

УДК 674.817-41

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ ОТ УСЛОВИЙ ПОДГОТОВКИ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

© *В.Н. Матыгулина^{1*}, Н.Г. Чистова^{1,2}, А.Ю. Вититнев¹*

¹ *Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, 82, Красноярск, 660049 (Россия), e-mail: caress-lsib@rambler.ru*

² *Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, ул. Новая заря, 2г, Красноярск, 660028 (Россия)*

Несмотря на сниженный спрос на древесноволокнистые плиты, исследования, связанные с их изготовлением, являются актуальными, так как производство древесноплитных материалов в значительной мере способствует решению проблемы комплексного использования древесного сырья.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований, отражающих зависимость прочностных показателей древесноволокнистых плит сухого и мокрого способа производства от конструктивных и технологических параметров размольных установок различной модификации. Эксперименты были реализованы на лабораторных установках и в производственных условиях на действующем промышленном оборудовании. По результатам обработки многофакторных экспериментов, реализованных по В-плану второго порядка, было получено математическое описание зависимости предела прочности при статическом изгибе твердых древесноволокнистых плит сухого и мокрого способа производства от зазора между размалывающими дисками, износа сегментов и концентрации древесноволокнистой массы. Полученные регрессионные модели адекватны процессу и могут быть применены на практике для прогнозирования прочностных характеристик древесноволокнистых плит в зависимости от параметров процесса размола.

В результате анализа расчетных и графических зависимостей, полученных на основании исследований в производственных условиях на действующем оборудовании, можно определить, какие параметры на размольном оборудовании необходимо установить, чтобы получить необходимые физико-механические показатели древесноволокнистой плиты.

Ключевые слова: древесноволокнистые плиты, размол, древесное волокно, сухой и мокрый способ производства, предел прочности при статическом изгибе.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья» проекта «Технология и оборудование химической переработки биомассы растительного сырья» (Номер темы FEFE-2020-0016).

Введение

В мировом производстве твердых древесноволокнистых плит (ДВП) наблюдается отрицательная динамика. Так, в 2018 г. выпуск древесноволокнистых плит составил 17.1 млн м³, тогда как в 2013 г. производство составляло 23.7 млн м³ (-28%), относительно показателя 2017 г. объем производства ДВП снизился на 6%. Такие показатели являются отражением состояния мировой экономики, снижением спроса на продукцию, сокращение производственных мощностей [1, 2].

Матыгулина Венера Нурулловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: caress-lsib@rambler.ru

Чистова Наталья Геральдовна – доктор технических наук, профессор, e-mail: chistova_n_g@mail.ru

Вититнев Александр Юрьевич – кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: sanekvititnev@yandex.ru

Начавшийся мировой финансовый кризис также сказался на темпах роста отечественного производства древесных плит. Тем не менее одним из благоприятных факторов является основная ориентация продукции древесноплитных заводов на внутренний рынок. Согласно данным РОССТАТа,

* Автор, с которым следует вести переписку.

российский рынок плитной продукции на протяжении 2014–2016 гг. переживал период затяжного спада, ежегодно снижаясь на 1–2%. Однако в 2017 г. произошло восстановление рынка и обозначилась тенденция роста. Объемы выпуска ДВП в целом по России за 2018 г. превысили 649 млн усл. м². За 2018 г. производство плит ДВП увеличилось на 11,9%, годом ранее рост выпуска плит ДВП составил около 4.5% [3, 4].

В основном производство древесноволокнистых плит всех видов базируется на сухом и мокром способах изготовления. Несмотря на то, что мокрый способ производства наиболее освоен промышленностью, ему присущ ряд недостатков: большое количество водопотребления, ограниченность использования древесины лиственных пород, сравнительно небольшая номенклатура выпускаемых изделий [5, 6]. Именно поэтому сухой способ в настоящее время получил широкое распространение.

Производство древесноволокнистых плит – сложный технологический процесс. На качество древесного волокна, а также готовых плит существенное влияние оказывают различные переменные факторы (породный состав и качество технологической щепы, вид и количество применяемого связующего, параметры прессования, и многое другое). Многочисленные исследования показывают, что физико-механические свойства древесноволокнистых плит различной плотности зависят от степени помола древесноволокнистой массы. Технологические, конструктивные и энергосиловые параметры размола влияют на длину волокон, их гибкость, пластичность, ориентацию в плите, развитие межволоконных связей и другие характеристики, оказывающие существенное влияние на качественные показатели ДВП в целом [7–12].

Цель настоящего исследования – исследование прочностных характеристик ДВП мокрого и сухого способов производства при регулировании основных конструктивных и технологических параметров размалывающих установок.

