

**УСТОЙЧИВОСТЬ К КОЛЕБАНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ ДРЕВЕСНОГО  
ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**  
RESISTANCE TO VIBRATION OF WOOD TEMPERATURE POLYMER COMPOSITE  
MATERIAL

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

**Короткая А.В.**, магистр ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж

**Китаев В.В.**, студент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж

**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

**Korotkaya A.V.**, master FGBOU VO «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Russian Federation, Voronezh

**Kitaev V.V.**, student, FGBOU VO «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Russian Federation, Voronezh

**Аннотация.** В данной работе рассмотрен древесный композиционный материал, который вобрал в себя все лучшие свойства известных древесных полимерных композитов: водостойкость, влагостойкость, высокий предел прочности при изгибе. Сделан вывод, что по критерию устойчивости к колебаниям температуры можно дать более полные рекомендации по оптимальному составу древесного полимерного композиционного материала на основе двухфакторного исследования. Для обеспечения сравнимости результатов оптимизации по ряду других свойств серия компьютерных экспериментов проведена по тому же плану, как и при исследовании устойчивости к сжатию, то есть концентрацию древесины и одновременно концентрацию песка изменяли от 10 до 50% с шагом 10%, соответственно. Материал приобрел новые преимущества, которыми не обладают известные 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 и древесные отходы, а именно отходы деревообрабатывающей и лесной промышленности в виде стружек, опилок, щепы, кусковых отходов, а также песок, который является общедоступным и недорогим материалом.

**Summary.** In this work, a wood composite material is considered, which incorporates all the best properties of the known wood polymer composites: water resistance, moisture resistance, high bending strength. It was concluded that according to the criterion of resistance to temperature fluctuations, it is possible to give more complete recommendations on the optimal composition of the wood polymer composite material based on a two-factor study. To ensure comparability of

optimization results for a number of other properties, a series of computer experiments was carried out according to the same plan as for the study of compression resistance, that is, the concentration of wood and at the same time the concentration of sand was changed from 10 to 50 % with a step of 10 %, respectively. The material has acquired new advantages, which do not have known analogues – the possibility of using any wood waste, higher strength due to the content of sand in the composition, cheaper production due to the fact that most of the components of the material are household and wood waste, namely waste from the woodworking and forestry industries in the form of chips, sawdust, chips, lump waste, as well as sand, which is a publicly available and inexpensive material.

**Ключевые слова:** композит, полимер, термоциклирование, устойчивость, колебания.

**Keywords:** composite, polymer, thermal cycling, stability, oscillations.

Целью работы является 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.

Рекомендации по оптимальному составу древесного полимерного композиционного материала (ДПКМ) по критерию устойчивости к колебаниями температуры можно дать на основе двухфакторного исследования.

Для обеспечения сравнимости результатов оптимизации по ряду других свойств серия компьютерных экспериментов проведена по тому же плану, как и при исследовании устойчивости к сжатию, то есть концентрацию древесины  $C_D$  и одновременно концентрацию песка  $C_{Пс}$  изменяли от 10 до 50% с шагом 10%, соответственно. При этом концентрация полимера рассчитывалась как  $C_{Пл} = 100\% - C_D - C_{Пс}$ . Из 25 возможных комбинаций параметров  $C_D$  и  $C_{Пс}$  в четырех случаях структура получилась неустойчивой.

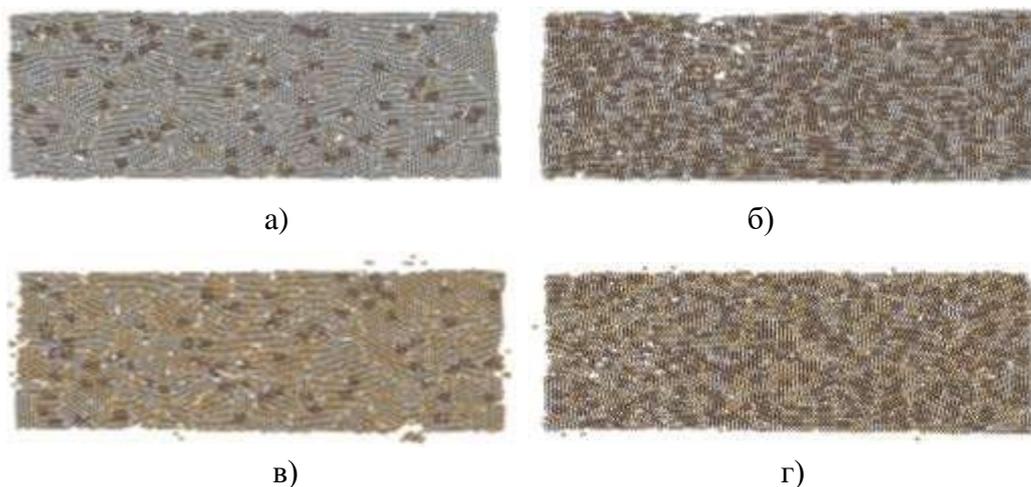
Для 21 точки диаграммы составов провели отдельные компьютерные эксперименты по термоциклическим испытаниям модельного блока ДПКМ (рисунок 1) [1-3] с определением количества разорванных связей  $N_p$  и пересчетом их в удельную площадь трещин  $S_T$  (таблица).

