

Положительный эффект Лакротэна, по-видимому, обусловлен образованием водородных связей с участием свободных и этерифицированных карбоксильных групп макромолекул Лакротэна с одной стороны и оксиметиленовых групп макромолекул карбамидоформальдегидной смолы – с другой (рис. 5). Кроме того, при прессовании фанеры возможно образование простых эфирных связей между макромолекулами смолы и молекулами Лакротэна (рис. 6).

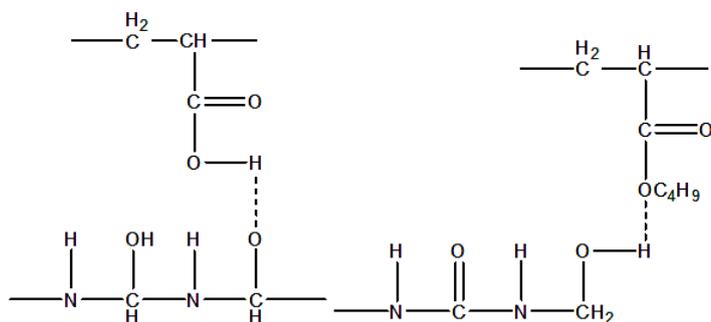


Рис. 5. Образование водородных связей

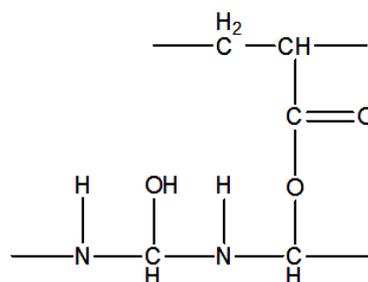


Рис. 6. Образование простой эфирной связи

Список литературы

1. Чубинский А. Н., Русаков Д. С., Варанкина Г. С., Русакова Л. Н. Исследование свойств модифицированных карбамидоформальдегидных клеев для изготовления фанеры // Лесной Вестник. 2018. Т. 22. № 5. С. 103–112.
2. Лавлинская О. В., Ищенко Т. Л., Самойленков В. С. Исследование возможности использования ки-слоотообработанной древесной шлифовальной муки в качестве наполнителя карбамидо-формальдегидных клеев для производства фанеры // Лесотехнический журнал. 2014. № 4. С. 100–105.
3. Kawalerczyk J., Dziurka D., Mirski R., Szentner K. Properties of Plywood Produced with Urea-Formaldehyde Adhesive Modified with Nanocellulose and Microcellulose // Drvna Industrija, 2020, Vol. 71. No. 1. pp. 61-67.
4. Gao W., Du G., Kamdem P. Influence of Ammonium Pentaborate (APB) on the Performance of Urea Formaldehyde (UF) Adhesives for Plywood // European Journal of Marketing, 2015, Vol. 91, No. 3. pp. 186-196.
5. Дисперсия Лакротэн Э-21. URL: http://orghimsib.ru/lakroten_e21 (дата обращения: 16.03.2021).

УДК 630.812:691.11

А. А. Титунин,

д. т. н., зав.кафедрой ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
a_titunin@ksu.edu.ru

Т. Н. Вахнина,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
t_vachnina@mail.ru

И. В. Сусоева,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
i.susoeva@yandex.ru

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИТА С УЧЕТОМ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ

Рассмотрена структурная модель теплоизоляционного материала на основе отходов переработки древесины, льна и хлопка. Представлена упрощенная модель композита для решения задачи теплопроводности с учетом размеров и количества пор в материале. Дано описание принятых допущений. Показаны возможные варианты распределения температуры по толщине материала. Приведены основные математические зависимости, характеризующие условия изменения температуры при теплопередаче.

Ключевые слова: теплоизоляционные композиты, растительные отходы, уравнение теплопроводности, моделирование.

