

УДК 676.1.054.1

Совершенствование качества подготовки древесноволокнистых огнезащитных полуфабрикатов в производстве древесноволокнистых плит, изготавливаемых сухим способом на примере применения размольной гарнитуры (рафинер PR-42)

Improving the quality of training of fire-retardant wood-semi-finished products in the production of fiber boards manufactured by dry method by the example of the use of the grinding set (refiner PR-42)

В.А. Якимов,

А.В. Антонов

канд. техн. наук,

ФГБОУ ВО Сибирская
пожарно-спасательная
академия ГПС МЧС России

test.ntc@sibpsa.ru

V.A. Yakimov,

A.V. Antonov

Candidate of Engineering
Sciences

FSBEE HE Siberian Fire and
Rescue Academy EMERCOM
of Russia

Рецензент:

С.А. Васильев

канд. техн. наук

Аннотация:

Размол древесноволокнистого полуфабриката в производстве древесноволокнистых плит сухим способом является одной из основных операций технологического процесса.

Анализ различных литературных источников и теоретических исследований в области процесса размола показал, что наряду с различными технологическими параметрами размалывающих машин, наибольшее влияние на процесс размола и на качество получаемого волокнистого полуфабриката оказывает геометрия размольной гарнитуры.

Все это указывает на необходимость проведения исследований, позволяющих разрабатывать и совершенствовать размольные рабочие органы, используемые в существующих размольных машинах, с целью получения высококачественных древесноволокнистых полуфабрикатов и готовых плитных материалов, не нарушая технологический процесс производства древесноволокнистых плит.

В данной статье авторами предложены теоретические предпосылки изготовления древесноволокнистых плит сухим способом с пониженной пожарной опасностью, на основании совершенствования процесса подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов с лучшими качественными характеристиками, при всех прочих равных условиях установившегося процесса, с условием выбора оптимальных значений параметров процесса размола на существующем оборудовании. Проанализирована предлагаемая размольная гарнитура на примере применения размольной гарнитуры (рафинер PR-42).

Ключевые слова: древесноволокнистые плиты; древесноволокнистый полуфабрикат; размол; размольная гарнитура; экспериментальные исследования; физико-механические свойства; технологические параметры; пониженная пожарная опасность.

Abstract:

Grinding of wood fiber in the production of semi-dry process fibreboard is one of the basic operations of the process.

Analysis of various literature and theoretical research in the field of grinding process has shown that along with various technological parameters of grinding machines, the greatest influence on the process of grinding and the quality of the pulp produced has the geometry of the grinding set.

All this points to the need for studies to develop and improve grinding working bodies used in existing grinding machines, in order to obtain high-quality wood-fiber semi-finished and finished board materials without violating the manufacturing process fibreboard.

In this paper, the authors proposed theoretical assumptions manufacturing fibreboard dry process with low fire danger on the basis of improving the process of preparation of wood-fiber semi-finished products with the best quality characteristics, all other things being equal, steady process, with the condition of the selection of optimal values of the parameters of the process of grinding the existing equipment. Analyzed the proposed grinding set the example of the use of the grinding set (refiner PR-42).

Key words: fiberboard; semi-finished wood fiber; grinding; grinding tools; experimental studies; physical and mechanical properties; process variables; reduced fire hazard.

Исследованием влияния качества подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов (степень помола, морфологические характеристики и т.д.) на физико-механические показатели плит общего назначения занимались многие научные деятели, однако исследования такого характера проводились лишь в лабораторных условиях, при разном методическом подходе для производства древесноволокнистых плит (далее ДВП) мокрым способом, поэтому сопоставить результаты по абсолютным значениям очень сложно.

Размол древесноволокнистого полуфабриката в производстве древесноволокнистых плит сухим способом является одной из основных операций технологического процесса. Назначение его - придать волокнистому полуфабрикату определенные размеры волокон по толщине и длине, обеспечить требуемую структуру ковра и определенную степень гидротации, от которой в значительной мере зависят силы сцепления между ними [2, 3].

