

Научная статья

УДК 674.817

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-5-175-187

## Конструкционные плиты из гидродинамически активированной коры сосны (*Pinus sylvestris*) без связующих веществ

**В.Д. Эскин**<sup>✉</sup>, аспирант; ResearcherID: [ABF-3729-2020](https://orcid.org/0000-0002-5221-9018),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5221-9018>

**В.Н. Ермолин**, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [X-9597-2019](https://orcid.org/0000-0002-2113-4142),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2113-4142>

**А.И. Криворотова**, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [ABF-3696-2020](https://orcid.org/0000-0003-3463-3837),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3463-3837>

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037; vladislaweskin@gmail.com<sup>✉</sup>, vnermolin@yandex.ru, tkmkai@mail.ru

Поступила в редакцию 01.04.24 / Одобрена после рецензирования 26.06.24 / Принята к печати 28.06.24

**Аннотация.** Кора является крупнотоннажным отходом для целого ряда технологий деревопереработки, требующим эффективного применения. Одно из перспективных направлений использования коры – производство плит без синтетических связующих. Проведены исследования по получению конструкционных плит из коры сосны *Pinus sylvestris* без связующего. Способ основан на предварительной гидродинамической активации коры. Исходная кора проходит первичное измельчение в молотковой дробилке. После этого смешивается с водой в концентрации 6 %. Затем производится активация полученной массы в роторно-пульсационном диспергаторе, из нее формируется ковер, проводится холодная подпрессовка, а потом горячее прессование. В качестве критерия оценки степени активации массы принята водоудерживающая способность. Определены зависимости: между продолжительностью обработки и водоудерживающей способностью; прочностью плит и водоудерживающей способностью. Последнее позволило получить оптимальное значение показателя водоудерживающей способности – 290 %. Для разработки наилучшего режима горячего прессования был проведен многофакторный эксперимент. В результате найден оптимальный режим прессования плит: температура – 190 °С; удельная продолжительность процесса – 2,8 мин/мм; давление прессования – 4,4 МПа. Свойства плит, изготовленных при данном режиме: плотность – 980 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при изгибе – 24 МПа; разбухание при вымачивании в течение 24 ч – 5 %; водопоглощение – 9 %. Плиты после вымачивания и последующего высушивания до влажности 5 % сохраняют 75 % от прочности до вымачивания. При этом геометрические размеры возвращаются к первоначальным. Полученные плиты могут применяться в качестве листового отделочного и конструкционного материала, в строительстве – в качестве подложки напольных и кровельных материалов, при производстве мебели, особенно в тяжелых температурно-влажностных условиях. Проведенные исследования показывают возможность изготовления плитных материалов с высокими эксплуатационными свойствами из коры сосны без связующих веществ.

**Ключевые слова:** кора сосны, плиты, гидродинамическая активация, водоудерживающая способность, фракционный состав, прочность, разбухание, горячее прессование

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России на реализацию коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (номер темы – FEFE-2024-0032).

**Для цитирования:** Эскин В.Д., Ермолин В.Н., Криворотова А.И. Конструкционные плиты из гидродинамически активированной коры сосны (*Pinus sylvestris*) без связующих веществ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 5. С. 175–187. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-175-187>

Original article

### Structural Boards Made of Hydrodynamically Activated Pine (*Pinus sylvestris*) Bark without Binders

**Vladislav D. Eskin**<sup>✉</sup>, Postgraduate Student; ResearcherID: [ABF-3729-2020](https://orcid.org/0000-0002-5221-9018)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5221-9018>

**Vladimir N. Ermolin**, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [X-9597-2019](https://orcid.org/0000-0002-2113-4142)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2113-4142>

**Anna I. Krivorotova**, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [ABF-3696-2020](https://orcid.org/0000-0003-3463-3837), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3463-3837>

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prosp. im. gazety “Krasnoyarskiy rabochiy”, 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation; [vladislaweskin@gmail.com](mailto:vladislaweskin@gmail.com)<sup>✉</sup>, [vnermolin@yandex.ru](mailto:vnermolin@yandex.ru), [tkmkai@mail.ru](mailto:tkmkai@mail.ru)

Received on April 1, 2024 / Approved after reviewing on June 26, 2024 / Accepted on June 28, 2024