A. A. Titunin,

Doctor of Technical Sciences, Head of Woodworking Department, Kostroma State University, Kostroma,
a_titunin@ksu.edu.ru

T. N. Vakhnina,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
t_vachnina@mail.ru

I. V. Susoeva,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
i.susoeva@yandex.ru

PHYSICAL AND MATHEMATICAL FORMULATION OF THE PROBLEM OF THERMAL CONDUCTIVITY OF A WOOD COMPOSITION TAKING INTO ACCOUNT THE FORM AND SIZE OF FILLER PARTICLES

The article deals with the structural model of a heat-insulating material based on wood, flax and cotton processing wastes. A simplified model of a composite is presented for solving the problem of thermal conductivity, taking into account the size and number of pores in the material. A description of the accepted assumptions is given. Possible variants of temperature distribution over the material thickness are shown. The main mathematical dependences characterizing the conditions of temperature change during heat transfer are given.

Keywords: heat-insulating composites, vegetable waste, thermal conductivity equation, modeling.

Вопросам повышения энергоэффективности зданий и сооружений в настоящее время уделяется достаточно большое внимание, при этом многие авторы справедливо отмечают, что современные здания при этом должны быть ресурсосберегающими и отвечать требованиям экологичности [1–3]. В этой связи возрастает роль используемых строительных материалов, в первую очередь теплоизоляционных. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на расширение сырьевой базы производства теплоизоляционных композитов на основе природных биополимеров. Большим ресурсным потенциалом для производства теплоизоляционных строительных материалов обладают мягкие отходы деревообработки и неиспользуемые отходы прядильных производств, содержащие значительное количество пылевидной фракции и загрязнений, обусловленных сбором данных отходов в процессе производства растительных волокон. Данные отходы относятся к возобновляемым источникам сырья, а также они благодаря своей мелкодисперсной структуре могут обеспечивать требуемую теплоизоляцию при определенных условиях.

При теоретическом обосновании возможности создания теплоизоляционного композита на основе комбинированного наполнителя из растительных отходов и синтетических поликонденсационных или неорганических клеев с необходимыми физико-механическими и эксплуатационными показателями авторами была разработана физико-математическая модель теплопроводности, базирующаяся на ранее выполненных исследованиях. Согласно этим исследованиям коэффициент теплопроводности материала зависит от химического состава, физического строения вещества, его температуры, влажности и ряда других факторов [4–7].

Теплоизоляционный материал на основе целлюлозосодержащих отходов рассматривается как плоская пластина с неоднородной структурой. Кроме того принимается ряд допущений: во-первых, теплоизоляционный материал имеет идеальный контакт с ограждающей конструкцией; во-вторых, с наружной поверхности утеплителя имеет место воздухообмен; в-третьих, все воздушные поры в материале закрытые и располагаются во внутренних слоях (поз. 1 на рис. б); в-четвертых, влага находится в связанном состоянии, равномерно распределена в структуре клеточных стенок наполнителя и не содержится в свободном состоянии внутри полостей клеток и пустот в структуре наполнителя. При принятии этих допущения, модель композита (см. рис. а) может быть упрощена до вида трехслойной конструкции.

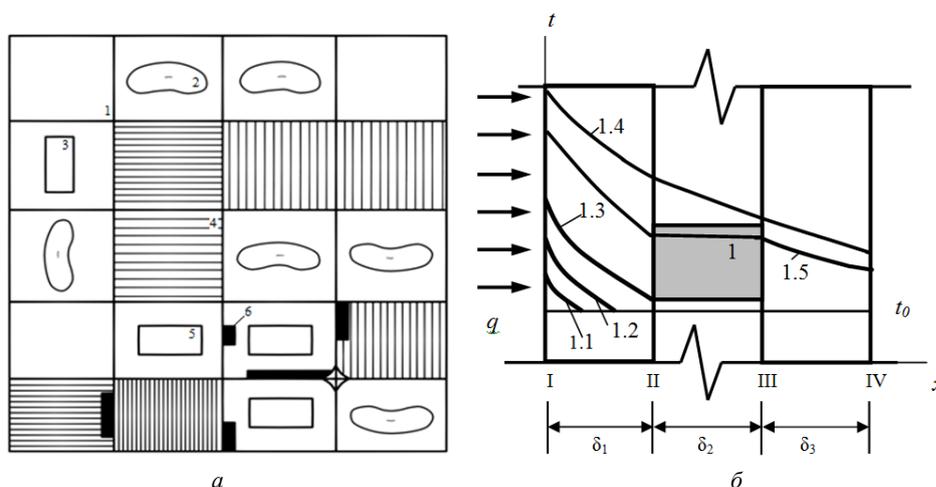


Рис. Структурная (а) и упрощенная (б) модель теплоизоляционного композита на основе многокомпонентного наполнителя:

