

3. Wodzicki T. J. Mechanism of xylem differentiation in *Pinus silvestris* L. // Journal of Experimental Botany, 1971, 22:670–687.
4. Antonova G. F., Stasova V. V. Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems // Trees: Structure and Function, 1993, 7:214–219.
5. Antonova G., Stasova V. Seasonal distribution of processes responsible for radial diameters and wall thickness of scots pine tracheids // Сибирский лесной журнал. 2015. № 2. С. 33–40.
6. Rossi S., Deslauriers A., Cricar J., Seo J.-W., Rathgeber C.B.K., Anfodillo T., Morin ., Levanic T., Oven P. and Jalkanen R. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates // Global Ecology and Biogeography, (Global Ecol. Biogeogr.), 2008, V. 17. P. 696–707. doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00417.x.
7. Von Wilpert K. Intraannual variation of radial tracheid diameters as monitor of site specific water stress. Dendrochronologia, 1991. 9:95–113
8. Cabon A., Fernández-de-Uña L., Gea-Izquierdo G., Meinzer F. C., Woodruff D.R., Martínez-Vilalta J., De Cáceres M. Water potential control of turgor – driven tracheid enlargement in Scots pine at its xeric distribution edge. New Phytologist, 2020. 225:209–22. doi: 10.1111/nph.16146.

УДК 630.233

**М. А. Баяндин,**

к. т. н., доцент кафедры ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,  
*mihailbayandin@yandex.ru*

**В. Н. Ермолин,**

д. т. н., профессор, зав. кафедрой ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,  
*vnermolin@yandex.ru*

**В. А. Острякова,**

аспирант 1 года, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,  
*karmen0703@yandex.ru*

**А. В. Намятов,**

ассистент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,  
*namyatov2010@yandex.ru*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛИТ БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО**

*В работе изучено влияние процессе механоактивации опилок на изменение морфологических характеристик древесных частиц и их аутогезионные свойства при получении материалов без пьезотермических воздействий. В ходе исследований установлено, что с увеличением кратности гидродинамической обработки с эффектом кавитации опилок, происходит повышение доли частиц, представляющих собой фрагменты клеточных стенок. Это позволяют формировать водостойкие плиты с высокими механическими свойствами без использования связующих и пьезотермических воздействий.*

**Ключевые слова:** *древесная масса, активация, опилки, удельная поверхность.*

**M. A. Bayandin,**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Composite Material Technology and Wood Research, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation,  
*mihailbayandin@yandex.ru*

**V. N. Ermolin,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Composite Material Technology and Wood Research, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation, Krasnoyarsk, the Russian Federation,  
*vnermolin@yandex.ru*

**V. A. Ostryakova,**

1st year post-graduate student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation,  
*karmen0703@yandex.ru*

**A. V. Namyatov,**

Junior Researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation,  
*namyatov2010@yandex.ru*

### **STUDY OF THE PROPERTIES OF MECHANICALLY ACTIVATED WOOD PULP FOR THE PRODUCTION OF ADHESIVE-FREE WOOD BOARDS**

*The present paper studies the effect made by mechanical activation of sawdust on the morphological properties of wood particles and their self-adhesion properties in the production of materials without piezothermic treatment. The study has demonstrated that as the degree of hydrodynamic treatment with the sawdust cavitation effect increases, the share of particles that are cell wall fragments also increases. This can be used for the production of water-resistant boards with good mechanic properties without adhesives or piezothermic treatment.*

**Keywords:** wood pulp, activation, sawdust, specific surface area.

Традиционные промышленные технологии производства древесных плит в настоящее время сталкиваются с рядом препятствий в развитии. Основными сдерживающими факторами являются ужесточение санитарных норм и истощение доступности ликвидного сырья. Комплексным решением данных проблем является получение материалов из мягких отходов переработки древесного сырья без использования синтетических адгезивов. Большинство исследователей сходятся во мнении, что для получения древесных плит без использования адгезивов, необходимо существенное изменение физических или химических свойств древесины [1].

Известные решения механических воздействий, такие как размол, взрывной автогидролиз [2] или обработка химическими реагентами [3] направлены на изменение ультраструктуры клеточной стенки, что предопределяет разрушение лигноуглеводной матрицы древесинного вещества. Это во многом позволяет при пьезотермическом воздействии обеспечить взаимодействие между древесными частицами с образованием физических и химических связей. При этом малое количество образующихся контактов между волокнами не позволяет обеспечить желаемую водостойкость плит и тем самым не позволяют конкурировать с широко распространенными аналогами получаемых с использованием термореактивных полимеров. Возможным решением данной проблемы является увеличение площади доступных межфазных поверхностей древесных частиц за счет фибриллирования.

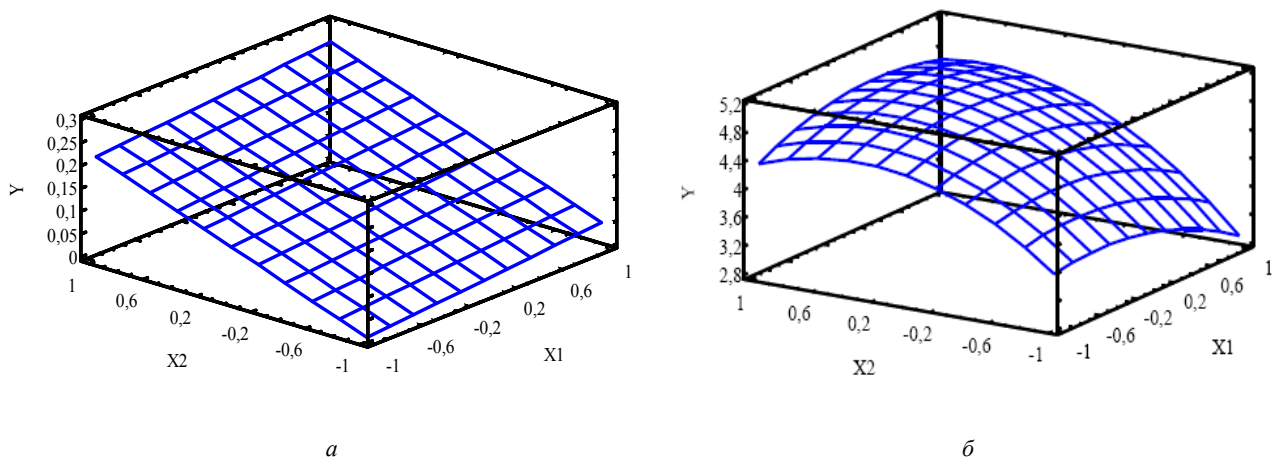
Наиболее перспективным методом в данном случае является механоактивация древесных частиц. Результаты проведенных нами ранее исследований [4] указывают на то, что при обработке опилок в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации емкость монослоя и величина удельной поверхности активированной древесины увеличиваются более чем в 2,5 раза в сравнении с исходными опилками [5]. Это во многом предопределяет изменения геометрических параметров и увеличение объема макрокапилляров частиц.

Целью данной работы является изучение свойств и морфологических характеристик древесных частиц в процессе механоактивации гидродинамическим способом.

Для оценки адгезионных свойств активированных древесных частиц нами проведены специальные исследования, в которых использовались опилки древесины хвойных пород, полученные при распиловке круглых лесоматериалов на лесопильной раме. До обработки опилки смешивались в соотношении с водой, из расчета концентрации опилок 6 %. Обработка осуществлялась на лабораторном гидродинамическом диспергаторе роторно-пульсационного типа согласно методике, подробно описанной в работе [4].

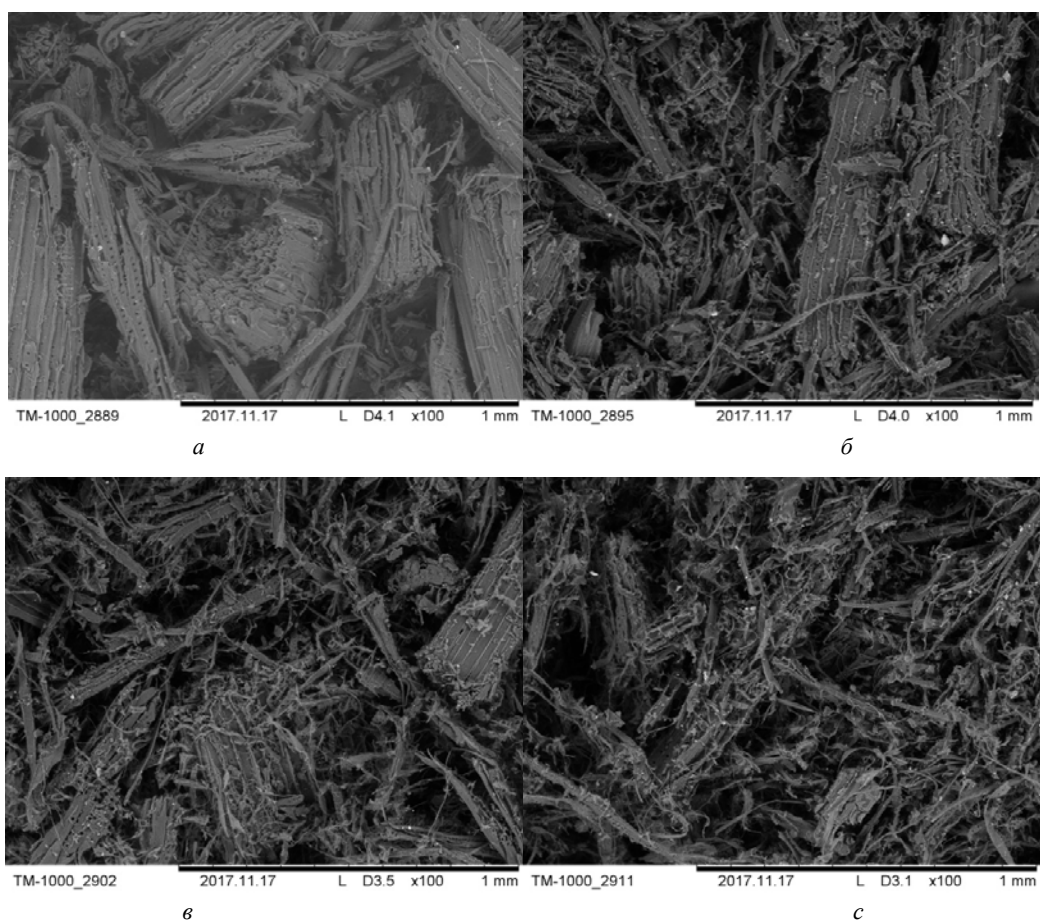
Оценка адгезионных свойств древесной производилась путем определения характеристик древесных плит, получаемых из активированного древесного сырья без пьезотермического воздействия (малой плотности). Для этого реализован активный двухфакторный эксперимент. В качестве варьируемого фактора принята кратность прохождения древесных частиц через активную зону диспергатора от 30 до 90 раз. После обработки формовали ковер путем налива обработанной массы в специальную металлическую форму с сетчатым дном. Для обезвоживания ковра использовали механический отжим в холодном прессе с давлением 0,5 МПа. После этого плиты перемещали в конвективную сушильную камеру. Процесс сушки осуществлялся при варьировании температуры от 55 до 155 °С и скорости циркуляции сушильного агента 2,5 м/с. Конечная влажность плит – 4 %, плотность  $\approx 250 \text{ кг/м}^3$ . Основные критерии: предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти и разбухание по толщине за 24 ч, определялись по стандартным методикам [6]. Результаты исследований представлены на рис. 1.

Результаты экспериментальных исследований позволили установить зависимости свойств древесных плит от технологических факторов. Как показал анализ наиболее существенное влияние на физико-механические свойства плит без применения пьезотермического воздействия (горячего прессования) оказывает кратность обработки древесных частиц. При этом величина прочности при растяжении перпендикулярно 0,28 МПа, сопоставима с значениями данного показателя материалов получаемых с использованием связующих веществ, например древесностружечных плит. Это во многом объясняется значительным увеличением удельной поверхности древесных частиц при максимальном количестве проходов их через активную зону диспергатора, что позволяет обеспечить максимальное аутогезионное взаимодействие при получении плит без горячего прессования. Экстремальная зависимость разбухания плит, вероятно обусловлена тем, что с увеличением кратности обработки за счет аутогезионного взаимодействия между частицами возникают новые структурные единицы, что приводит к снижению площади доступной удельной поверхности.