**Abstract.** Bark is a large-tonnage waste in a number of wood processing technologies requiring efficient use. One of the promising areas of bark use is the production of boards without synthetic binders. Research has been conducted on the production of structural boards from *Pinus sylvestris* bark without a binder. The method is based on preliminary hydrodynamic activation of bark. The initial bark undergoes primary crushing in a hammer mill. After that, it is mixed with water at a concentration of 6 %. Then the resulting mass is activated in a rotary pulsation disperser, a carpet is formed from it, cold pressing is carried out, and then hot pressing. As a criterion for assessing the degree of mass activation, water-retaining capacity is adopted. The dependencies have been determined between the duration of treatment and water-retaining capacity, as well as the strength of the boards and water-retaining capacity. The latter made it possible to obtain the optimal value of the water-retaining capacity equal to 290 %. A multifactorial experiment has been conducted to develop the optimal hot pressing mode. As a result, the optimal mode for pressing the boards has been determined: temperature – 190 °C; specific process duration – 2.8 min/mm; pressing pressure – 4.4 MPa. The properties of the boards produced in this mode are: density – 980 kg/m<sup>3</sup>; bending strength – 24 MPa; swelling during soaking for 24 hours – 5 %; water absorption – 9 %. After soaking and subsequent drying to a moisture content of 5 %, the boards retain 75 % of their before soaking. In this case, the geometric dimensions return to the original ones. The resulting boards can be used as a sheet finishing and structural material, in house-building (as a base for floor and



roofing materials), in furniture production, especially in severe temperature and humidity conditions. The conducted research shows the possibility of producing board materials with high performance properties from pine bark without binders.

**Keywords:** pine bark, boards, hydrodynamic activation, water-retaining capacity, fractional composition, strength, swelling, hot pressing

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the staff of the “Biorefining of Forest Resources” scientific laboratory to implement the project “Study of the Patterns of Biodegradation Processes of Dead Stands for the Development of Scientifically Based Approaches to Obtaining New Functional Materials” (Topic ID no. – FEFE-2024-0032).

**For citation:** Eskin V.D., Ermolin V.N., Krivorotova A.I. Structural Boards Made of Hydrodynamically Activated Pine (*Pinus sylvestris*) Bark without Binders. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 5, pp. 175–187. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-175-187>

### Введение

В целом ряде деревоперерабатывающих производств, таких как целлюлозно-бумажное, фанерное, плитное, лесопильное и др., окорка является либо обязательной, либо желательной технологической операцией. Кора составляет у разных пород от 4 до 30 % ствола дерева. В частности, у сосны – 10–16 % [16, 25]. Следовательно, кора – крупнотоннажный отход, который необходимо эффективно использовать. В настоящее время более половины объемов этого отхода складывается в отвалах, ухудшая экологическую обстановку и представляя пожарную опасность не только для предприятия, но и для прилегающих к нему территорий [24, 28].

Кора по химическому составу, строению и свойствам значительно отличается от древесины, что предопределено функциями, которые она выполняет в растущем дереве: проводящие, запасающие и защитные [9]. При этом для каждой породы характерны особенности. Функции внутреннего слоя коры – луба (флоэмы) – проводящая и запасающая. Наружный слой – корка (перидерма) – защищает от внешних воздействий. Содержание целлюлозы в коре сосны составляет от 14 до 19 % в корке и от 17 до 24 % в лубе [5], а лигнина – от 27 до 40 %. Для коры хвойных свойственно высокое содержание экстрактивных веществ – от 14 до 30 % – и пентозанов – от 7 до 15 %. Также в коре есть воски и суберин [17].

Клетки, образующие кору хвойных, по форме в основном являются паренхимными. Анализ работ [6, 9] показывает, что в коре много локальных участков, имеющих низкую прочность. Все это в совокупности с невысоким содержанием целлюлозы предопределяет то, что механические свойства коры значительно ниже, чем древесины [13].

В настоящее время наиболее распространенным способом использования коры является ее сжигание в котлах для обслуживания технологического процесса предприятия. Сухая кора при сжигании образует эквивалентное сухой древесине количество выделяемого тепла. По различным источникам, этот показатель варьирует от 16 до 20 МДж/кг [13, 22]. Однако существует ряд факторов, значительно затрудняющих процесс ее сжигания: высокая исходная

влажность (60–75 %), разнородный фракционный состав, плохая сыпучесть, усложняющая транспортировку и переработку, а также большая зольность, приводящая к быстрому засорению колосников котла и снижению его производительности [12].

Перспективным направлением является изготовление из коры топливных брикетов и гранул [18]. Отмечено, что пеллеты на основе коры обладают высокими прочностными свойствами. Это, по мнению авторов работы [29], в первую очередь связано с большим содержанием экстрактивных веществ и холоцеллюлозы. Другая гипотеза приведена в работе [23]. Автор связывает высокую прочность и низкую шероховатость гранул с большей в сравнении с древесиной чувствительностью коры к температуре и давлению. Как предполагается, это может быть обусловлено высоким содержанием лигнина в последней, что способствует увеличению плотности гранулированных материалов.