1 – воздух; 2, 3, 5 – наполнитель (отходы хлопкового волокна, отходы льняного волокна, отходы древесины);
4 – вода; 6 – связующее

Первый слой толщиной δ_1 теплоизоляционного материала граничит с ограждающей конструкцией здания, через которую к нему подается тепловой поток мощностью q . В этом случае задача о теплопередаче при нестационарном режиме (суточные и сезонные колебания температуры) состоит в определении изменений температуры $t(x, \tau)$ и тепловых потоков $q(x, \tau)$ во времени t и в пространстве по толщине ограждения x .

Для единственности решений дифференциальные уравнения теплопроводности должны быть дополнены краевыми условиями, или условиями однозначности, которые включают геометрические, физические, временные и граничные условия.

Граничные условия I рода устанавливают распределение температуры на внутренней поверхности теплоизоляционного материала, а именно $-t_w = \text{const}$.

Граничные условия II рода определяют распределение теплового потока на поверхности, граничащей с ограждающей конструкцией $q_w = \text{const}$.

Граничные условия III рода определяют условия теплообмена с окружающей средой:

$$q = \alpha(t_w - t_f) = -\lambda \frac{\partial t_w}{\partial x} \Big|_{x \rightarrow 0}.$$

Граничные условия IV рода, которые определяют характер теплообмена на поверхности при контакте двух тел. Принимается, что тепловые потоки, проходящие через поверхность контакта двух смежных слоёв теплоизоляционного материала, равны между собой. В определенный момент времени τ_0 с левой стороны подается тепловой поток q , под влиянием которого первый слой утеплителя начинает прогреваться. Изменение полей температур можно представить в виде кривых 1.1 и 1.2 на рис. б. При этом второй и третий слои сохраняют температуру t_0 .

Для первого слоя уравнение теплопроводности запишется в виде

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_e \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (0 \leq x \leq \delta_1);$$

начальное условие $t(x, 0) = t_0(x)$ и граничные условия I рода, характеризующие постоянство температуры на границе II первого и второго слоев: $t(\delta, \tau) = t_\delta$.

В тот момент времени τ_1 , когда тепловой поток достигнет границы II, (кривая 1.3 на рис. б) условия теплопроводности могут измениться, так как во втором слое расположена полость с воздухом (закрашенный прямоугольник на рис. б), а теплопроводность воздуха много ниже, чем теплопроводность наполнителя или связующего. Если тепловая волна при прохождении по второму слою не пересекает полость с воздухом (кривая 1.4), то математическое выражение теплопроводности имеет вид, аналогичный уравнению для первого слоя.

В случае, если тепловая волна после пересечения границы II встречает полость с воздухом (кривая 1.5, рис. б), то следует учитывать граничные условия I рода, характеризующие распределение температуры на границе воздушной полости $t_i = f(\delta_{2i}, \tau)$. В этом выражении величина δ_{2i} зависит от размеров полости, которые в свою очередь определяются размерами и формой частиц наполнителя.

Для третьего слоя имеет место теплоперенос с комбинированными граничными условиями второго рода на поверхности III и третьего рода на поверхности IV и неравномерными начальными условиями:

$$\text{начальное условие } t(x, 0) = f(\delta_{2i}, \tau); \text{ граничные условия } -\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = q_{3i}; \quad -\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_n [t(\delta, \tau) - t_c].$$

В момент времени τ_3 , когда тепловая волна достигнет внешней границы третьей ламели, в процессе теплообмена будут участвовать все три слоя – кривые 1.4–1.5 на рис. б.