Традиционно в данном производстве размол осуществляется в быстроходной ножевой дисковой мельнице - рафинере.

Как было сказано выше, процесс размола древесноволокнистой массы в ножевых размалывающих

машинах зависит от их конструктивных и технологических параметров. Морфологические свойства разработанных волокон при заданных режимах работы размольных машин, в свою очередь, также будут оказывать существенное влияние на свойства готовой продукции [4].

Анализ исследований показал, что в настоящее время качественные характеристики древесноволокнистых полуфабрикатов и физико-механические свойства ДВП получаемых из них, зачастую не соответствуют требованиям ГОСТ 4598-86. Это обуславливается тем, что недостаточно изучено влияние технологических и конструктивных особенностей размольной гарнитуры на явления, протекающие в процессе подготовки древесноволокнистого полуфабриката в производстве ДВП. Используемая в производстве размольная гарнитура не имеет научного обоснования, проектирование и разработка гарнитуры основывалась на наблюдениях и практическом опыте производств в течение многих лет.

Механизм размола в быстроходных ножевых дисковых мельницах идентичен и обуславливается гидродинамическими и механическими воздействиями на древесное волокно, что установлено такими специалистами, как: А.А. Набиева, А.А. Леонович и др. [5,6].

В рабочем зазоре между размольными дисками при набегании ножей ротора на ножи статора гарнитуры происходит интенсивное воздействие на волокнистый полуфабрикат, за счет сил сжатия, раздавливания, резания, мятая и трения [9], центробежной силы и перемешивания массы, согласно законам гидродинамики.

Для того чтобы оценить вязкоупругие и релаксационные свойства древесного волокна в процессе размола на рафинере, рассмотрим древесноволокнистый материал как полимер.

Полная деформация древесного полуфабриката как полимера в единичном секторе размольной камеры рафинера будет включать в себя три составляющие:

1. Упругая деформация, обусловленная изменениями валентных углов и расстояния между химически связанными центрами атомов;
2. Высокoэластичная деформация, обусловленная релаксационными процессами перегруппировки структурных элементов древесины, приводящих к установлению нового равновесного положения;
3. Остаточная деформация, отражающая необратимое перемещение центров тяжести молекул и надмолекулярных структур (возрастает со временем неограниченно).

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{упр}} + \varepsilon_{\text{вэл}} + \varepsilon_{\text{вяз}} \quad (1)$$

где, $\varepsilon_{\text{упр}}$ – упругая деформация;

$\varepsilon_{\text{вэл}}$ – высокоэластичная деформация;

$\varepsilon_{\text{вяз}}$ – вязкая деформация.

Поскольку вяз не исчезает при снятии напряжения между ножами статора и ротора, то она будет выступать в роли остаточной деформации, $\varepsilon_{\text{ост}}$.

В момент, когда древесное волокно деформируется при усилиях, превышающих некоторый предел вынужденной эластичности, который является переменной, зависящей от напряжения, возникающего при размоле, происходит развитие высокоэластичной деформации [9].

Время релаксации, характеризующее скорость перегруппировки элементов структуры волокна в зависимости от напряжения и температуры в размольной камере агрегата, описывается следующим уравнением:

$$\tau_P = \tau_0 \exp[(U_0 - \gamma \sigma_P)/kT] \quad (2)$$

где τ_0 – постоянная для полимеров;

U_0 – энергия активации процесса разрушения;

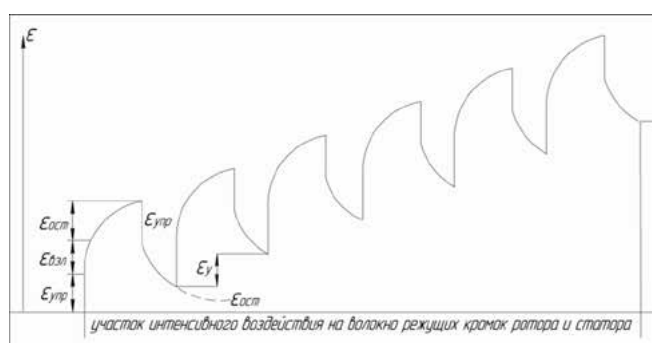
γ – структурно-чувствительный коэффициент;

σ_P – разрушающее напряжение;

k – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура.