Еще одно направление использования отходов окорки – компостирование. В работе [3] предложен способ получения компостов из коры хвойных и лиственных пород с применением азотосодержащих добавок. Способ предполагает измельчение коры до фракции 3–10 мм, внесение в измельченную кору азотосодержащих добавок, выдерживание в буртах в течение 4 мес. с регулярным перемешиванием. Как показали исследования, применение данного продукта позволяет увеличить урожайность и устойчивость к болезням сельскохозяйственных культур. Подтверждением перспективности этого направления является то, что для компостирования можно использовать не только свежую кору, но и кору из отвалов [15, 24].

Кора – источник ценных веществ, которые могут быть использованы в химической, фармацевтической промышленности и сельском хозяйстве. Наибольший интерес представляют танины. Их применяют для дубления кожи и меха. В коре сосны содержится 15–25 % таннинов, лиственницы и ели – соответственно 8–19 и 5–15 % [26]. Таннины могут заменять фенол при изготовлении клеев для фанеры и древесно-стружечных плит [27]. Исследования физико-механических свойств древесно-стружечных плит, полученных с использованием карбамидоформальдегидной смолы с добавкой экстракта таннинов коры ели, показали повышение прочности плит [2]. Авторы выдвигают гипотезу, что таннины могут встраиваться в структуру связующего и участвовать в структурообразовании композита. Также ценный компонент древесной коры – суберин. Он локализуется в оболочках пробковых клеток и является химически стойким высокомолекулярным веществом, в результате чего клетки становятся непроницаемыми для газов и воды. Данное вещество может использоваться в качестве связующего в древесных плитах [11].

Использование коры как наполнителя в древесных плитных материалах могло бы быть наиболее легко реализуемым направлением применения коры. Однако проведенные исследования указывают на значительное снижение прочностных свойств плит при введении в их состав древесной коры [14]. Можно предположить, что снижение прочности плит обусловлено малой прочностью коры.

Одним из направлений улучшения показателей свойств плит с применением коры является уменьшение размера частиц, что позволяет нивелировать разнородность свойств по объему коры. Установлено, что при производстве

древесноволокнистых плит добавление измельченной коры в количестве 10 % дает хорошие результаты по прочности и разбуханию. С уменьшением размеров частиц характеристики готовых плит улучшаются [8].

Улучшение экологических свойств материалов, используемых в обустройстве среды обитания человека, является трендом. Движением в этом направлении становится разработка способов получения древесных плит без связующего. Как правило, эти способы основаны на предварительной обработке исходного сырья, обеспечивающей последующее структурообразование материала.

В работе [19] приведены результаты исследований по изготовлению из коры черной ели теплоизоляционных плит без связующего. Кора измельчалась струей воды в процессе окорки, после чего мокрым способом получали плиты различной плотности, которые по теплофизическим свойствам соответствуют требованиям, предъявляемым к теплоизоляционным материалам, однако имеют низкую прочность.

Взрывной автогидролиз является способом активации растительного сырья. Его использовали для получения плит без связующего из коры сосны [10]. Изготовлены плиты различной плотности. При максимальной плотности, равной 530 кг/м<sup>3</sup>, прочность при статическом изгибе составляла 2,85 МПа. Авторы отмечают, что данный способ не позволяет получить плиты с высокими физико-механическими свойствами.

Высокие механические свойства древесных плит без связующего были достигнуты за счет предварительной гидродинамической обработки. Такие плиты при сопоставимой плотности имеют механические свойства, не уступающие свойствам древесно-стружечных плит и плит MDF. Есть все основания предполагать, что данный способ активации позволит получить из коры плиты с высокими механическими свойствами.

Цель исследования – разработка способа получения конструкционных плит из гидродинамически активированной коры сосны без использования связующего и изучение их свойств.

#### *Объекты и методы исследования*

В качестве сырья при проведении экспериментального исследования использовалась кора сосны обыкновенной, отобранная после окорки древесины на станке типа ОК 63. Влажность исходной коры – 46,4 %. Фракционный состав (мм): 60 и более – 11 %; 40...60 – 33,7 %; 40...20 – 40,1 %; 20...6 – 15,2 %. Количество древесных отщепов в общей массе коры – не более 7,6 %. Первичное измельчение сырья производилось на лабораторной молотковой мельнице до фракции 5 мм и менее. Гидродинамическая активация осуществлялась в лабораторном роторно-пульсационном диспергаторе РГГД-1, конструкция которого подробно описана в работе [1]. Скорость вращения ротора установки – 2950 об./мин. Обработка выполнялась следующим образом. В смесительный бак, заполненный водой, помещалась измельченная кора – 6 % концентрации в пересчете на абсолютно сухую кору. В установке производилось циклическое прохождение коры через рабочую зону. Для оценки результатов влияния гидродинамической обработки на свойства массы принят показатель водоудер-

живающей способности (%), который определялся по методу G. Jaume [21]. Данный показатель широко используется в целлюлозно-бумажной и плитной промышленности [4]. Метод заключается в определении влажности массы после центрифугирования при 3000 об./мин. Центрифугирование осуществлялось на лабораторной центрифуге Т-23 (Janetzki, Германия).

