

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДРЕВЕСНЫЙ  
ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ**  
ANALYSIS OF EFFECT OF TEMPERATURE CHANGE ON WOOD POLYMER  
COMPOSITE MATERIAL

**Стородубцева Т.Н.**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой ПТСиГФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж

**Бондарев Б.А.**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных материалов ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Россия, Липецк

**Корнеева А.О.**, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Россия, Липецк

**Storobutseva T.N.**, Dr. Sci. Techn. Professor of the Department of Industrial Transport, Construction and Geodesy FGBOU VO «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Russian Federation, Voronezh

**Bondarev B.A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Building Materials FSBEI HE «Lipetsk State Technical University», Russia, Lipetsk

**Korneeva A.O.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Prof. of the Dept. of Metallurgical Technologies, FGBOU VO Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk

**Аннотация.** В данной работе рассмотрено исследование нового древесного полимерного композиционного материала, в качестве наполнителя которого используются лесопромышленные отходы в виде опилок, стружки, щепы, кусковых отходов и полиэтилентерефталат, исследование его морозостойкости с помощью метода компьютерного эксперимента. Разработана компьютерная программа для моделирования структуры и физических свойств строительных блоков из древесного полимерного композиционного материала. Программа позволяет задавать в окнах интерфейсной формы в программном коде геометрические и физические параметры строительного блока и компонентов материала, а также условия испытания на циклические нагрев и охлаждение до температур, предельно возможных при эксплуатации, и исследовать влияние параметров на внутреннее и поверхностное разрушение строительного блока. Программа применима для широкого диапазона концентраций компонентов композита, геометрических параметров строительного блока, разнообразных механических и термоциклических испытаний. Исследовано влияние состава древесного полимерного композиционного материала на структуру в термоциклических испытаниях. Получены зависимости разорванных связей от концентрации древесины, картограмма разрыва связей древесного полимерного композиционного материала с концентрацией древесины от 20 до 80%.

**Summary.** In this work the research of new wood polymeric composite material as which filler timber industry waste in the form of sawdust, shaving, spill, lumpy waste and

polyethyleneterephthalate, a research of its frost resistance by means of a method of a computer experiment is used is considered. A computer program has been developed to simulate the structure and physical properties of building blocks made of wood polymer composite material. The program allows you to set geometric and physical parameters of the building block and material components in the windows of the interface form in program code, as well as test conditions for cyclic heating and cooling to temperatures maximum possible during operation, and investigate the influence of parameters on the internal and surface destruction of the building block. The program is applicable for a wide range of concentrations of composite components, geometric parameters of the building block, various mechanical and thermocyclic tests. Influence of composition of wood polymer composite material on structure in thermocyclic tests is investigated. Dependencies of broken bonds on concentration of wood, cartogram of breaking bonds of wood polymer composite material with concentration of wood from 20 to 80% are obtained.

**Ключевые слова:** температура, композиционный материал, полимер, древесина.

**Keywords:** temperature, composite, polymer, wood, modeling, properties.

В настоящее время очень перспективным направлением исследований является создание древесно-полимерных композитов (ДПК), наполнителем которых являются отходы деревообрабатывающей и лесозаготовительной промышленности. Такие материалы не только отличаются высокими эксплуатационными свойствами, позволяя использовать изделия из них там, где древесины использоваться не может (во влажной среде), но и имеют невысокую стоимость, а также экологичны и позволяют более рационально использовать заготавливаемую древесину. Композиционные материалы с древесным наполнителем могут применяться для изготовления декинга, отделочных и кровельных материалов, садовой и парковой мебели, шумозащитных экранов, пирсов, причалов, дверей, окон и т. Д. То есть область применения изделий из ДПК чрезвычайно широка, а совершенствование их свойств – перспективное направление исследований.

Обзор статей о древесных полимерных композитах (ДПК) – наличия на рынке аналогов, имеющих сопоставимые технические и эксплуатационные характеристики, показал, что на данный момент на рынке представлены изделия из композита в котором, в качестве связующего, преимущественно, используется полиэтилен, полипропилен или поливинилхлорид и др., а в качестве наполнителя – древесные отходы, но, в основном, используется древесная мука [1, 2-6]. Главной отличительной чертой древесно-песчаных композитов является использование полиэтилентерфталата (ПЭТ) [2] и модификатора в виде глиоксаля. Преимуществом данного решения, по сравнению с аналогами, является то, что исходным сырьем является пластиковая бутылка, которую всего лишь нужно отмыть, измельчить и высушить, что лучшим образом отразится на цене готовых изделий. Данный материал относится к области составов и технологии высоконаполненных композиционных материалов и изделий на основе дисперсных древесно-растительных наполнителей и термопластичных полимерных связующих и может быть использован в строительстве, машиностроении, мебельной и других отраслях промышленности. Научная новизна работы заключается в теоретическом обосновании и разработке ресурсосберегающей технологии создания нового вида композита на основе древесных отходов и полимерного вяжущего из которого можно производить изделия для промышленного и гражданского строительства.

Цель работы – решение проблемы рационального и полного использования отходов лесопиления и деревообработки в качестве вторичного технологического сырья, которая давно приобрела важнейшее значение, и сохраняет свою актуальность до сих пор. Данная разработка позволит утилизировать огромное количество отходов лесной промышленности. Помимо этого использование древесных отходов в качестве строительного материала позволит заменить в некоторых областях древесину, что в свою очередь снизит рубки леса и повысит эффективность деревообработки. Все это, несомненно, приведет к улучшению экологической обстановки.

Таким образом, после анализа присутствующих на рынке изделий из ДПК [7-9] был предложен состав композита, получивший название древесного полимер-песчаного композита (ДППК). Данный материал вобрал в себя все лучшие свойства известных ДПК (водостойкость, влагостойкость, высокий предел прочности при изгибе), но и приобрел новые преимущества, которыми не обладают аналоги (возможность применения любых древесных отходов, более высокую прочность за счет содержания в составе песка, удешевление производства за счет того, что большая часть составляющих материала – это бытовые (ПЭТ флексы, полученные путем переработки тары из полиэтилентерефталата) и древесные отходы (отходы деревообрабатывающей и лесной промышленности в виде стружек, опилок, щепы, кусковых отходов), а также песок, который является общедоступным и недорогим материалом [1].

Для того, чтобы география применения строительного материала не была ограничена, он должен быть устойчив к колебаниям температуры. Испытание строительных материалов согласно ГОСТ 10060.0-95 проводятся следующим образом.

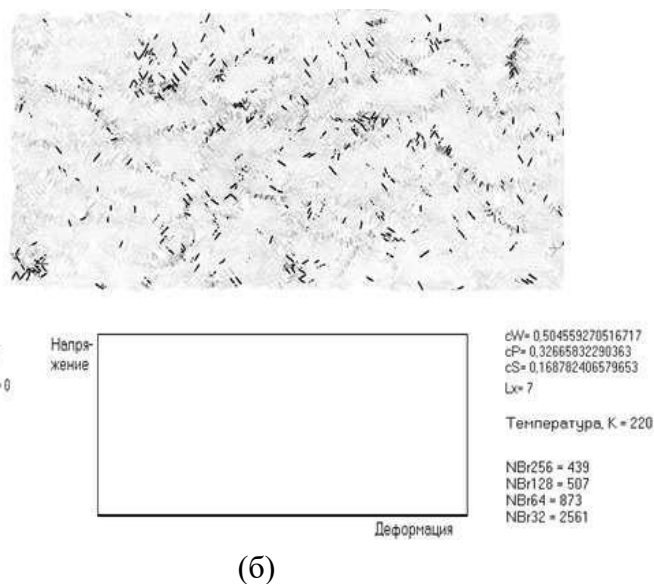
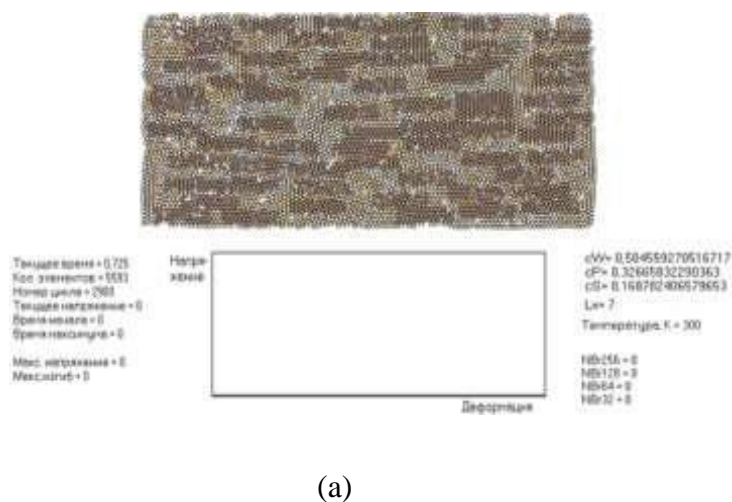
Определение морозостойкости камня производят на образцах кубической формы с ребром 40...50 мм или цилиндрах диаметром и высотой 40...50 мм. Вначале образцы в течение 48 часов выдерживают в воде при температуре 20°C, затем помещают в холодильную камеру, доводя в ней температуру до минус 17...25°C (длительность выдержки 4 ч). После этого замороженные образцы помещают в воду с температурой 20°C и выдерживают при этой температуре до полного оттаивания, но не менее 2 ч. Далее цикл повторяется. После 15, 25 и 50 циклов замораживания и оттаивания по 5 образцов испытывают на сжатие.

В настоящее время точные данные можно получить не только с помощью физического эксперимента, но и с помощью компьютерного эксперимента. Так, для исследования ДППК была создана математическая модель структуры и свойств материала, на основе которой созданы программы для ЭВМ, с помощью которых можно исследовать поведение материала различного состава в различных условиях.

Для моделирования структуры и механических свойств ДППК используется метод динамики частиц, который в последние десятилетия все чаще используется в различных отраслях науки и техники [2]. Для того, чтобы модель обладала высоким пространственным разрешением моделируемый образец ДППК разбивается на большое количество (1000–20000) элементов (рисунок).

Моделирование производится в двумерном пространстве XZ, при этом элементы имеют одинаковую круглую форму с одинаковым диаметром  $d_э$ . Элементы по своим физическим свойствам делятся на три типа (древесина, полимер, песок).

Элементы имеют возможность двигаться в процессе механических испытаний образца по законам классической механики, что приводит к изменению формы и состояния всего образца.



**Рисунок 1.** Изображение, выводимое на экран в процессе работы программы:  
 2) – структура композиционного материала; (б) – картограмма распределения внутренних необратимых деформаций в строительном блоке при термоциклировании

В данном случае для исследования морозостойкости ДППК была использована программа, предназначенная для моделирования разрушения структуры строительных блоков из древесного полимер-песчаного композита в результате изменения температуры блоков.

Программа позволяет задавать в окнах интерфейсной формы и в программном коде основные геометрические и физические параметры строительного блока и компонентов материала, а также условия испытания на циклические нагрев и охлаждение до температур, предельно возможных при эксплуатации, и исследовать влияние параметров на внутреннее и поверхностное разрушение строительного блока.

В ходе работы программы на экране отображается как внешний вид структуры блоков (рисунок, а), так и разорванные связи между элементами (оттенками серого цвета на рисунке,

б). Первый же цикл изменения температуры: нагрев модельного блока от 273 до 360 К и охлаждение до 220 К приводит к появлению около 1,5 тысяч разорванных связей (рисунок).

Изучение влияния концентрации компонентов ДППК проведено в два этапа. На первом этапе исследовано влияние концентрации древесины при соотношении концентраций полимера и песка как 2:1 [2]. На втором этапе проведено двухфакторное исследование, в котором изменяли как концентрацию древесины, так и концентрацию песка (концентрация полимера являлась зависимой переменной от основных двух факторов).

Программа применима для широкого диапазона концентраций компонентов композита, геометрических параметров строительного блока, разнообразных термоциклических испытаний.

Для определенности фрагменты древесины представлялись в виде стружек (протяженных в одном направлении фрагментов), ориентированных вдоль длинной стороны блока. Для каждой исследуемой концентрации древесины провели по 5 циклов нагрева до 360 К и охлаждения до 220 К. В данной серии компьютерных экспериментов изменяли концентрацию древесины  $C_d$  от 20 до 80%, при этом концентрации оставшихся компонентов поддерживали в соотношении  $C_{Пл} : C_{Пс} = 2 : 1$ .

Обнаружено, что с увеличением концентрации древесины снижается количество связей, разорванных к моменту окончания термоциклических испытаний. Так, при концентрации древесины 20% количество разорванных связей примерно вдвое больше, чем при концентрации 50%. По-видимому, древесина выполняет армирующую функцию и упрочняет внутреннюю структуру материала. Также, адгезия между полимерной матрицей и древесиной лучше адгезии между полимерной матрицей и песком, поэтому увеличение концентрации древесины повышает термоциклическую устойчивость ДППК. Таким образом, для повышения устойчивости блоков ДППК к колебаниям температуры целесообразно увеличивать концентрацию древесины в составе материала, так как древесина имеет высокую адгезию с полимерной матрицей и выполняет армирующую функцию.

### Список литературы

1. Кудряшова И. А. Повышение огнестойкости древесно-полимерных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата / И.А. Кудряшова, Т.Н. Вахнина, А.А. Титунин // Технологии и качество. – 3(41). – С. 23-25.
2. Стородубцева Т.Н. Особенности математического моделирования древесного полимер-песчаного композита / Т. Н. Стородубцева, А. А. Аксомитный // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4, № 4 (16). – С. 131-139.
3. NguyenVD, HaoJ, WangW 2018 Ultraviolet weathering performance of high-density polyethylene/wood-flour composites with a basalt-fiber-included shell. *Polymers* 8(10) p 831.
4. Hao J, Wang H, Song Y, Wang W 2019 Simultaneously improving the toughness and stiffness of wood flour/polypropylene composites using elastomer a669/talcum blends. *Polymer Composites* 2019 4(40) pp 1335-1341.
5. Croitoru C, Roata IC, Luca MA, Spirchez C, Lunguleasa A, Cristea D, Pop MA, Bedo T 2018 Calcium carbonate and wood reinforced hybrid pvc composites. *Journal of Applied Polymer Science* 2018 22(135) p 46317.

6. Lyutyy P, Bekhta P, Ortynska G 2018 Lightweight flat pressed wood plastic composites: possibility of manufacture and properties *Drvna Industrija* 1(69) pp 55-62.
7. Antwi-Boasiako C., Ofosuhene L., Boadu K. B. Suitability of saw dust from three tropical timbers for wood-cement composites *Journal of Sustainable Forestry* № 4(37) pp 414-428.
8. GuoC, LiL, LiH (2019). Evaluation of interfacial compatibility in wood flour/polypropylene composites by grafting isocyanate silane coupling agent on polypropylene. *Journal of Adhesion Science and Technology* 5(33) pp 468-478.
9. Chan C M, Vandi L-J, Pratt S, Halley P, Werker A, Laycock B, Richardson D. Composites of wood and biodegradable thermoplastics: a review *Polymer Reviews* № 3(58) pp 444-494.

### References

1. Kudryashova I A, Vakhnina T H, Titinin A A Increased fireproofness of wood-polymer composites with addition of secondary polyethylene terephthalate. *Technology and Quality* 3 (41) pp 23-25
2. Storodubtseva T N, Aksomitny A A 2014 Features of mathematical modeling of wood – polymer composite sand *Journal of Forestry* 4 (16) pp 131-139
3. NguyenVD, HaoJ, WangW 2018 Ultraviolet weathering performance of high-density polyethylene/wood-flour composites with a basalt-fiber-included shell. *Polymers* 8(10) p 831.
4. Hao J, Wang H, Song Y, Wang W 2019 Simultaneously improving the toughness and stiffness of wood flour/polypropylene composites using elastomer a669/talcum blends. *Polymer Composites* 2019 4(40) pp 1335-1341
5. Croitoru C, Roata IC, Luca MA, Spirchez C, Lunguleasa A, Cristea D, Pop MA, Bedo T 2018 Calcium carbonate and wood reinforced hybrid pvc composites. *Journal of Applied Polymer Science* 2018 22(135) p 46317.
6. Lyutyy P, Bekhta P, Ortynska G 2018 Lightweight flat pressed wood plastic composites: possibility of manufacture and properties *Drvna Industrija* 1(69) pp 55-62
7. Antwi-Boasiako C, Ofosuhene L, Boadu K B Suitability of sawdust from three tropical timbers for wood-cement composites. *Journal of Sustainable Forestry* № 4(37) pp 414-428
8. GuoC, LiL, LiH (2019) Evaluation of interfacial compatibility in wood flour/polypropylene composites by grafting isocyanate silane coupling agent on polypropylene. *Journal of Adhesion Science and Technology* 5(33) pp 468-478
9. Chan C M, Vandi L-J, Pratt S, Halley P, Werker A, Laycock B, Richardson D. Composites of wood and biodegradable thermoplastics: a review *Polymer Reviews* № 3(58) pp 444-494.