**Рис. 1. Зависимости физико-механических древесных плит малой плотности от кратности гидродинамической обработки:**  
 а – прочность; б – разбухание

Для изучения изменений капиллярной структуры гидродинамически активированной древесной массы осуществлялось обезвоживание ее путем фильтрации и замораживания при температуре  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . После этого ее подвергали лиофильной сушке в лабораторном лиофилизаторе при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и температуре конденсатора  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7]. Для установления изменений морфологических характеристик частиц в зависимости от кратности обработки в активной зоне гидродинамического диспергатора метод растровой электронной микроскопии (микроскоп ТМ-1000). Фото древесной массы представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Древесная масса с различной кратность гидродинамической обработки:**  
 а – исходные хвойные опилки; б – активированные частицы при кратности обработки – 30;  
 в – активированные частицы при кратности обработки – 60;  
 г – активированные частицы при кратности обработки – 90

Как видно из фотографий, представленных на рис. 2 опилки представляют фрагменты древесины перерезанных в поперечном направлении с присутствием незначительного количества от 2 до 6 трахеид. При тридцатикратной обработке древесины наблюдаются существенные изменения морфологической структуры древесной массы, которая характеризуется наличием продольно разрушенных фрагментов клеточной стенки, с незначительным содержанием опилок. Дальнейшая гидродинамическая обработка приводит к увеличению однородности древесной массы за счет роста доли частиц в виде лент. Это во многом объясняет увеличение удельной поверхности частиц более чем в 2,5 раза. Уменьшение количества мелкой фракции (см. рис. 2з) провидимому обусловлено тем, что мелкие частицы за счет аутогизионного взаимодействия с более крупными элементами образуют новые структуры, что подтверждает выдвинутое в данной работе нами выше предположение о влиянии кратности обработки на величину разбухания плит.

В целом результаты исследований свидетельствуют о том, что древесные частицы в процессе гидродинамической обработки с эффектом кавитации, претерпевают существенные изменения морфологических признаков, что во многом определяет увеличение объема макрокапилляров и величину удельной поверхности. Данные свойства древесной массы позволяют формировать без пьзотермических воздействий водостойкие плиты с высокими механическими свойствами.

### Список литературы

1. Древесина (химия, ультраструктура, реакции): пер. с англ. / Д. Фенгел, Г. Вегенер ; предисл. А. А. Леоновича ; под ред. д-ра техн. наук проф. А. А. Леоновича. М. : Лесная пром-сть. 1988. 512 с.
2. Калейне Д. А., Веверис А. Г., Полманис А. Г., Эриньш П. П. и др. Высокотемпературный автогидролиз древесины. 4. Автогидролиз осиновой древесины // Химия древесины. 1991. № 4. С. 60–64.
3. Технология производства композиционных материалов на основе модифицированных древесных наполнителей : монография / Р. Р. Хасаншин, Р. Р. Сафин, Е. Ю. Разумов ; Казанский нац. исследовательский технологический ун-т. Казань : КНИТУ, 2015. 231 с.
4. Ермолин В. Н., Баяндин М. А., Казицин С. Н., Намятов А. В., Острякова В. А. Водостойкость древесных плит, получаемых без использования связующих веществ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 151–158. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-151-15.
5. Намятов А. В., Баяндин М. А., Казицин С. Н., Ермолин В. Н. Исследование свойств плит малой плотности из механоактивированных древесных частиц без использования связующих веществ // СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ – 2018 : Материалы VI Международного симпозиума имени Б. Н. Уголева, посвященного 50-летию Регионального Координационного совета по современным проблемам древесиноведения (Красноярск, 10–16 сентября 2018г.). Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2018. С. 149–151.
6. ГОСТ 10633–2018. Плиты древесно-стружечные и древесно-волоконистые. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний. Введен в действие. 01.04.2019, взамен ГОСТ 10633–78 и ГОСТ 19592–80. М. : Стандартиформ, 2018. 10 с.
7. Колосовская Е. А., Лоскутов С. Р., Чудинов Б. С. Физические основы взаимодействия древесины с водой. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 216 с.

УДК 674.21

**И. К. Божелко,**

к. т. н., доцент, зав. кафедрой технологии деревообрабатывающих производств Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь,  
*bikbstu@mail.ru*

**А. А. Коновалова,**

магистрант 1 года обучения кафедры технологии деревообрабатывающих производств Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь,  
*anastasiyakonov@gmail.com*

**С. Г. Гузий,**

к. т. н., с. н. с., зам. директора по научной работе и инновационному развитию ООО ГЕОФИП, г. Кропивницкий, Украина,  
*sguziy2@gmail.com*

## МИНЕРАЛЬНЫЕ КЛЕИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