Полученная пресс-масса на основе коры подвергалась 2-стадийному обезвоживанию. Первая стадия – отлив массы в коробе, дном которого является сетка с сечением ячеек 0,12 мм, без приложения давления. На рис. 1 представлена фотография пресс-массы после отлива.



Рис. 1. Пресс-масса на основе древесной коры после отлива без приложения давления

Fig. 1. The moulding material based on tree bark after casting without applying pressure

На второй стадии отбиралось требуемое количество массы, необходимое для получения плит с плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup>, масса помещалась в пресс-форму и отжималась (подпрессовывалась) в холодном прессе при давлении 1 МПа. Сформированный ковер перекладывался на стальные поддоны и загружался в лабораторный пресс марки LabPro 100 (Голландия) для горячего прессования. Толщина материала фиксировалась толщиной дистанционных прокладок между поддонами. К исследованию приняты плиты толщиной 4 мм.

Полученные образцы выдерживались при комнатной температуре в течение 24 ч, обрезались по формату и распиливались на образцы необходимых размеров для проведения испытаний согласно стандартным методикам: на предел прочности при статическом изгибе, водопоглощение, разбухание. Также для образцов устанавливались остаточная прочность и разбухание после вымачивания в течение 24 ч с последующей сушкой.

При определении оптимальных условий горячего прессования плитного материала на основе активированной коры использовался В-3 план. Факторы и уровни их варьирования приведены в таблице.

#### Факторы и уровни их варьирования при прессовании плит на основе древесной коры

#### The factors and levels of their variation during pressing the boards based on tree bark

Фактор	Уровень варьирования		
	нижний (-1)	основной (0)	верхний (1)
Температура прессования, °С	160	190	220
Давление прессования, МПа	3,6	4,3	5,0
Удельная продолжительность прессования, мин/мм	1,3	2,8	4,3

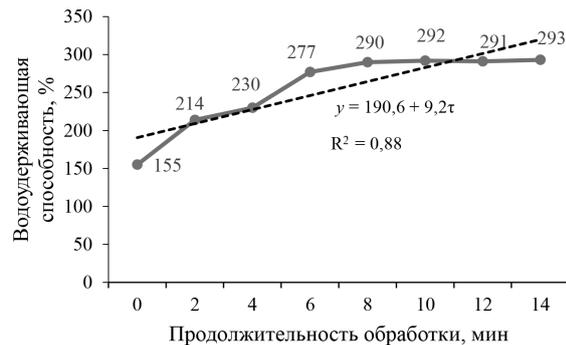
Обработка результатов эксперимента проводилась с использованием универсального многопрофильного пакета для статистической обработки данных Statgraphics 19.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты установления зависимости водоудерживающей способности от продолжительности гидродинамической обработки представлены на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость водоудерживающей способности от продолжительности обработки ( $\tau$ ) древесной коры в гидродинамическом диспергаторе

Fig. 2. The dependence of water-retaining capacity on the duration of treatment ( $\tau$ ) of tree bark in a hydrodynamic disperser

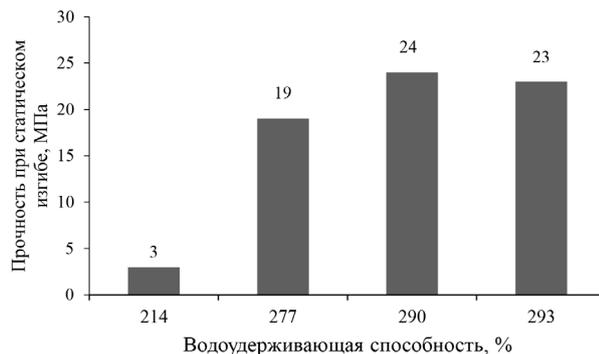


Из рис. 2 видно, что увеличение водоудерживающей способности массы до 290 % наблюдается при продолжительности обработки от 2 до 6–8 мин. После этого показатель стабилизируется и практически не возрастает, поэтому дальнейшую обработку проводить нецелесообразно. Стоит отметить, что при использовании в качестве сырья древесной коры водоудерживающая способность получаемой массы более высокая и достигается за более короткое время в сравнении с древесиной [7].