Для лучшего объяснения процесса разрушения древесного материала в результате размола предлагаемым способом, на рисунке 1 представлен один из циклов размола древесноволокнистого полуфабриката в пределах единичного сегмента размольного диска рафинера [9].



ε_y – деформация между ударами режущих кромок;
 ε^* – деформация необходимая для полного смещения клеток древесины друг относительно друга

Рис. 1. Цикл размола древесноволокнистого полуфабриката в пределах единичного сектора размольной камеры

Из представленной схемы видно, что в результате набегания ножа ротора на первый нож статора (при возникновении напряжения в начальный момент времени) возникает деформация древесного волокна [9].

После прохождения ножа ротора над ножом статора значения напряжений резко снижаются, при этом сохраняется остаточная деформация. После того, как нож ротора попадает на участок между ножами статора, происходит перемешивание, мятие и трение волокна, сопровождающееся гидродинамическими явлениями при высокой концентрации древесного сырья [9].

Таким образом, при попадании древесного материала в следующий единичный сектор размольной камеры цикл воздействия размалывающих органов на древесноволокнистый полуфабрикат повторяется. При неоднократном прохождении древесного материала секторов размольной камеры происходит накопление остаточных напряжений в волокне, приводящих к полному разделению древесных пучков на отдельные волокна.

Как уже говорилось ранее, в результате размола на рафинере преобладают силы резания, мятия, сжатия и сдвига, обуславливающие такие параметры, как величина касательного напряжения размола, удельная нагрузка на кромку ножа, максимальное удельное давление действующее в рабочем зазоре, секундная режущая длина [9].

После снятия напряжений между ножами статора и ротора в древесине возникают обратные упругие последствия: быстрое уменьшение деформации – соответствует величине $\varepsilon_{\text{упр}}$, постепенное уменьшение – $\varepsilon_{\text{вэл}}$. Необратимая часть деформации, $\varepsilon_{\text{ост}}$, не релаксирует и сохраняется без изменений. Когда древесноволокнистый материал попадает под воздействие следующего ножа полный цикл «напряжение-разгрузка» повторяется. После того, как нож ротора проходит над канавкой статора, происходит перемешивание, мятие и трение волокна, сопровождающееся гидродинамическими явлениями при высокой концентрации древесного сырья.

Таким образом, при попадании древесного материала в следующий единичный сегмент размольной гарнитуры цикл воздействия размалывающих органов на древесноволокнистый полуфабрикат повторяется. При неоднократном прохождении древесного материала над каждым сегментом размольного диска происходит накопление остаточных напряжений в волокне, приводящих к полному разделению древесных пучков на отдельные волокна.

При размоле в рафинере PR-42 обратимые механические и необратимые термодинамические деформации, имеющие релаксационный характер, обеспечивают процесс полного разделения древесины на волокно [9].

С целью установления влияния конструктивных параметров размольной гарнитуры промышленной установки рафинера на процесс подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов при помощи пакета программ КОМПАС3DV16 были изготовлены про-

зрачные графические модели секторов размольной гарнитуры (ротора и статора). Прозрачные модели позволяющие оценить формирование поверхности размола на дефибраторе и рафинаторе при пересечении ножей ротора с ножами статора размольной гарнитуры [9], представлены на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что в рабочем сопряженном состоянии, при пересечении ножей статора размольной гарнитуры ножами ротора образуется множество поверхностей пересечения в виде ромбов.