Экспериментальная часть

В настоящей работе исследовалось влияние основных технологических и конструктивных параметров размольных установок различной модификации на прочностные характеристики древесноволокнистых плит сухого и мокрого способов изготовления. Эксперименты были реализованы на лабораторных установках и в производственных условиях на действующем промышленном оборудовании предприятий Ангаро-Енисейского региона: ЗАО «Новоенисейский ЛХК» и АО «Лесосибирский ЛДК №1».

В качестве исходного сырья для экспериментов использовалось древесное волокно, получаемое из технологической щепы, выработанной из древесных отходов смешанного хвойного породного состава, соответствующей ГОСТ 15815-83 «Щепа технологическая. Технические условия». При изготовлении плит сухим способом дополнительно использовались следующие основные материалы: смола карбамидоформальдегидная марки КФ-МТ-15, отвечающая требованиям ТУ 6-06-12-88 «Смола карбамидоформальдегидная, марка КФ-МТ-15. Технические условия»; аммоний хлористый технический ГОСТ 2210-73Е «Аммоний хлористый. Технические условия»; карбамид марки А в соответствии с ГОСТ 2081-92 «Карбамид. Технические условия»; а также парафины нефтяные ГОСТ 23683-89 «Парафины нефтяные твердые. Технические условия».

Процессы подготовки древесноволокнистого полуфабриката в производстве ДВП мокрым и сухим способом идентичны [6]. Приготовление основной древесноволокнистой массы при мокром способе производства ДВП осуществляется в две ступени: в дефибраторе RT-50 – первая ступень размола, затем масса, имеющая степень помола 11–14 ДС подается на вторую ступень размола в рафинатор RR-50, разрабатывается там до необходимой степени помола (18–20 ДС), а в производстве ДВП сухим способом размол щепы происходит в одну ступень в рафинере PR-42, степень помола составляет (200–260 ПВ).

Одной из главных характеристик, по которой оценивается качество и определяется разновидность готовых плит, является ее прочность [7–10, 13]. Данный показатель характеризует способность твердых тел противостоять разрушению и сохранять целостность под действием внешних сил. В зависимости от вида деформации при испытании определяют разрушающие напряжения при растяжении перпендикулярно пласти и при статическом изгибе. При испытании твердых древесноволокнистых плит сухого и мокрого способа производства исследовались разрушающие напряжения при статическом изгибе.

Прочностные показатели готовых образцов древесноволокнистых плит различной плотности определяли стандартными методами, разработанными для контроля качества продукции и проведения производственного процесса. Предел прочности при статическом изгибе определяли по ГОСТ 10633-2018 «Плиты древесно-стружечные и древесноволокнистые. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний» [14]. Классификацию образцов плит по физико-механическим свойствам выполняли, руководствуясь требованиями стандарта ГОСТ 4598-2018 [15] и ГОСТ 34026- Плиты древесноволокнистые. Определение, классификация и условные обозначения приведены в [16].

Для решения поставленных задач и с целью оценки влияния технологических характеристик размалывающих машин на прочностные характеристики древесных плит, спланированы и реализованы многофакторные исследования по В-плану второго порядка. Реализация описанной схемы регрессионного и математического анализа и оценка степени влияния каждого входного технологического фактора на выходные величины осуществлена с применением программы Microsoft Excel 2007 и пакета программ STATISTICA – 6 [17, 18].

Входные и выходные параметры эксперимента, а также уровни и шаги варьирования исследуемых факторов – представлены в таблице, диапазоны варьирования соответствовали реальным производственным условиям.

Оценка значимости коэффициентов математических моделей проводилась в соответствии с методикой [18, 19], с помощью t-критерия Стьюдента. Проверка моделей с помощью F-критерия Фишера показала их адекватность. Полученные математические модели с натуральными обозначениями факторов адекватны при доверительной вероятности 95–99%, величина достоверности аппроксимации составила $0.9901 \leq R^2 \leq 0.9986$.

Результаты и обсуждение экспериментальных исследований

По результатам обработки многофакторных экспериментов, реализованных по вышеназванному плану, было получено математическое описание зависимости прочностных характеристик твердых древесноволокнистых плит сухого и мокрого способа производства от технологических и конструктивных параметров размалывающих машин. Регрессионные зависимости, описывающие влияния технологических и конструктивных параметров процесса размола на прочность древесноволокнистых плит при статическом изгибе, будут иметь вид:

$$Pr_d = 1.5 + 0.3 \cdot L/h + 48.4 \cdot z + 0.9 \cdot n - 0.04 \cdot L/h^2 - 20 \cdot z^2 - 0.02 \cdot n^2 - 3.5 \cdot L/h \cdot z + 0.02 \cdot L/h \cdot n + 0.2 \cdot z \cdot n; \quad (1)$$

$$Pr_p = -72.7 - 3.4 \cdot L/h + 67.6 \cdot z + 87.8 \cdot c - 42.5 \cdot z^2 - 14.2 \cdot c^2 + 1.2 \cdot L/h \cdot z - 0.06 \cdot L/h \cdot c - 22.5 \cdot z \cdot c; \quad (2)$$

$$Pr_{\text{рафинер}} = 26.9 + 20.2 \cdot L/h + 18.9 \cdot z - 0.5 \cdot n - 2.98 \cdot L/h^2 + 31.7 \cdot z^2 + 0.005 \cdot n^2 - 7.3 \cdot L/h \cdot z - 0.14 \cdot L/h \cdot n + 0.9 \cdot z \cdot n. \quad (3)$$

Проверка данных уравнений по критерию Фишера показала, что они адекватны процессу и могут быть применены на практике для прогнозирования прочностных характеристик древесноволокнистых плит.

Анализируя полученные уравнения, можно отметить, что на показатель предела прочности плит при статическом изгибе наибольшее влияние оказывают переменные факторы – величина рабочего зазора и концентрация древесноволокнистой массы, а также совместные (парные) взаимодействия этих факторов с другими параметрами. Несколько меньшее влияние оказывает степень износа поверхности сегментов и частота вращения внутреннего шнека. Повышение концентрации массы, износа поверхности сегментов, уменьшение зазора увеличивает прочность плит, причем величина рабочего зазора является фактором почти в два раза более значимым и эффективным. Благоприятными для прочности плит являются следующие взаимодействия: увеличение концентрации с уменьшением износа поверхности сегментов, уменьшение износа поверхности сегментов с увеличением рабочего зазора, уменьшение частоты вращения внутреннего шнека с увеличением концентрации массы.

Также была получена графическая интерпретация функций откликов, построенных по полученным уравнениям. В настоящей работе в качестве примера представлены графические зависимости прочностных характеристик плит от параметров размола технологической щепы на дефибраторе и рафинаторе для мокрого способа производства ДВП. В производстве ДВП мокрым способом значения прочностных показателей и их зависимости от параметров размалывающих машин несколько иные в количественных значениях, а в качественных – идентичны сухому способу производства ДВП, о чем свидетельствуют коэффициенты в уравнении. То есть при размоле щепы на дефибраторе и рафинере графики будут иметь тот же рисунок, и лишь их количественные значения будут отличны.

Из графиков, изображенных на рисунке 1а, следует, что при среднем значении частоты вращения шнека прочность плит возрастает при увеличении зазора между дисками и при повышении степени износа до значения $L/h=2.0$ (40% износ), а затем с увеличением износа снижается. Так, при износе сегментов на 10%, что соответствует соотношению геометрических характеристик ножа $L/h=1.17$, прочность снижается при возрастании величины зазора (z) и плавно возрастает при увеличении оборотов нижнего шнека (n); на уровне $n=14.5 \text{ мин}^{-1}$ для мокрого способа производства плит и $n=38 \text{ мин}^{-1}$ – для сухого способа значения на кривой прочности, достигнув своего максимального значения, уменьшаются.

Входные и выходные параметры эксперимента, уровни и интервалы варьирования исследуемых факторов для мокрого и сухого способа производства ДВП по В-плану второго порядка

Параметр	Обозначение		Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	натуральное	нормализованное		-1	0	+1
Входные параметры эксперимента (управляемые факторы) для дефибратора, рафинатора/рафинера						
Износ сегментов, мм/мм	L/h	X ₁	0.34/1.07	1.17/1.15	1.51/2.22	1.85/3.29
Зазор между размалывающими дисками, мм	Z	X ₂	0.05/0.15	0.05/0.25	0.1/0.40	0.15/0.55
Частота вращения выносного шнека, мин ⁻¹	n	X ₃	1.7/10	12/20	13.7/30	15.4/40
Концентрация древесноволокнистой массы, %	c	X ₄	0.5/-	2.5/-	3/-	3.5/-
Выходные параметры эксперимента (контролируемые факторы)						
Предел прочности твердой ДВП при статическом изгибе, МПа	Pr	Y ₁	-	-	-	-

Для мокрого способа производства при зазоре $z=0.05$ мм и $n=12.0$ мин⁻¹ прочность составит 40 МПа; при том же самом зазоре $z = 0.05$ мм, но уже при $n=15.5$ мин⁻¹, показатели прочности увеличиваются до 42 МПа. При увеличении зазора до 0.15 мм, при $n=12.0$ мин⁻¹ прибором фиксировалось наименьшее показание прочности $Pr=36.8$ МПа; при увеличении оборотов шнека до 15.5 мин⁻¹, при том же самом зазоре $z = 0.15$ мм, наблюдался незначительный рост прочности до 38.6 МПа.

Из графиков следует, что при увеличении оборотов вращения нижнего шнека прочность плиты увеличивается и уменьшается с увеличением степени износа гарнитуры (свыше 60–70%). Причем влияние L/h, при данном парном взаимодействии факторов, на прочность наиболее значительно, так как линия зависимости $Pr = f(L/h)$ находится выше, чем $Pr = f(n)$ [5, 6].

Рассмотрим графические зависимости прочности плиты от параметров рафинатора при размоле волокна с фиксированием износа сегментов (L/h) на максимальном уровне (90%), рисунок 26. Влияние величины износа сегментов при изменении концентрации массы на прочность плиты имеет при данных условиях четко выраженный линейный характер. Например, при $c = 3.0\%$, $z = 0.04$ мм прочность плиты равна $Pr = 42.3$ МПа, а при $z = 0.08$ мм и $c = 3.0\%$ – $Pr = 41.2$ МПа. Влияние же концентрации на прочность плиты более сложное, до значения концентрации массы $c = 3.0\%$ значения прочности увеличиваются – при $c = 2.4\%$ и $z = 0.10$ мм значение прочности составит $Pr = 36.7$ МПа, при $c = 2.6\%$ и $z = 0.10$ мм значение прочности будет равно $Pr = 39.6$ МПа – затем, с дальнейшим увеличением концентрации массы, величина прочности плиты будет снижаться – при $c = 3.2\%$ и $z = 0.10$ мм, $Pr = 40.5$ МПа, а при $c = 3.4\%$ и $z = 0.10$ мм, $Pr = 37.64$ МПа.

Парное влияние можно проследить по следующим значениям прочности плиты: $c=3\%$, $z=0.1$ мм, $Pr=41.7$ МПа; $c=2.6\%$, $z=0.14$ мм, $Pr=38.7$ МПа; $c=3.2\%$, $z=0.04$ мм, $Pr= 39.1$ МПа.

Анализ графиков показывает, что полученные плиты имеют довольно высокую прочность при статическом изгибе и что заданную прочность плиты можно получить практически во всем выбранном диапазоне изменения исследуемых факторов. Восходящая ветвь кривой параболы отражает нарастание прочности плит вследствие развития межволоконного взаимодействия. Оно сопровождается превращениями компонентов, снижающими собственную прочность древесных волокон. Нисходящая ветвь отражает состояние, когда снижение прочности древесных волокон начинает ограничивать рост прочности плит.

Из графика, изображенного на рисунке 1в, следует, как зависит значение прочности плиты, изготовленной сухим способом, при статическом изгибе одновременно от зазора между ротором и статором и износом поверхности размалывающих сегментов при частоте вращения выносного шнека равной 30 мин⁻¹. При среднем значении частоты вращения шнека прочность возрастает при увеличении зазора между дисками и при повышении степени износа до значения $L/h=2.0$ (40% износ), а затем с увеличением износа начинает снижаться. Полученные плиты имеют довольно высокую прочность при статическом изгибе, и что заданную прочность плиты можно получить практически во всем диапазоне изменения исследуемых факторов. Имеется лишь ограничение при получении плиты марки ТСН-40. Прочность при статическом изгибе менее 40 МПа будут иметь твердые древесноволокнистые плиты, полученные при установлении следующих параметров процесса размола: при износе сегментов от 1.0 до 1.4 и от 2.8 до 3.4; $n>38$ мин⁻¹ и $z=0.25–0.5$ мм. В остальных случаях прочность при статическом изгибе плиты будет превышать 40 МПа.

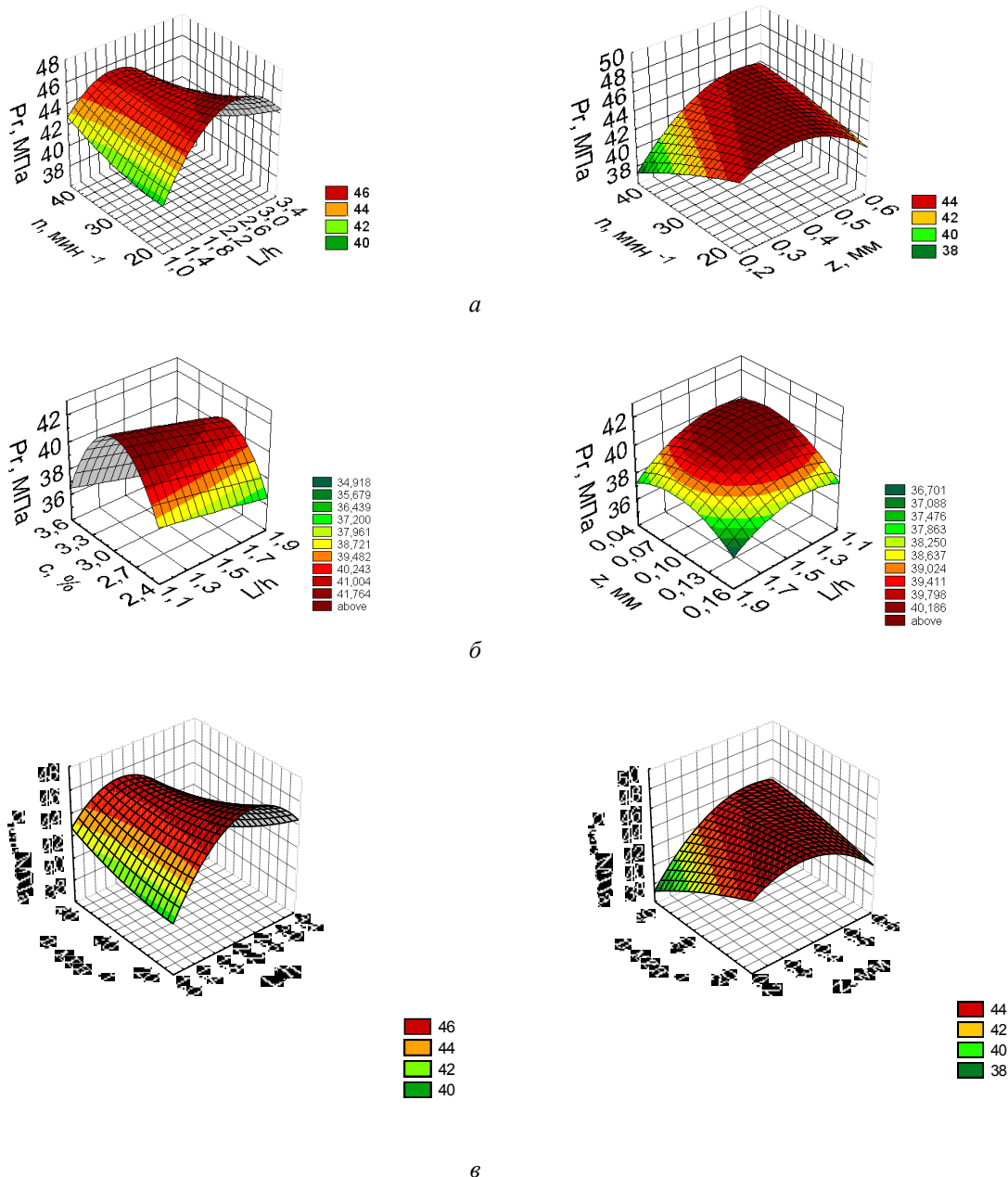


Рис. 1. Зависимость предела прочности на изгиб от исследуемых параметров: а – дефибратор, б – рафинатор, в – рафинер

Исследование прочностных характеристик готовых плит показало, что на изменение сопротивления плиты статическому изгибу существенное влияние оказывает гибкость волокон, их строение, толщина, влажность и фибриллирование, получаемые в результате установления оптимальных технологических и конструктивных параметров размалывающих машин.

Несмотря на дальнейшее развитие межволоконного взаимодействия с увеличением продолжительности воздействия на плиту, прочность материала закономерно снижается. Следовательно, чтобы повысить прочностные характеристики плит, необходимо создать условия развития межволоконного взаимодействия при сохранении прочности самих древесных волокон. Например, обеспечить достаточную поверхность контакта регулированием вязкоупругих свойств при пропарке щепы или меняя режимы размола.

Из представленных кривых зависимостей следует, что прочность плиты обуславливается, прежде всего, развитием сил связи, изменением длины волокна, их гибкости, пластичности, прочности и ориентации волокна в плите, оптимальные значения которых неизбежно получаются лишь при размоле щепы и волокна, а также от сил связи между волокнами, которые обеспечивают, прежде всего, показатели размола. Они, в свою очередь, зависят от технологических, конструктивных и энергосиловых параметров размола.

На рисунке 2 представлены фотографии срезов древесноволокнистых плит, изготовленных мокрым и сухим способами, при увеличении 1500 крат.

