Ф., Наназашвили В. И. *Строительные материалы и изделия*. М. : Аделант, 2005. 443 с.

10. Наназашвили И. Х. *Строительные материалы из древесно-цементной композиции*. Л. : Стройиздат, 1990. 415 с.

11. Гагарин В. Г., Дмитриев К. А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Construction materials*. 2013. № 6. С. 14–16.

12. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. СПб. : ПК TOP, 2009. 339 с.

13. Зенкевич О. К. *Метод конечных элементов в технике*. М. : МИР, 1975. 542 с.

14. Bendsoe M. P., Sigmund O. *Topology optimization: theory, methods and applications*. English. Berlin : Springer-Verlag, 2003. 320 p.

15. Долматов С. Н., Колесников П. Г. Исследование тепловой эффективности древесно-цементных композитов // *Хвойные бореальной зоны*. 2021. Т. 39, № 4. С. 224–231.

16. Исследование показателей теплопроводности древесно-цементных композитов / С. Н. Долматов, А. В. Никончук // *Хвойные бореальной зоны*. 2019. Т. 37, № 5. С. 341–346.

17. Елохов А. Е. Методики и примеры расчета тепловых мостов // *Строительство и техногенная безопасность*. 2015. № 1 (53). С. 86–93.

18. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Введ. 01.01.2013. М. : Стандартинформ, 2013. 12 с.

19. СП 50.13330–2012. Тепловая защита зданий. Минрегионразвития РФ. Введ. 07.01.2013. М., 2012. 97 с.

20. Проектирование тепловой защиты зданий. СП 23-101-2004. М., 2004. 196 с.

21. Ломакин А. Д. Защита фасадных поверхностей деревянного дома // *Жилищное строительство*. 2013. № 2. С. 51–55.

REFERENCES

1. Levin Yu. A. Maloetazhnoye stroitel'stvo: sovremennyye tendentsii rynka i otsenka investitsionnoy privlekatel'nosti // *Innovatsii i investitsii*. 2017. № 8. С. 137–140.
2. Kuz'menkov A. A., Titova S. A. Tekhniko-ekonomicheskoye sravneniye variantov konstruktсий sten maloetazhnykh zhilykh zdaniy dlya severnykh usloviya Respubliki Kareliya // *Resour. Technol.* 2016. № 4. С. 58–70.
3. Inzhutov I. S., Rozhkov A. F., Nikitin V. M. K probleme maloetazhnogo domostroyeniya v Sibiri // *Vestnik TGASU*. 2007. № 1. С. 75–81
4. Enyushin V. N., Nurmukhametova A. D., Khayeretdinova A. D. Energoeffektivnost' sovremennykh ograzhd-dayushchikh konstruktсий // *Izvestiya KazGASU*. 2016. № 4 (38). С. 217–221.
5. Nikolayev S. V. SPKD – sistema stroitel'stva zhil'ya dlya budushchikh pokoleniy // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2013. С. 2–4.
6. Architecture 2030 – Pochemu stroitel'nyy sektor? [Elektronnyy resurs]. URL: <https://architecture2030.org/why-the-building-sector/> (data obrashcheniya: 01.10.2021).

7. Competition and management of wood-cement compositions among light concretes in the market of construction materials / S. N. Dolmatov, A. V. Nikonchuk and S. V. Gorbunova. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, Volume 822, doi:10.1088/1757-899X/822/1/012001.
8. Dolmatov S. N., Nikonchuk A. V. Issledovaniye pokazateley teploprovodnosti drevesno-tsementnykh kompozitov // Khvoynyye boreal'noy zony. 2019. T. XXXVII, № 5. S. 341–346.
9. Nanazashvili I. Kh., Bun'kin I. F., Nanazashvili V. I. Stroitel'nyye materialy i izdeliya. M. : Adelant, 2005. 443 s.
10. Nanazashvili I. Kh. Stroitel'nyye materialy iz drevesno-tsementnoy kompozitsii. L. : Stroyizdat, 1990. 415 s.
11. Gagarin V. G., Dmitriyev K. A. Uchet teplotekhnicheskikh neodnorodnostey pri otsenke teplozashchity ograzhdayushchikh konstruktsiy v Rossii i evropeyskikh stranakh // Construction materials. 2013. № 6. S. 14–16.
12. ELCUT. Modelirovaniye dvumernykh poley metodom konechnykh elementov. Rukovodstvo pol'zovatelya. SPb. : PK TOR, 2009. 339 s.
13. Zenkevich O. K. Metod konechnykh elementov v tekhnike. M. : MIR, 1975. 542 s.
14. Bendsoe M. P., Sigmund O. Topology optimization: theory, methods and applications. English. Berlin : Springer-Verlag, 2003. 320 r.
15. Issledovaniye teplovoy effektivnosti drevesno-tsementnykh kompozitov / S. N. Dolmatov, P. G. Kolesnikov // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021. T. 39, № 4. S. 224–231.
16. Dolmatov S. N., Nikonchuk A. V. Issledovaniye pokazateley teploprovodnosti drevesno-tsementnykh kompozitov // Khvoynyye boreal'noy zony. 2019. T. 37, № 5. S. 341–346.
17. Elokho A. E. Metodiki i primery rascheta teplovykh mostov // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2015. № 1 (53). S. 86–93.
18. GOST 30494–2011. Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimate v pomeshcheniyakh. Vved. 01.01.2013. M. : Standartinform, 2013. 12 s.
19. SP 50.13330–2012. Teplovaya zashchita zdaniy. Minregionrazvitiya RF. Vved. 07.01.2013. M., 2012. 97 s.
20. Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy. SP 23-101-2004. M., 2004. 196 s.
21. Lomakin A. D. Zashchita fasadnykh poverkhnostey derevyannogo doma // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2013. № 2. S. 51–55.

© Долматов С. Н., Колесников П. Г., 2022

Поступила в редакцию 12.08.2021
Принята к печати 31.01.2022