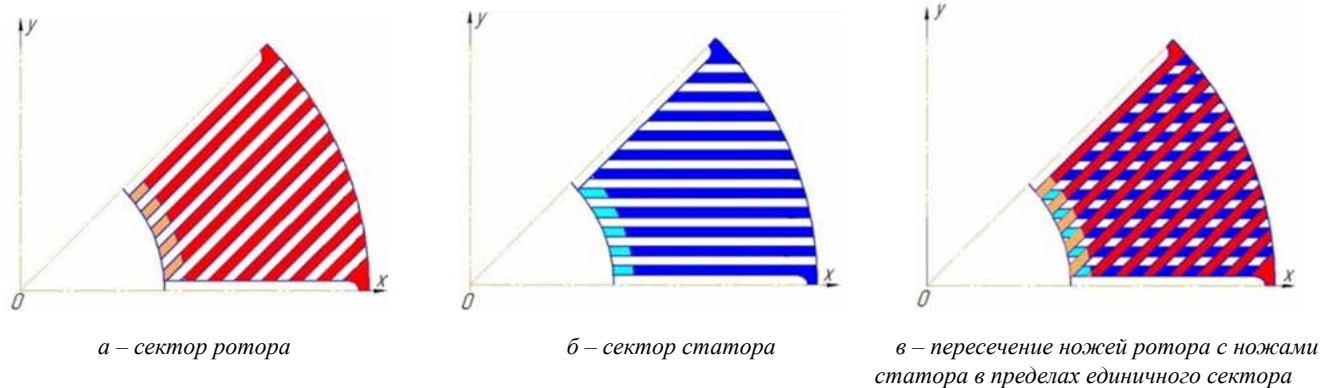
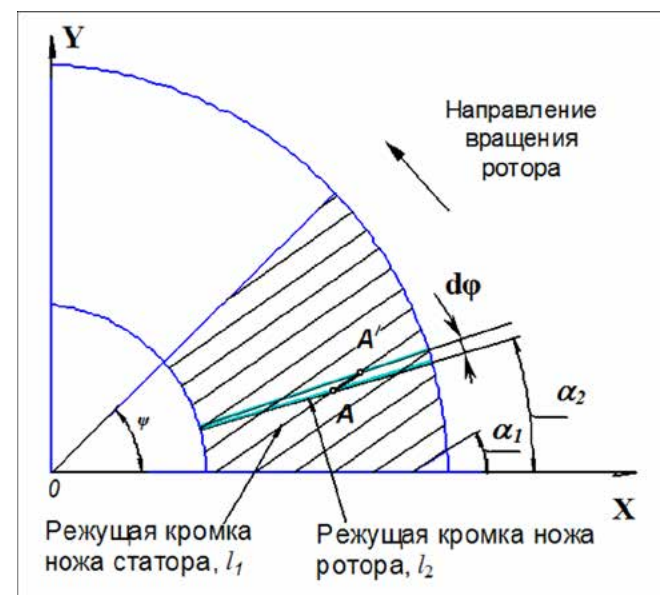


Рис. 2. Схема формирования размывающей поверхности размольной гарнитуры на рафинере

Для определения длины, «отрезаемой ножами ротора от ножей статора» зафиксируем положение статора и ротора в прямоугольной системе координат, как показано на рисунке 3, сделав следующие допущения:

- исходя из того, что процесс рубки волокна происходит на передней режущей кромке ножа [6] при расчете секундной режущей длины методом нахождения координат движущейся точки, образованной при контакте пары ножей (ротора и статора), рассматриваем не весь нож, а только его режущую кромку;
- кромка ножа первого сектора статора располагается под некоторым углом к оси X, обозначим ее l_1 , а ножевая кромка первого сектора ротора находится под другим произвольным углом к оси X, обозначим ее l_2 . Положение ножей статора относительно ножей ротора до его поворота в дальнейшем считаем исходным;
- выбираем произвольную точку пересечения кромки ножа ротора относительно кромки статора, обозначив ее точкой A, с координатами (X;Y) в прямоугольной системе координат [9].