В результате аппроксимации данных компьютерных экспериментов [4,5] получена следующая формула для расчета количества разорванных связей:

$$S_T(C_{Пс}, C_D) = -2,930 \cdot 10^{-3} C_{Пс}^2 + 1,287 \cdot 10^{-3} k_2 C_D^2 - 2,446 \cdot 10^{-4} C_{Пс} C_D - 0,0210 C_{Пс} - 0,635 k_5 C_D + 43,264, \quad (1)$$

где  $C_{Пс}$  и  $C_D$  выражены в процентах,  $S_T$  – в отношении площади трещин в метрах квадратных в одном метре кубическом объема материала.

Получившаяся зависимость  $S_T(C_{Пс}, C_D)$  близка к линейной, поэтому график зависимости близок к плоскости.



**Рисунок 1.** Примеры структуры блоков ДПКМ для четырех исследуемых концентраций

**Таблица 1.** Удельная площадь трещин при различных концентрациях древесины и песка

С <sub>пс</sub> , %	С <sub>д</sub> , %				
	10	20	30	40	50
10	36,74	31,69	23,02	21,90	11,06
20	33,79	29,17	25,12	17,88	14,09
30	34,57	27,99	19,85	20,07	11,12
40	32,05	22,46	18,66	12,55	–
50	29,13	23,65	–	–	–

В первую очередь изучено влияние количества циклов  $N_{ц}$  изменения температуры от 220 до 360 К на структуру модельного блока ДПКМ с типичной концентрацией компонентов, размером и формой древесных фрагментов. Для оценки термоциклического разрушения структуры используется показатель  $N_p$  – абсолютное количество разорванных связей в модельном блоке прямоугольной формы с заданным количеством элементов. Для сравнения с экспериментальными данными показатель  $N_p$  может быть пересчитан в относительный показатель, например, отношение площади трещин к единице объема материала [1-5]. Визуальный анализ картограмм разорванных связей позволил установить, что разорванные связи возникают не равномерно по структуре, а группируются в кластеры, вблизи изначальных неблагоприятных, с точки зрения механической связи, флуктуаций состава.

Второй цикл нагрева-охлаждения приводит к появлению дополнительных, около 500 разорванных связей, однако их количество примерно втрое меньше, чем за первый цикл.

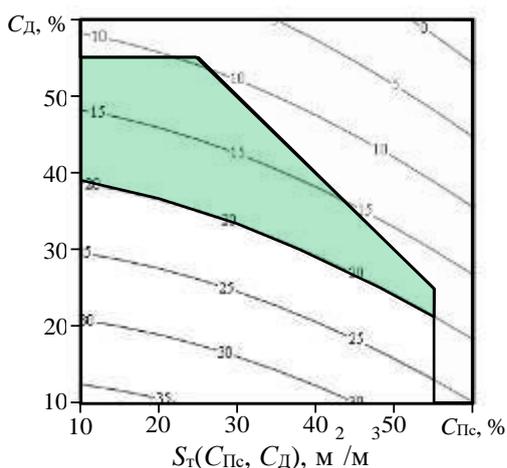
Последующие циклы практически не приводят к появлению новых связей: если за третий и четвертый циклы еще появляется примерно по 100 связей, то к последующим циклам структура стабилизируется и является уже разрушенной в тех местах, где могут происходить термоциклические разрушения [6, 7].

Концентрация компонентов материала может существенно влиять на устойчивость строительных блоков к колебаниями температуры, так как определяет внутреннюю связность материала.

Было рассмотрено влияние состава древесного полимерного композиционного материала на структуру и зависимость количества разорванных связей  $N_p$  от длины древесных фрагментов  $L_\phi$  на структуру ДПКМ в термоциклических испытаниях. Программа предназначена для моделирования структуры и физических свойств строительных блоков из древесного полимерного композиционного материала.

Построена номограмма выбора оптимального состава (рисунок 2) – концентрации песка  $C_{Пс}$  и древесины  $C_{Д}$  (при концентрации полимера  $C_{Пл} = 100 - C_{Пс} - C_{Д}$ ) – по условию минимизации удельной площади трещин  $S_T$  после трех термоциклов. Затемнена оптимальная область составов ( $N_p$  менее 2000). Анализируя номограмму  $S_T(C_{Пс}, C_{Д})$  и задавшись пороговым уровнем максимальной удельной площади трещин  $20 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , можно сделать вывод, что оптимальная концентрация древесины составляет 40...55 % при малой концентрации песка 10 % и снижается до 25...30 при высокой концентрации песка 50 %.