Результаты исследования влияния водоудерживающей способности на прочность плит при статическом изгибе показаны на рис. 3. Прочностные показатели плит представлены для водоудерживающей способности 214, 277, 290, 293 %, что соответствует продолжительности обработки 2, 6, 8 и 14 мин.

Рис. 3. Зависимость предела прочности плит на основе древесной коры от водоудерживающей способности

Fig. 3. The dependence of the ultimate strength of tree bark-based boards on the water-retaining capacity



Как видно из рис. 3, увеличение водоудерживающей способности приводит к росту прочности плит при статическом изгибе. По достижении показателем более 290 %, что соответствует продолжительности обработки более 8 мин, отмечается тенденция снижения прочности. Поэтому все последующие исследования проводились при показателе водоудерживающей способности обработанной массы, равном 290 %.

Изучение влияния режимных параметров процесса прессования на прочностные свойства плитных корьевых материалов проводилось с учетом представленных выше результатов.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить уравнение регрессии, выражающее зависимость прочности плит при статическом изгибе (МПа) от режима прессования:

$$\sigma_{\text{изг}} = -148,201 + 1,384T + 19,299P + 3,982\tau_{\text{уд}} - 0,0038T^2 - 2,245P^2 - 0,889\tau_{\text{уд}}^2 + 0,006TP + 0,0094T\tau_{\text{уд}} - 0,524P\tau_{\text{уд}},$$

где  $T$  – температура прессования, °С;  $P$  – давление прессования, МПа;  $\tau_{\text{уд}}$  – удельная продолжительность прессования, мин/мм.

Коэффициент детерминации представленной модели, согласно проведенным расчетам, составляет 98,66 %, что говорит о высокой степени корреляции модели с результатами эксперимента. Оценку влияния исследуемых факторов на прочность при статическом изгибе проводили по стандартизованным картам Парето, графической интерпретации уравнения регрессии и графикам эффектов факторов и эффектов их взаимодействий.

Наибольшей значимостью из всех факторов обладают удельная продолжительность и температура прессования. Все зависимости имеют экстремальный характер. Диапазон изменения прочности для каждого рассматриваемого показателя режима прессования при нахождении 2 оставшихся параметров на основном уровне варьирования значительно отличается. Как следует из графических зависимостей, представленных на рис. 4 и 5, наибольшее влияние на прочность при статическом изгибе оказывает удельная продолжительность прессования. Повышение этого показателя до 2,8 мин/мм увеличивает прочность более чем на 5 МПа. Это в первую очередь связано с особенностями формирования структуры материалов из мелкодисперсных древесных частиц. Увеличение удельной продолжительности выдержки при действии высокого давления и температуры приводит к деструкции материала в связи с чрезмерно быстрым удалением влаги, которая необходима для размягчения компонентов коры, участвующих в структурообразовании материала: лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы [20].

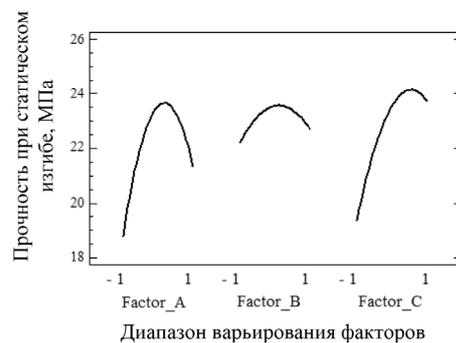


Рис. 4. График эффектов факторов для плитного материала на основе древесной коры (здесь и на рис. 5: А – температура прессования, °С; В – давление прессования, МПа; С – удельная продолжительность прессования, мин/мм)

Fig. 4. The graph of the effects of factors for the board material based on tree bark (here and in fig. 5: A – pressing temperature, °С; B – pressing pressure, МPa; C – specific pressing duration, min/mm)

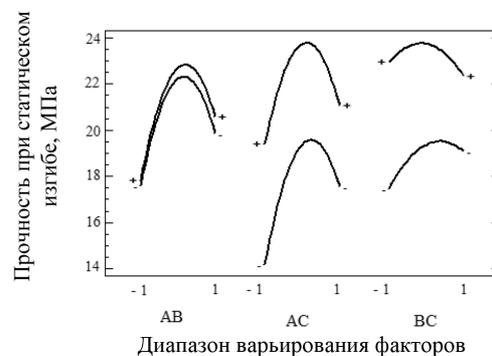
Температура прессования, оказывающая аналогичное влияние на прочность готовой плиты, в диапазоне от 160 до 190 °С приводит к увеличению прочности плиты от 19 до 23,5 МПа. Рост прочности плит в данном диапазоне можно объяснить процессом термохимической дегградации коры и образованием соединений, готовых вступать в реакцию с лигнином и экстрактивными

веществами коры [18]. Дальнейшее повышение температуры прессования обуславливает снижение прочностных показателей плит. Наименьшее воздействие на прочность, согласно графику эффектов факторов, оказывает давление прессования. Изменение давления прессования практически не влияет на прочность, увеличивая или уменьшая ее от максимальной примерно на 1 МПа.