По найденным с помощью представленной расчетной схемы координатам точек A и A/ определена длина, «отрезаемая ножами ротора от ножей статора» (отрезок AA/).



ψ – угол при вершине сектора;
 α_1 – угол установки ножей статора к радиусу гарнитуры;
 α_2 – угол установки ножей ротора к радиусу гарнитуры;
 d_ϕ – малый угол поворота ножей ротора относительно статора; A – точка пересечения ножей ротора с ножами статора до поворота на малый угол d_ϕ ;
A' – точка пересечения ножей ротора с ножами статора после поворота на малый угол d_ϕ .

Рис. 3. Расчетная схема расположения ножевого сектора в системе координат

Основные расчетные параметры рисунка размольной гарнитуры, характеризующие эффективность ее использования: количество одновременно движущихся точек пересечения гарнитуры (t), секундная режущая длина (L_s) ножевой гарнитуры, циклическая элементарная длина ($L_{\omega.эл.}$) [7, 9].

Классическое решение по определению секундной режущей длины позволяет определить ее в некоторый момент времени при повороте ротора относительно статора на малый угол $d\varphi$ и не учитывает динамику изменения отрезаемой длины за полный оборот, а значит, не дает полной картины формирования величины секундной режущей длины для дисковой ножевой гарнитуры, применяемой на рафинере. Для определения истинного значения секундной режущей длины для гарнитуры рафинера, формируемой за оборот с учетом заданной скорости вращения ротора, ширины ножа, ширины ячейки и углов установки ножей к радиусу гарнитуры на роторе и статоре, использовались современные машинные методы вычисления с применением пакета программ Matlab и программы «Расчет технологических параметров ножевой гарнитуры в Matlab» [9].

Программа позволяет вычислить среднее значение величины секундной режущей длины, получаемой при повороте ротора относительно статора на один оборот, а также количество точек пересечения ножей размалывающих органов машины. При этом можно получить наглядную графическую зависимость изменения количества точек пересечения t , образованных контактом ножей одного сектора ротора с определенным углом его установки к радиусу, с ножами сектора статора, а также определить длину ножа, «отрезаемую» при таком контакте за период, равный сектору [6, 9].

На основании теоретических исследований нами был выполнен расчет в программе при использовании современного пакета программ Matlab для определения истинных значений основных технологических параметров гарнитуры рафинера, достоверно оценивающих ее эффективность при получении полуфабриката с заданными качественными характеристиками:

- количество точек пересечения (t) режущих кромок ножей ротора с ножами статора, участвующих в образовании секундной режущей длины (L_s) размольной гарнитуры, характеризующее количество одновременно движущихся точек пересечения ножей ротора с ножами статора в пределах одного сектора гарнитуры [7]. Небольшие значения данного параметра характеризуют меньшее воздействие гарнитуры в сторону укорочения волокна;
- секундная режущая длина (L_s) ножевой гарнитуры, позволяющая оценить общую длину пересечения режущих кромок ножей ротора с ножами статора за одну секунду и характеризующая количество одновременно обрабатываемых волокон, т.е. производительность мельницы [7, 9].

С целью оценки эффективности процесса размола на рафинере был рассчитан параметр секундной режущей длины по формуле:

$$L_s = \frac{n}{60} \cdot \sum_{i=1}^m L_{ci} = \frac{n}{60} \cdot \sum_{i=1}^m z_{ci} \cdot z_{pi} \cdot l_i \quad (3)$$

где, L_{ci} - секундная режущая длина в пределах одного участка гарнитуры м/с;

z_{ci} - число ножей статора в пределах одного участка, шт.;

z_{pi} - число ножей ротора в пределах одного участка, шт.;

l_i - длина образующей i -ого участка, м;

n - частота вращения ротора, об/мин;

m - число участков гарнитуры.

- циклическая элементарная длина ($L_{\omega.эл.}$), характеризующая среднюю длину волокна, «отрезаемую» за один оборот ротора, в процессе контакта всех его ножей с ножами статора, и позволяющая определять эффективность процесса размола в сторону укорочения волокна или получения волокна длинноволокнистой фракции с наличием фибриллирования [2, 7, 9]:

$$L_{\omega.эл.} = \frac{L_s \cdot 60}{n \cdot t \cdot (2\pi / \psi)} \quad (4)$$

Таблица 2. Основные расчетные параметры размольных гарнитур, показатели качества помола и прочности О-ДВПсух

Размольная гарнитура	Параметр			Показатель	
	количество точек пересечения, t , шт.	секундная режущая длина, L_s , м/с	циклическая элементарная длина, $L_{\omega.эл.}$, м	степень размола, ПВ	прочность О-ДВПсух, МПа
Рафинер PR-42	142	137290,2	7,81	225-240	40-44

где, L_s – секундная режущая длина, м/с;

n – частота вращения ротора, об/мин;

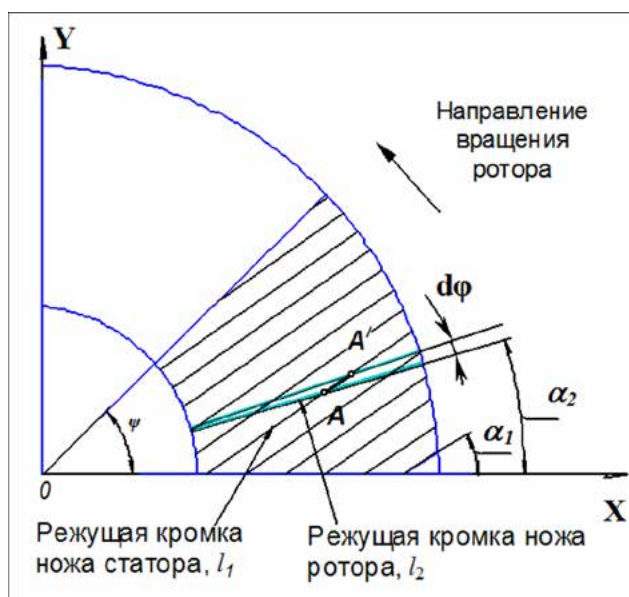
t – количество движущихся точек пересечения ножей ротора с ножами статора в пределах одного сектора, шт.;

$2\pi/\psi$ – число секторов на диске ножевой гарнитуры [7, 8].

Расчет данных параметров гарнитуры в программе производился с учетом скорости вращения ротора, ширины ножа, ширины ячейки между ножами, углов установки ножей к образующей единичного сектора гарнитуры, внутреннего и внешнего радиусов рабочей зоны размола рисунка гарнитуры, количества секторов на размольном диске, ширины технологической канавки [9].

По найденным с помощью представленной расчетной схемы координатам точек А и А' определена длина, «отрезаемая при контакте ножей ротора с ножами статора» (отрезок АА').

Ниже, на рисунке 4, представлены конструктивные составляющие геометрии с целью расчета истинных значений показателей эффективности процесса размола на рафинере PR-42.



α_p, α_c – углы установки ножей ротора и статора относительно образующей единичного сектора;
 ψ – угол при вершине сектора; δ – ширина ножа;
 L – ширина ячейки между ножами;
 r, R – внутренний и внешний радиус рабочей зоны размола гарнитуры

Рис. 4. Сегмент гарнитуры и его геометрические составляющие

На основании теоретических исследований и анализа эффективности геометрии размольной гарнитуры рафинера, используемой для подготовки

древесноволокнистого полуфабриката для производства О-ДВПсух, с целью расчета в программе истинных значений показателей эффективности процесса размола на промышленной установке рафинер PR-42 были использованы исходные данные, представленные в таблице 1.

В таблице 2 приведены результаты расчета, характеризующие параметры размольной гарнитуры, оказывающие влияние на эффективность процесса подготовки древесноволокнистого полуфабриката для получения огнезащитных пресс-масс, а также основные качественные показатели древесного волокна и готовых плит.

Таблица 1. Технологические и конструктивные параметры размольной гарнитуры

Вид размольной гарнитуры	Рафинер PR-42
L - ширина ячейки между ножами, мм	12
α_c - угол установки ножей статора, град.	$\pi/13,4$
α_p - угол установки ножей ротора, град.	$\pi/1,08$
ψ - угол при вершине сектора, рад	$\pi/3$
R - внешний радиус диска, мм	500
r - внутренний радиус диска, мм	445
n - частота вращения ротора, об/мин	1500

Основные расчетные параметры, представленные в таблице, наглядно демонстрируют возможность эффективной подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов на эксплуатируемой размольной гарнитура рафинера PR-42. Соотношение геометрических параметров гарнитуры, согласно выполненным теоретическим расчетам, способно обеспечить в процессе размола на существующей размольной установке, в производственных условиях подготовку хорошо разработанного эластичного длинноволокнистого с наличием внешнего и внутреннего фибриллирования древесного волокна, что крайне важно при формировании огнезащитных вермикулитово-древесных пресс-масс. В настоящее время размерно-качественные характеристики получаемой древесноволокнистой массы не соответствуют необходимым требованиям. Теоретические исследования и расчеты показали наличие возможности, при всех прочих равных условиях, получение древесноволокнистых полуфабрикатов с лучшими качественными характеристиками.

Анализируя расчетные параметры, характеризующие эффективность работы размольной гарнитуры и качественные показатели древесноволокнистых полуфабрикатов, получаемых на них, можно

отметить, что существующая размольная гарнитура достаточно эффективна и позволяет получать древесноволокнистый полуфабрикат [7] достаточно высокого качества, при всех прочих равных условиях данного процесса, что позволит, в дальнейшем, применять его в производстве древесноволокнистых плит сухим способом с пониженной пожарной опасностью. На наш взгляд, это объясняется, прежде всего, конструктивными особенностями размазывающих органов рафинера, что и подтверждается теоретическими исследованиями.

Литература

1. Челпанова, М. Красноярский край в цифрах [Текст] / М. Челпанова // Леспром Информ: науч.-практ. журн. - 2008. - № 9. - с. 54-63.
2. Чистова, Н.Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит диссертация ... доктора технических наук: 05.21.03 / Сибирский государственный технический университет. Красноярск, 2010.
3. Чистова, Н.Г. Размол древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве ДВП [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03: защищена 20.12.2000 / Н. Г. Чистова. - Красноярск, 2000. 170 с.
4. Антонов, А.В. Производство древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью диссертация ... кандидата технических наук: 05.21.03 / Сибирский государственный технический университет. Красноярск, 2013.
5. Перекальский, Н. П. Сущность процесса размола [Текст] / Н. П. Перекальский, В. Ф. Филатенков // Тр. ЛТИ ЦБП. - Вып. 4. - М., 1956. - С. 21-32.
6. Алашкевич, Ю. Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / Ю. Д. Алашкевич. - Красноярск, 1987. - 361 с.
7. Совершенствование рабочих органов размольных установок для получения древесноволокнистых материалов [Текст] / В.А. Якимов, В.А. Вититнев, Ю.Д. Алашкевич, Н.Г. Чистова // В мире научных открытий. – 2015. - №8.2 (68) – С. 833-847, автора 1,38 п.л.
8. Матыгулина, В.Н. Подготовка древесноволокнистых полуфабрикатов в производстве древесноволокнистых плит сухим способом диссертация ... кандидата технических наук: 05.21.03 / Сибирский государственный технический университет. Красноярск, 2007.
9. Зырянов, М.А. Получение полуфабрикатов в одну степень размола для производства древесноволокнистых плит мокрым способом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М. А. Зырянов. – Красноярск, 2009. – 146 с.