На фотографиях (рис. 2) хорошо видно поверхностное и внутреннее фибриллирование волокон, связеобразование, блоки срастания. В начальной стадии при указанных выше значениях режимных параметров размолла силы связи растут быстрее, чем уменьшается длина волокна, и поэтому прочностные свойства плит улучшаются (восходящая ветвь параболы). В дальнейшем средняя длина волокна уменьшается, фракционный показатель увеличивается быстрее, чем растут силы связи, и показатели качества ухудшаются (нисходящая ветвь параболы). При этом само волокно под действием различных нагрузок динамично разрушается и расщепляется, т.е. снижается его прочность. Таким образом, степень помола, при которой получены максимальные значения прочностных характеристик, зависит от вида волокна, технологических и конструктивных режимов его размолла [20]. Размол увеличивает контактную поверхность волокон при формировании и таким образом обуславливает повышение прочности плит. Установлено, что при испытании плиты на статический изгиб с увеличением степени помола древесной массы возрастает количество разорванных волокон в плите, изготовленной из этой массы. Дело в том, что в результате процесса размолла древесных волокон силы связи между ними в готовой плите увеличиваются, а прочность самих волокон снижается.

Повышение толщины древесных волокон также отрицательно сказывается на прочности плит, так как тонкие волокна характеризуются большей удельной поверхностью по пласти. С ростом длины частиц до определенной величины увеличивается прочность плит при статическом изгибе. В то же время чем мельче древесные волокна, тем больше требуется содержание смолы по отношению к их массе, это опять же обусловлено тем, что впитывающая способность через торцовую поверхность на два порядка выше, чем через тангенциальную. Вследствие этого на торцах древесных волокон карбамидоформальдегидная смола концентрируется в большей степени, чем на остальной поверхности. Поэтому увеличивать степень помола выше определенного предела также нерационально.

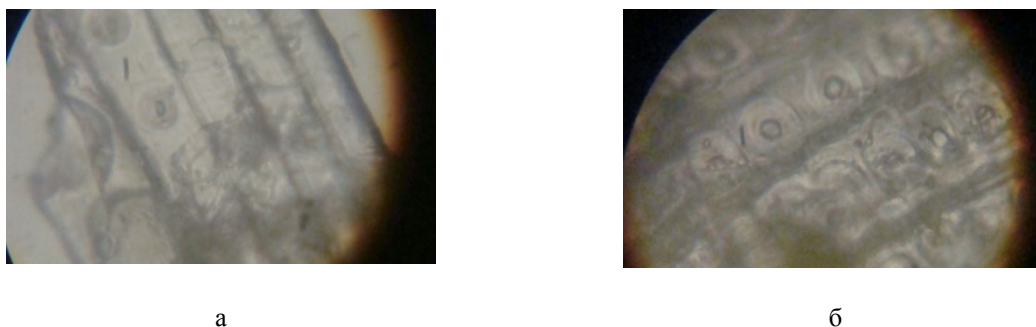


Рис. 2. Срез древесноволокнистых плит мокрого (а) и сухого (б) способов изготовления (увеличение 1500 крат)

Выводы

В настоящей работе определены аналитические зависимости прочностных характеристик древесноволокнистых плит, полученных мокрым и сухим способами производства, от параметров размалывающих машин различной модификации.

Полученные в работе уравнения, описывающие исследуемые процессы подготовки древесноволокнистых материалов, адекватны, по ним построены функции откликов в виде графических зависимостей, для которых выполняется основное требование: экспериментальные точки в совокупности лежат достаточно близко к кривой, являющейся графиком искомой зависимости.

Таким образом, анализируя расчетные и графические зависимости, полученные на основании исследований в производственных условиях на действующем оборудовании, можно определить, какие параметры на размольном оборудовании необходимо установить, чтобы получить необходимые прочностные характеристики древесноволокнистой плиты.

Выражаем благодарность Красноярскому региональному центру коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН за поддержку в проведении исследований.

Список литературы

1. Древесные плиты и фанера сегодня: цифры, факты, проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс]. URL: <https://proderevo.net/industries/wooden-plates/drevesnye-plity-i-fanera-segodnya-tsifry-fakty-problemy-i-perspektivy-razvitiya.html>
2. Zhang D., Zhang A., Xue L. A review of preparation of binderless fiberboards and its self-bonding mechanism // Wood Sci Technol. 2015. Vol. 49. Pp. 661–679. DOI: 10.1007/s00226-015-0728-6.
3. Анализ российского рынка древесноволокнистых плит (ДВП включая MDF/HDF) 2013–2018 гг. Прогноз до 2030 года. Консалтинговая компания «EVENTUS Consulting». М., 2019. 75 с.
4. Никольская В. Российский рынок древесноволокнистых плит // Леспромформ. 2016. №6 (120). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4468>
5. Матыгулина В.Н. Подготовка древесноволокнистых полуфабрикатов в производстве древесноволокнистых плит сухим способом: дисс. канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 183 с.
6. Чистова Н. Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит: дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 2010. 415 с.
7. Schubert M., Luković M., Christen H. Prediction of mechanical properties of wood fiber insulation boards as a function of machine and process parameters by random forest // Wood Sci Technol. 2020. Vol. 54. Pp. 703–713. DOI: 10.1007/s00226-020-01184-3.
8. Ribeiro M., Menezzi C. Effect of the temperature and pressure on properties of densified medium density fiberboards // Wood Research. 2019. Vol. 17 (4). Pp. 613–624.
9. Subekti N., Widiyaningrum P., Yoshimura T., Fibriana F. The strength and termite resistance characteristics of fiberboards produced from the renewable bamboo biomass // Wood Research. 2018. Vol. 63 (3). Pp. 409–418.
10. Camlibel O., Akgul M. Mechanical and physical properties of medium density fibreboard with calcite additive // Wood Research. 2020. Vol. 65 (2). Pp. 231–244.
11. Benthien J., Heldner S., Ohlmeyer M. Investigation of the interrelations between defibration conditions, fiber size and medium-density fiberboard (MDF) properties // European Journal of Wood and Wood Products. 2017. Pp. 215–232.
12. Ozyhar T., Depnering T., Ridgway C., Welker M., Schoelkopf J., Mayer I., Thoemen H. Utilization of inorganic mineral filler material as partial replacement for wood fiber in medium density fiberboard (MDF) and its effect on material properties // European Journal of Wood and Wood Products. 2020. Vol. 78. Pp. 75–84.
13. Benthien J., Bähnisch C., Heldner S., Ohlmeyer M. Effect of fiber size distribution on medium-density fiberboard properties caused by varied steaming time and temperature of defibration process // Wood and Fiber Science. 2014. Vol. 46(2). Pp. 175–185.
14. ГОСТ 10633-2018. Плиты древесно-стружечные и древесно-волоконные. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний. М., 2018. 14 с.
15. ГОСТ 4598-2018. Плиты древесноволокнистые мокрого способа производства. Технические условия. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2018. 15 с.
16. ГОСТ 34026-2016. Плиты древесноволокнистые. Определение, классификация и условные обозначения. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2017. 16 с.
17. Riegler M., Spangl B., Weigl M., Wimmer R., Muller U. Simulation of a real-time process adaptation in the manufacture of high-density fibreboards using multivariate regression analysis and feedforward control // Wood Sci Technol. 2013. Vol. 47. Pp. 1243–1259.
18. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М., 1998. 605 с.
19. Пижурин А.А. Основы научных исследований. М., 2005. 305 с.
20. Ласкеев П.Х. Производство древесной массы. М., 1967. 581 с.

Поступила в редакцию 5 июля 2020 г.

Принята к публикации 13 ноября 2020 г.

Для цитирования: Матыгулина В.Н., Чистова Н.Г., Вититнев А.Ю. Зависимость прочности древесноволокнистых плит от условий подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 467–474. DOI: 10.14258/jcprm.2020048190.

Matyugulina V.N.^{1*}, Chistova N.G.^{1,2}, Vititnev A.Yu.² DEPENDENCE OF STRENGTH OF FIBERBOARDS FROM TERMS OF PREPARATION OF WOOD FIBER SEMI-FINISHED PRODUCTS

¹ Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetneva, Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049 (Russia), e-mail: sanekvititnev@yandex.ru

² Krasnoyarsk Institute of Railway Transport – a branch of the Irkutsk State University of Railways, Novaya zarya, 2g, Krasnoyarsk, 660028 (Russia)

Despite the reduced demand for fiber boards, research related to their manufacture is relevant, since the production of wood-based materials significantly contributes to solving the problem of the integrated use of wood raw materials.

The paper presents the results of experimental studies reflecting the dependence of the strength characteristics of dry and wet wood fiber boards on the structural and technological parameters of grinding plants of various modifications. The experiments were carried out in laboratory facilities and in the production environment on existing industrial equipment. Based on the results of processing multifactor experiments implemented in a second-order B plan, a mathematical description was obtained of the dependence of the tensile strength during static bending of solid wood fiber boards of the dry and wet production method on the gap between the grinding disks, wear of the segments and the concentration of wood fiber mass. The obtained regression models are adequate to the process and can be applied in practice to predict the strength characteristics of fiberboards depending on the parameters of the grinding process.

As a result of the analysis of the calculated and graphical dependences obtained on the basis of studies in the production environment on the existing equipment, it is possible to determine what parameters on the grinding equipment must be set in order to obtain the necessary physical and mechanical properties of the fiberboard.

Keywords: fiberboards, grinding process, wood fiber, dry and wet production methods, tensile strength under static bending.

References

1. *Drevesnyye plity i fanera segodnya: tsifry, fakty, problemy i perspektivy razvitiya* [Wood-based panels and plywood today: figures, facts, problems and development prospects]. URL: <https://proderevo.net/industries/wooden-plates/drevesnye-plity-i-fanera-segodnya-tsifry-fakty-problemy-i-perspektivy-razvitiya.html>. (in Russ.).
2. Zhang D., Zhang A., Xue L. *Wood Sci Technol.*, 2015, vol. 49, pp. 661–679. DOI: 10.1007/s00226-015-0728-6.
3. *Analiz rossiyskogo rynka drevesnovoloknistykh plit (DVP vkluchaya MDF/HDF) 2013–2018 gg. Prognoz do 2030 goda. Konsaltingovaya kompaniya «EVENTUS Consulting»*. [Analysis of the Russian market of fibreboard (fiberboard including MDF / HDF) 2013–2018. Forecast up to 2030. Consulting company "EVENTUS Consulting"]. Moscow, 2019, 75 p. (in Russ.).
4. Nikol'skaya V. *Lesprominform*, 2016, no. 6 (120), URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4468>. (in Russ.).
5. Matyugulina V.N. *Podgotovka drevesnovoloknistykh polufabrikatov v proizvodstve drevesnovoloknistykh plit sukhim sposobom: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk*. [Preparation of semi-finished wood-fiber products in the production of wood-fiber boards by dry method: dissertation of the candidate of technical sciences]. Krasnoyarsk, 2007, 183 p. (in Russ.).
6. Chistova N.G. *Pererabotka drevesnykh othodov v tekhnologicheskoy protsesse polucheniya drevesnovoloknistykh plit: dis. ... dokt. tekhn. nauk*. [Processing of wood waste in the technological process of obtaining wood-fiber boards: dis. ... doct. techn. sciences]. Krasnoyarsk, 2010, 415 p. (in Russ.).
7. Schubert M., Luković M., Christen H. *Wood Sci Technol.*, 2020, vol. 54, pp. 703–713. DOI: 10.1007/s00226-020-01184-3.
8. Ribeiro M., Menezzi C. *Wood Research*, 2019, vol. 17 (4), pp. 613–624.
9. Subekti N., Widiyaningrum P., Yoshimura T., Fibriana F. *Wood Research*, 2018, vol. 63 (3), pp. 409–418.
10. Camlibel O., Akgul M. *Wood Research*, 2020, vol. 65 (2), pp. 231–244.
11. Benthien J., Heldner S., Ohlmeyer M. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2017, pp. 215–232.
12. Ozyhar T., Depnering T., Ridgway C., Welker M., Schoelkopf J., Mayer I., Thoemen H. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2020, vol. 78, pp. 75–84.
13. Benthien J., Bähmisch C., Heldner S., Ohlmeyer M. *Wood and Fiber Science*, 2014, vol. 46(2), pp. 175–185.
14. *GOST 10633-2018. Plity drevesno-struzhechnyye i drevesno-voloknistyye. Obshchiye pravila podgotovki i provedeniya fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy*. [GOST 10633-2018. Chipboards and fibreboards. General rules for the preparation and conduct of physical and mechanical tests]. Moscow, 2018, 14 p. (in Russ.).
15. *GOST 4598-2018. Plity drevesnovoloknistyye mokrogo sposoba proizvodstva. Tekhnicheskiye usloviya*. [GOST 4598-2018. Wet fiberboards. Technical conditions]. Moscow, 2018, 15 p. (in Russ.).
16. *GOST 34026-2016. Plity drevesnovoloknistyye. Opredeleniye, klassifikatsiya i uslovnnyye oboznacheniya*. [GOST 34026-2016. Fiber boards. Definition, classification and conventions]. Moscow, 2017, 16 p. (in Russ.).
17. Riegler M., Spangl B., Weigl M., Wimmer R., Muller U. *Wood Sci Technol.*, 2013, vol. 47, pp. 1243–1259.
18. Borovikov V.P., Borovikov I.P. *STATISTICA. Statisticheskyy analiz i obrabotka dannykh v srede Windows*. [STATISTICA. Statistical analysis and data processing in Windows environment]. Moscow, 1998, 605 p. (in Russ.).
19. Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy*. [Fundamentals of Scientific Research]. Moscow, 2005, 305 p. (in Russ.).
20. Laskeyev P.Kh. *Proizvodstvo drevesnoy massy*. [Wood pulp production]. Moscow, 1967, 581 p. (in Russ.).

Received July 5, 2020

Accepted November 13, 2020

For citing: Matyugulina V.N., Chistova N.G., Vititnev A.Yu. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 467–474. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020048190.

* Corresponding author.