При рассмотрении совместного влияния факторов на прочность при статическом изгибе (рис. 5) можно отметить следующее. При увеличении температуры прессования и давления прессования на верхнем и нижнем уровнях варьирования наблюдаются аналогичные зависимости изменения прочностных свойств материала: при росте температуры прессования до 190 °С прочность увеличивается до 23 МПа, при дальнейшем повышении наблюдается снижение прочности. Рост температуры прессования при минимальной удельной продолжительности выдержки оказывает значительно меньшее влияние на прочностные свойства материала в сравнении с варьированием температуры при максимальной продолжительности выдержки. Разница между максимальными показателями прочности материала при варьировании данных факторов составляет более 4,5 МПа. При этом следует отметить одинаковый характер изменения прочности при совместном влиянии факторов. При рассмотрении действия давления и удельной продолжительности прессования на прочность при статическом изгибе установлен монотонный характер изменения прочности. Учитывая невыраженность изменения выходной величины на всем диапазоне варьирования давления прессования при максимальной и минимальной удельной продолжительности выдержки, можно утверждать о минимальном влиянии давления прессования на прочностные показатели плит, которое заключается только в изменении плотности изделия в процессе горячего прессования.

Рис. 5. График эффектов взаимодействий факторов для плит на основе древесной коры

Fig. 5. The graph of the effects of factor interactions for tree bark-based boards



С использованием пакета анализа программы Statgraphics была проведена оптимизация режимных параметров изготовления корьевых плит по показателю прочности при статическом изгибе. По результатам проведенной оптимизации определен режим прессования плитного материала на основе коры, обеспечивающий наилучшие физико-механические характеристики плит: температура прессования – 191 °С; удельное давление прессования – 4,4 МПа; удельная продолжительность прессования – 2,9 мин/мм. При такой комбинации параметров прогнозируемая прочность готового продукта составляет 24,1 МПа.

По данному режиму была изготовлена партия образцов, по которым изучены их свойства: плотность – 980 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при статическом

изгибе – 24 МПа; разбухание – 5 %; водопоглощение – 9 %. Данные плиты по механическим свойствам сопоставимы с широко распространенными плитами: MDF, древесноволокнистыми, древесно-стружечными, – поэтому могут иметь аналогичные сферы применения. Кроме того, плиты на основе коры обладают повышенной водостойкостью. Они имеют значительно меньшее разбухание, чем приведенные аналоги. При этом после вымачивания в течение 24 ч в воде с последующим высушиванием такие плиты сохраняют порядка 75 % от первоначальной прочности, размеры возвращаются к исходным. Это свидетельствует о том, что данные плиты могут эксплуатироваться в жестких температурно-влажностных условиях.

Полученные плиты (рис. 6) применимы в качестве листового отделочного материала, в т. ч. в помещениях с повышенной влажностью: ванные комнаты, бани, кухни; в домостроении – в качестве наружной отделки, подложки для напольных покрытий и кровельных материалов.



Рис. 6. Внешний вид изготовленных образцов плит

Fig. 6. The appearance of the manufactured board samples

#### Выводы

1. Проведенное исследование выявило принципиальную возможность получения из отходов окорки без применения связующих веществ плит с высокими физико-механическими свойствами.

2. Для достижения наибольших прочностных показателей необходимо проводить гидродинамическую обработку до достижения показателя водоудерживающей способности 290 %.

3. Разработан оптимальный режим прессования плитных материалов, обеспечивающий наилучшие прочностные характеристики: температура – 190 °С; удельная продолжительность процесса – 2,8 мин/мм; давление прессования – 4,4 МПа.

4. Полученные плиты имеют следующие показатели: плотность – 980 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при изгибе – 24 МПа; водопоглощение – 9 %; разбухание – 5 %.

5. Изготовленные плитные материалы обладают повышенной водостойкостью. После вымачивания в течение 24 ч и последующего высушивания до влажности 5 % плиты сохраняют порядка 75 % прочности от первоначальной. При этом после высушивания образцы приобретают исходные размеры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Елисеев С.Г. Влияние механоактивации на аутогезионные свойства древесины // Хвойные бореал. 2013. Т. XXXI, № 1–2. С. 159–163.