В результате даже при постоянном тепловом потоке на границе IV из-за неравнозначности условий прохождения теплового потока через второй слой с воздушной полостью формируется неравномерное температурное поле.

Если будут известны значения температур на границах I и IV, можно определить коэффициент теплопроводности λ для теплоизоляционного композита в зависимости от общего количества замкнутых воздушных прослоек, количество которых зависит от размеров и формы дисперсных частиц наполнителя.

Список литературы

1. Федосов С. В., Федосеев В. Н., Петрухин А. Б., Опарина Л. А. Энергоэффективность зданий, строений и сооружений промышленного и сельскохозяйственного назначения // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук

- наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году : сб. науч. тр. РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук. М., 2020. С. 477–481.
2. Слесарев М. Ю. Инновационные методы формирования систем экологической безопасности строительства // Вестник МГСУ. 2007. № 3. С. 7–12.
 3. Большеротов А. Л. Научные основы и подходы к формированию системы оценки экологической безопасности строительства (СОЭБС) // Жилищное строительство. 2011. № 7. С. 44–47.
 4. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М. : Лесная пром-сть, 1989. 296 с.
 5. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США : пер. с англ. М. : Лесная пром-сть, 1979. 544 с.
 6. Титунин А. А., Вахнина Т. Н., Сусоева И. В. Исследование свойств теплоизоляционных материалов из отходов производства хлопковых и льняных волокон // Научный журнал строительства и архитектуры. Воронеж : ВГТУ, 2017. № 2(46). С. 37–45.
 7. Зайцева К. В., Титунин А. А., Гнедина Л. Ю., Ибрагимов А. М. Тепло- и массоперенос в многослойном деревянном клееном брусе: постановка задачи // Промышленное и гражданское строительство. М., 2015, № 8. С. 21–27.

УДК 674.816.3:620.22

А. А. Титунин (мл.),

аспирант кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
b5225d@yandex.ru

А. Н. Чубинский,

д. т. н., заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», г. Санкт-Петербург, РФ,
a.n.chubinsky@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИТА

В работе приведены результаты научных исследований эксплуатационных свойств древесного композита, полученного на основе двухкомпонентного наполнителя. Доказано, что форма и размеры дисперсных древесных частиц значимо влияют на прочность композита при изгибе и его теплопроводность. Представленные результаты дисперсионного анализа подтверждают гипотезу о возможности получения теплоизоляционного композита с требуемой прочностью. Рекомендовано использовать березовую стружку в качестве добавки к основному наполнителю – хвойной стружке от строгальных деревообрабатывающих станков.

Ключевые слова: теплоизоляционные композиты, древесная стружка, прочность, теплопроводность, дисперсионный анализ.

A. A. Titunin (jr),

postgraduate student of the Department of Woodworking, Kostroma State University, Kostroma,
b5225d@yandex.ru

A. N. Chubinsky,

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Technology of Materials, Structures and Wood Buildings, Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russian Federation,
a.n.chubinsky@gmail.com

INFLUENCE OF FILLER STRUCTURE ON PERFORMANCE PROPERTIES OF WOOD COMPOSITE

The paper presents the results of scientific research of operational properties of wood composite obtained on the basis of two-component filler. It is proved that the shape and size of dispersed wood particles significantly influence the bending strength of the composite and its thermal conductivity. The presented results of the dispersion analysis confirm the hypothesis about the possibility of obtaining a thermal insulation composite with the required strength. It is recommended to use birch chips as an additive to the main filler - coniferous shavings from wood planing machines.

Keywords: heat-insulating composites, wood shavings, strength, thermal conductivity, dispersion analysis.

На современном этапе развития индустрии строительных материалов все большую актуальность приобретают исследования, направленные на создание композиционных материалов из различных видов отходов и исследование свойств таких материалов [1–3]. При этом разработчики стремятся уже на этапе проектирования обеспечить получение композиционного материала с требуемыми параметрами и свойствами. На кафедре лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств проводились экспериментальные исследования, в ходе которых изготавливались образцы на ос-