Полученная оптимальная область (затемнена на рисунке 2) будет ниже использована для определения обобщенной оптимальной области концентраций по нескольким физическим свойствам. Заштрихована область невозможных составов и составов, при которых блок самопроизвольно разрушается. Количество разорванных связей увеличивается от длины древесного фрагмента, т.е. определено влияние размера древесных фрагментов на структуру ДПКМ в термоциклических испытаниях.



**Рисунок 2.** Номограмма выбора оптимального состава

Произведено исследование морозостойкости древесного полимерного песчаного композиционного материала методом компьютерного эксперимента, исследовано влияние состава ДПКМ на структуру в термоциклических испытаниях, даны рекомендации по оптимизации состава блоков ДПКМ с целью минимизации разрыва связей при термоциклировании.

Рассмотрим влияние размера древесных фрагментов на структуру ДПКМ в термоциклических испытаниях. Форма и размеры древесных фрагментов могут оказывать существенное влияние на устойчивость структуры блоков ДПКМ к колебаниям температуры.

Для изучения этого влияния проведена серия из шести компьютерных экспериментов, в которой изменяли длину древесных фрагментов  $L_\phi$  на уровнях 5, 15, 25, 35, 50, 65 мм при ширине древесного фрагмента  $B_\phi = 0,25 L_\phi$ . При этом концентрация древесины была 50 %, полимера – 33%, песка – 17%. Обнаружено, что при увеличении размеров древесных фрагментов количество разорванных связей  $N_p$  сначала практически не изменяется в диапазоне  $L_\phi$  от 5 до 35 мм, после чего заметно увеличивается. По-видимому, при малых размерах древесных фрагментов (до 25...35 мм) они однородно расположены в структуре и равномерно армируют структуру и равномерно повышают адгезионную связность структуры.

При больших же размерах древесных фрагментов (свыше 35 мм) структура является существенно неоднородной: между крупными фрагментами древесины образуются протяженные полимерные песчаные области. В таких областях, из-за плохой адгезии, и образуется значительное количество разорванных связей.

Таким образом, с позиций повышения устойчивости блоков ДПКМ к колебаниям температуры размер древесных фрагментов не должен быть более 25...35 мм. Определено влияние состава ДПКМ на структуру материала в термоциклических испытаниях, т.е. количество разорванных связей уменьшается с увеличением концентрации древесины. Зависимость количества разорванных связей от длины древесных фрагментов в очередной раз подтверждает вывод о влиянии размеров древесины на прочностные свойства блоков из ДПКМ. Концентрация компонентов ДПКМ может существенно влиять на устойчивость строительных блоков к колебаниям температуры, так как определяет внутреннюю связность материала.

### Список литературы

1. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей. – 3-е изд., испр. – М.: КомКнига, 2007. — 192 с.
2. Hoover W.G. Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations // *Physica A*. – 1983. – Vol. 118. – P. 111-122.
3. Кривцов А.М. Деформирование и разрушение тел с микроструктурой. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 304 с.
4. Premoze S., Tasdizen T., Bigler J. et al. Particle Based Simulation of Fluids // *Eurographics*, 2003. – Vol. 22. – N 3. – P. 103–113.
5. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Ч. 2. – М.: Мир, 2018. – 400 с.
6. 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.
7. 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.

### References

1. Myshkis A D 2007 Elements of the theory of mathematical models (Moscow: KomKniga)
2. Hoover W.G. Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations // *Physica A*. – 1983. – Vol. 118. – P. 111-122.
3. Krivtsov A M 2007 Deformation and fracture of bodies microstructure (Moscow: Fizmatlit)
4. Premoze S., Tasdizen T., Bigler J. et al. Particle Based Simulation of Fluids // *Eurographics*, 2003. – Vol. 22. – N 3. – P. 103–113.

5. Guld X and Tobochnik Y 2018 Computer modeling in Physics (Moscow: Mir) Kudryashova I A, Vakhnina T N and Titunin A A Increased fire resistance of wood-polymer composites with the addition of secondary polyethylene terephthalate. *Technology and Quality*41(3) 23
6. Kudryashova IA Improving the fire protection of wood-polymer composites with the addition of secondary polyethylene terephthalate / IA Kudryashova. Kudryashova, T.N. Vakhnina, A.A. Titunin // *Technology and quality*. – 3 (41). – S. 23-25.
7. Storodubtseva T N and Aksomitny A A 2014 Features of mathematical modeling of wood – polymer composite sand *Journal of Forestry* 4(4-16)131