Bayandin M.A., Ermolin V.N., Eliseev S.G. The Effect of Mechanical Activation on the Autohesive Properties of Wood. *Khvoynye boreal'noi zony = Conifers of the Boreal Area*, 2013, vol. XXXI, no. 1–2, pp. 159–163. (In Russ.).

2. Вахнина Т.Н. Использование отходов окорки для производства древесно-стружечных плит // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: IV Междунар. науч. экол. конф. (с участием экологов Азербайджана, Армении, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, Киргизии, Латвии, Ливана, Молдовы, Приднестровья, России, Словакии, Узбекистана и Украины). Краснодар: КубГАУ им. И.Т. Трубилина, 2015. Ч. I. С. 355–358.

Vakhnina T.N. Use of Wastes of Debarking for Production of Wood Chipboards. *Problems of Reclamation of Household, Industrial and Agricultural Waste: IV International Scientific Ecological Conference (with the Participation of the Ecologists from Azerbaijan, Armenia, Belarus, Germany, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lebanon, Moldova, Transnistria, Russia, Slovakia, Uzbekistan and Ukraine)*. Krasnodar: KubSAU named after I.T. Trubilin, 2015, part 1, pp. 355–358. (In Russ.).

3. Девятловская А.Н., Журавлёва Л.Н., Девятловский Н.В. Утилизация древесной коры деревообрабатывающих предприятий // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2010. № 27. С. 51–54.

Devyatlovskaya A.N., Zhuravleva L.N., Devyatlovsky N.V. Utilization of Tree Bark from Wood Processing Enterprises. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2010, no. 27, pp. 51–54. (In Russ.).

4. Дулькин Д.А. Развитие научных основ и совершенствование процессов технологии бумаги и картона из макулатуры: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2008. 44 с.

Dul'kin D.A. *Development of Scientific Foundations and Improvement of the Processes of Paper and Cardboard Technology from Waste Paper*: Doc. Tech. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2008. 44 p. (In Russ.).

5. Евстигнеев Э.И. Химия древесины. СПб.: Политехн. ун-т, 2007. 147 с.  
Evstigneev E.I. *Chemistry of Wood*. Saint-Petersburg, Polytechnic University Publ., 2007. 147 p. (In Russ.).

6. Еремин В.М. Сравнительная анатомия коры сосновых: дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж, 1983. 547 с.

Eremin V.M. *Comparative Anatomy of Pine Bark*: Doc. Tech. Sci. Diss. Voronezh, 1983. 547 p. (In Russ.).

7. Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Казыцин С.Н., Намятов А.В. Формирование структуры плит малой плотности из гидродинамически активированных мягких отходов деревообработки // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 5. С. 148–157.

Ermolin V.N., Bayandin M.A., Kazitsin S.N., Namyatov A.V. Structure Formation of Low-Density Boards from Hydrodynamically Activated Soft Wood Waste. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2019, no. 5, pp. 148–157. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.5.148>

8. Лазарева Л.И., Чистова Н.Г., Медведев С.О. Использование коры при получении древесно-волокнистых плит // Химия растит. сырья. 2013. № 1. С. 235–238.

Lazareva L.I., Chistova N.G., Medvedev S.O. The Use of Bark in Obtaining Wood-Fiber Plates. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 2013, no. 1, pp. 235–238. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.14258/jcprm.1301235>

9. Лотова Л.И. Анатомия коры хвойных. М.: Наука, 1987. 160 с.

Lotova L.I. *Anatomy of the Bark of Conifers*. Moscow, Nauka Publ., 1987. 160 p. (In Russ.).

10. Мусько Н.П., Беушева О.С., Саушкина С.С. Плитные материалы на основе модифицированной коры сосны // Ползунов. вестн. 2015. № 2. С. 136–138.

Mus'ko N.P., Beusheva O.S., Saushkina S.S. Slab Materials Based on Modified Pine Bark. *Polzunovskij vestnik*, 2015, no. 2, pp. 136–138. (In Russ.).

11. Судакова И.Г., Гарынцева Н.В., Кузнецов Б.Н. Получение древесных плитных материалов с использованием связующих на основе суберина березовой коры // Химия растит. сырья. 2011. № 3. С. 65–68.

Sudakova I.G., Garyntseva N.V., Kuznetsov B.N. Production of Wood-Based Panel Materials Using Binders Based on Birch Bark Suberin. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 2011, no. 3, pp. 65–68. (In Russ.).

12. Федосенко И.Г. Оценка возможности использования коры деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, для производства гранул // Тр. БГТУ. Сер. 1: Лесн. хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2021. № 2(246). С. 284–289.

Fedosenko I.G. Evaluation of the Possibility of Using the Bark of Trees Growing in the Republic of Belarus for the Granulation. *Trudy BGTU = Proceedings of BSTU*, 2021, no. 2(246), pp. 284–289. (In Russ.). <https://doi.org/10.52065/2519-402X-2021-246-36-284-289>

13. Цывин М.М. Использование древесной коры. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 94 с. Tsyvin M.M. *The Use of Tree Bark*. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1973. 94 p. (In Russ.).

14. Черкасова А.И., Жученко А.Г., Хлюпина Л.П. Получение плит из коры со связующим // Технология древесных плит и пластиков: межвуз. сб. Вып. VII. Свердловск: УПИ, 1980. С. 76–82.

Cherkasova A.I., Zhuchenko A.G., Khlyupina D.P. Obtaining Slabs from Bark with a Binder. *Tekhnologii drevesnykh plit i plastikov*: Interuniversity Collection. Sverdlovsk, UPI Publ., 1980, iss. VII, pp. 76–82. (In Russ.).

15. Arzola-Alvarez A., Castillo-Castillo Y., Anderson R.C., Hume M., Ruiz-Barrera O., Min B.R., Arzola-Rubio A., Beier R.C., Salinas-Chavira J. Influence of Pine Bark Tannin on Bacterial Pathogens Growth and Nitrogen Compounds on Changes in Composted Poultry Litter. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 1–10. <https://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0911>

16. Berendt F., Pegel E., Blasko L., Cremer T. Bark Proportion of Scots Pine Industrial Wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2021, vol. 79, pp. 749–752. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01657-7>

17. Fedorov V.S., Ryazanova T.V. Optimization of the Extraction Process of *Pinus sylvestris* L. Pine Bark with Monoethanolamine. *VIII International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023)*, 2023, vol. 390, art. no. 05038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339005038>

18. Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. The Effect of Bark Content on Quality Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Pellets. *Biomass and Bioenergy*, 2011, vol. 35, iss. 8, pp. 3342–3349. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.09.011>

19. Gößwald J., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Tudor E.M. Binderless Thermal Insulation Panels Made of Spruce Back Fibres. *Polymers*, 2021, vol. 13, no. 11, art. no. 1799. <https://doi.org/10.3390/polym13111799>

20. Goring D.A.I. Thermal Softening, Adhesive Properties and Glass Transitions in Lignin, Hemicellulose and Cellulose. *Consolidation of the Paper Web*, 1965, pp. 555–568. <https://doi.org/10.15376/frc.1965.1.555>

21. Jayme G. *Zellstoff und Papier*, 1961, vol. 11, pp. 432–438. (In Germ.).

22. Kamperidou V., Lykidis C., Barmpoutis P. Utilization of Wood and Bark of Fast-Growing Hardwood Species in Energy Production. *Journal of Forest Science*, 2018, vol. 64(4), pp. 164–170. <https://doi.org/10.17221/141/2017-JFS>

23. Lehtikangas P. Quality Properties of Pelletised Sawdust, Logging Residues and Bark. *Biomass and Bioenergy*, 2001, vol. 20, iss. 5, pp. 351–360. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00092-1)
24. Margina Yu., Troegubov A., Kulikova Yu., Sliusar N. Composting Old Bark and Wood Waste in Cold Weather Conditions. *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 14, art. no. 10768. <https://doi.org/10.3390/su151410768>
25. Millers M., Magaznieks J. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stem Wood and Bark Moisture and Density Influencing Factors. *Research for Rural Development*, 2012, pp. 91–97.
26. Nisca A., Ștefănescu R., Stegăruș D.I., Mare A.D., Farczadi L., Tanase C. Comparative Study Regarding the Chemical Composition and Biological Activity of Pine (*Pinus nigra* and *P. sylvestris*) Bark Extracts. *Antioxidants*, 2021, vol. 10, no. 2, art. no. 327. <https://doi.org/10.3390/antiox10020327>
27. Scalbert A. Antimicrobial Properties of Tannins. *Phytochemistry*, 1991, vol. 30, iss. 12, pp. 3875–3883. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83426-L](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83426-L)
28. Svoykin F., Birman A., Bacherikov I., Meter O., Bozhbov V. Perspectives of Bark Dump Recycling at Wood Processing Enterprises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 817, art. no. 012033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/817/1/012033>
29. Terzopoulou P., Kamperidou V., Lykidis C. Cypress Wood and Bark Residues Chemical Characterization and Utilization as Fuel Pellets Feedstock. *Forests*, 2022, vol. 13, no. 8, art. no. 1303. <https://doi.org/10.3390/f13081303>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest