

УДК 676.1.054.1

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗМОЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ И ГОТОВОЙ ДРЕВЕСНО-ВОЛОКНИСТОЙ ПЛИТЫ

© *И.М. Морозов**, *Н.Г. Чистова*

*Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета, ул. Победы, 29, Лесосибирск, 662543 (Россия),
e-mail: ivan.morozov.les91@mail.ru*

Научной проблемой настоящих исследований явилась возможность переработки древесно-волоконистых полуфабрикатов, являющихся отходами в производстве ДВП, и их использование в полном объеме в основном производстве.

Объектом исследования являются древесно-волоконистые отходы производства ДВП, предметом исследования – физические явления и процессы, характеризующие технологический процесс обработки вторичных древесно-волоконистых полуфабрикатов.

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием комплекса современных взаимодополняющих физических, статистическо-математических методов исследований, а также лабораторными и производственными испытаниями, воспроизведением многочисленных опытов, высокой сходимостью расчетных и экспериментальных результатов, согласованностью подходов к процессу подготовки древесно-волоконистых материалов с общенаучными положениями, статистической обработкой результатов исследований.

С целью обоснования выбора размольной установки для подготовки вторичных древесно-волоконистых полуфабрикатов, количественной и качественной их оценки (зависимости морфологических характеристик волокна и физико-механических свойств готовой продукции от технологических и конструктивных параметров выбранной установки) спланирован и реализован активный многофакторный эксперимент по В-плану второго порядка.

В работе представлены результаты исследований подготовки древесно-волоконистых отходов от форматно-обрезных станков с целью дальнейшего их использования в готовой плитной продукции.

Исследования показали, что можно использовать при изготовлении ДВП мокрым способом состав прессмассы в соотношении 95% основное волокно и 5% отходы ФОР. В результате полученная древесно-волоконистая плита имеет прочность на изгиб 41 МПа и водопоглощение – 22,6%, что соответствует ГОСТу 4598-86. С использованием размольной установки МР-4 сокращаются затраты на перекачку массы 8–10% и меньше затрат на электроэнергию 5–8%.

Ключевые слова: древесно-волоконистая плита, древесная масса, древесное волокно, размол, роспуск, фибрилл-плазма, мельштофф.

Введение

Исследования в области совершенствования процесса получения древесно-плитных материалов являются актуальными, так как решают задачи комплексной переработки древесного сырья. Данная отрасль промышленности, согласно технологическим процессам, предполагает переработку различных видов древесных отходов от таких производств, как лесопиление, деревообработка, лесозаготовка, мебельное и столярное.

В процессе получения древесно-волоконистых плит (ДВП) образуется большое количество древесных отходов собственного производства:

- отжимки импресфайнера – пробковая вода, содержащая древесные частицы (до 11%);
- продольно-поперечные отходы ДВП от форматно-обрезных станков (3–5%);
- волокно, попадающее в сточные воды на отливной машины (2–4%) [1].

Морозов Иван Михайлович – аспирант,
e-mail: ivan.morozov.les91@mail.ru

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

Вышеперечисленные отходы ДВП составляют от 15 до 20% в общей массе объема получения древесно-волоконистых полуфабрикатов в дан-

* Автор, с которым следует вести переписку.

ном производстве и представляют собой серьезную проблему, так как в настоящее время на действующих предприятиях по производству ДВП не используются или используются частично. В настоящей работе научно обоснована возможность использования древесно-волоконистых отходов от форматно-обрезных станков без нарушения технологического процесса производства и снижения качественных показателей древесно-волоконистых плит.

Анализ и оценка лесопромышленных предприятий г. Лесосибирска показали, что отходы от форматно-обрезных станков (ФОР) либо вывозятся в отвал, либо частично сжигаются в ТЭС, что влечет за собой ухудшение экологической обстановки в целом.

Цель настоящих исследований – научное обоснование возможности подготовки древесно-волоконистых отходов от форматно-обрезных станков с целью дальнейшего их использования в готовой плитной продукции без нарушения технологического процесса и снижения качественных показателей готовой плиты.

Задачи исследований:

1. Научно обосновать выбор технологического оборудования для переработки отходов ФОР
2. Исследовать процесс роспуска отходов ФОР в роторно-ножевой размольной установке, работающей по сухому способу размола.
3. Оценить морфологические характеристики вторичного древесного волокна, переработанного сухим способом размола.
4. Исследовать физико-механические свойства готовой плитной продукции с учетом использования вторичного волокна.

В научных работах ряда авторов отмечается, что древесное волокно из отходов от форматно-обрезных станков (ФОР) являются инактивированными и не способны к связеобразованию в плите, так как они прошли все процессы прессования [1, 3].

Исследования показали, что при обработке древесно-волоконистых отходов от форматно-обрезных станков сухим способом размола в размольной установке МР-4 на волокна воздействуют ножевые усилия и аэродинамические явления. В результате такого размола, несмотря на то, что признаки ороговения волокна по-прежнему имеют место, на многих волокнах наблюдаются магистральные трещины, присутствует внешнее и внутренне фибриллирование волокна, что хорошо видно при рассмотрении волокон в микроскоп, и это обеспечивает увеличение удельной поверхности волокнистой массы в целом, а также создание когезионных связей в плите.

Наибольшее значение при формировании древесно-волоконистого ковра имеют механические силы, которые характеризуются поверхностным натяжением и сцеплением фибриллированного волокна (эффект двух взаимно спрессованных щеток). При улучшении качества разработки волокна увеличивается его удельная поверхность, а следовательно, и площадь контактов в плите [2].

Как известно [4], крупное волокно характеризуется большим диаметром и длиной, а при структурообразовании каркаса плиты выступает в качестве армирующих элементов. Мелкое волокно, фибриллплазма группы Б и мельштофф группы А имеют еще меньшие значения данных показателей. В результате данные фракции волокна имеют низкий показатель отношения его длины к диаметру и, соответственно, небольшую удельную поверхность.

В процессе структурообразования тела плиты данные группы древесного волокна выступают в качестве наполнителя и не образуют когезионных связей [1].

В свою очередь, среднее волокно, а также мелочь фибриллплазмы группы А и мельштофф группы Б имеют значение отношения длины к диаметру, в несколько раз превышающее данный показатель по сравнению с другими группами фракций в прессмассе. В результате данное волокно имеет большую удельную поверхность, тем самым способствует улучшению структурообразования плиты и сохраняет физико-механические свойства готового изделия.

Поэтому в процессе исследования рассматривались и оценивались только массовые доли мелочи фибриллплазмы группы А и мельштоффа группы Б, так как именно они участвуют в образовании связей в плите.

Экспериментальная часть

Исследования проводились в научно-технической лаборатории Лесосибирского филиала Сибирского государственного технологического университета.

Традиционно размол древесно-волоконистых полуфабрикатов осуществляется в присутствии воды, давления пара и высокой температуры. При реализации настоящего исследования размол (роспуск) осуществлялся сухим способом с использованием размольной установки МР-4.

Техническая характеристика устройства для размола МР-4: мощность двигателя – 2 кВт, производительность – 70 г/мин.

Устройство для размола МР-4 представляет собой корпус, в котором установлен вал с закрепленными на нем ножами, расположенными в шахматном порядке. Сырье – отходы ФОР – подается в виде пятачков в зазор между контрножом и ножами, где происходит размол и роспуск в воздушной среде вторичного волокна. В результате древесное волокно режется, истирается, разбивается и фибриллируется.

Эксперимент реализовывался по следующему плану: фиксировались на определенных уровнях значения величины зазора между ножом и контрножом, при этом изменялись значения угла встречи путем регулирования контрножа. Затем фиксировались значения угла встречи сырья с контрножом и варьировалось значение зазора. После этого оценивалось качество древесного волокна: удельная поверхность, длина, фракционный показатель качества, а также физико-механические свойства готовой плиты, полученной с учетом использования вторичного волокна размолотым сухим способом.

В таблице 1 представлен состав прессмассы для изготовления ДВП с использованием отходов форматно-обрезных станков.

Состав прессмассы для всех этапов исследований включал 93% основного древесно-волоконистого полуфабриката, полученного классическим способом (дефибратор, рафинатор), и 5% – отходы ФОР. Для проведения исследования использовали 90% хвойного и 10% лиственного исходного сырья.

Планирование эксперимента и его реализация осуществляли с использованием В-плана второго порядка.

В качестве входных (управляемых) факторов эксперимента выбраны следующие технологические параметры процесса:

– z – зазор между ножом и контрножом мельницы, мм;

– ε – угол встречи контрножа с сырьем, град.

В качестве контролируемых факторов выбраны качественные характеристики волокна: фракционный показатель качества (F_r), длина волокна (L_a), удельная поверхность волокна (U_d) и физико-механические свойства древесно-волоконистых плит – прочность (σ), водопоглощение (A).

Качественные показатели прочности и водопоглощения оценивались согласно ГОСТ 19592-80 «Плиты древесно-волоконистые. Методы испытаний».

С целью установления количественной взаимосвязи исследуемых факторов выбраны интервалы и уровни их варьирования:

$$225 \leq \varepsilon \leq 135;$$

$$3 \leq z \leq 9.$$

В таблице 2 представлены результаты эксперимента.

С целью научно обосновать и дать количественную оценку взаимосвязи между исследуемыми входными и выходными факторами в работе получены статистическо-математические уравнения.

Полученные статистическо-математические уравнения, описывающие исследуемый процесс, адекватны при доверительной вероятности 95–99%. Величина достоверности аппроксимации составила $0,9902 \leq R^2 \leq 0,9987$, при уровне значимости $q = 0,01$.

Таблица 1. Состав прессмассы для изготовления ДВП с использованием отходов форматно-обрезных станков

Наименование компонента	Массовая доля к а.с.в., %	Массовая доля к а.с.в, г
Древесное волокно	93	204,6
Поперечные отходы ФОР	3	6,6
Продольные отходы ФОР	2	4,4
Водный раствор серной кислоты	1	2,2
Парафиновая эмульсия	1	2,2
Итого:	100	220

Таблица 2. План и результаты реализации исследований

Обозначение				Удельная поверхность волокна в 1 г фракций, Уд, см ² /г (Y ₁)	Фракционный показатель качества Fr, г (Y ₂)	Средняя длина волокна La, мк (Y ₃)	Массовая доля мелочи		Прочность плиты на изгиб, σ, МПа (Y ₇)	Водопоглощение древесной плиты за 24 ч, А, % (Y ₈)
зазор между ножом и контрножом, мм		угол встречи ножа с сырьем, град					фибриллаплазма, %	мельшгофф, %		
нормализованное (X ₁)	натуральное (z)	нормализованное (X ₂)	натуральное (ε)							
-1	3	-1	225	345800,9	40,8	17,5	12,8	12,3	41	22,6
+1	9	-1	225	222167,8	38,2	14,5	11,0	10,8	34,2	27,8
-1	3	+1	135	321578,5	39,6	16,1	12,1	12,4	38,6	24,1
+1	9	+1	135	201487,6	37,1	14,1	9,5	9,4	39,6	31,3
-1	3	0	180	285147,2	38,6	15,9	11,5	11,2	36,1	26,3
+1	9	0	180	216421,5	37,4	14,2	10,5	10,1	33,8	29,5
0	6	-1	225	328596,8	39,9	17,2	12,6	12,1	39,8	23,5
0	6	+1	135	302874,3	39,2	16,0	11,9	11,8	37,3	25,8

В качестве примера в работе приведены уравнения, описывающие зависимость фракционного показателя качества, длины и удельной поверхности волокна, которые в наибольшей степени определяют в дальнейшем процесс связеобразования в плите и способствуют получению качественной готовой продукции:

– фракционный показатель качества:

$$Fr = 41,45 + 0,61 \cdot z - 1,75 \cdot \varepsilon - 0,07 \cdot z^2 + 0,16 \cdot \varepsilon^2 - 0,03 \cdot z \cdot \varepsilon;$$

– удельная поверхность:

$$Уд = 487250 + 56008,1 \cdot z - 141640 \cdot \varepsilon - 5938,02 \cdot z^2 + 13701,5 \cdot \varepsilon^2 + 447,36 \cdot z \cdot \varepsilon;$$

– длина волокна:

$$La = 18,69 + 0,73 \cdot z - 1,72 \cdot \varepsilon - 0,09 \cdot z^2 + 0,16 \cdot \varepsilon^2 - 0,004 \cdot z \cdot \varepsilon;$$

– прочность:

$$Pr = 67,84 - 1,81 \cdot z - 10,41 \cdot \varepsilon - 0,022 \cdot z^2 + 0,85 \cdot \varepsilon^2 + 0,325 \cdot z \cdot \varepsilon;$$

– водопоглощение:

$$S = 18,49 - 1,95 \cdot z + 3,73 \cdot \varepsilon + 0,2 \cdot z^2 - 0,36 \cdot \varepsilon^2 + 0,083 \cdot z \cdot \varepsilon.$$

По уравнениям построены графические зависимости, которые наглядно описывают исследуемый процесс.

Обсуждение результатов

На рисунках 1 и 2 представлены зависимости удельной поверхности волокна (Уд), средней длины волокна (La) от угла встречи контрножа с сырьем (ε) и зазором между ножом и контрножом мельницы (z).

Графическая интерпретация исследуемых зависимостей прочности (σ) и водопоглощения (А) от зазора между ножом и контрножом (z) и угла встречи ножа с сырьем (ε) представлены на рисунках 3 и 4.

Как видно из уравнений и графиков, представленных на рисунках 1 и 2, длина волокна в большей степени зависит от зазора между ножом и контрножом и в меньшей степени – от угла встречи. Удельная поверхность волокон изменяет свои качественные показатели при варьировании первого и второго исследуемых факторов (в 1,5 раза), что в дальнейшем оказывает влияние на физико-механические свойства древесно-волоконистых плит.

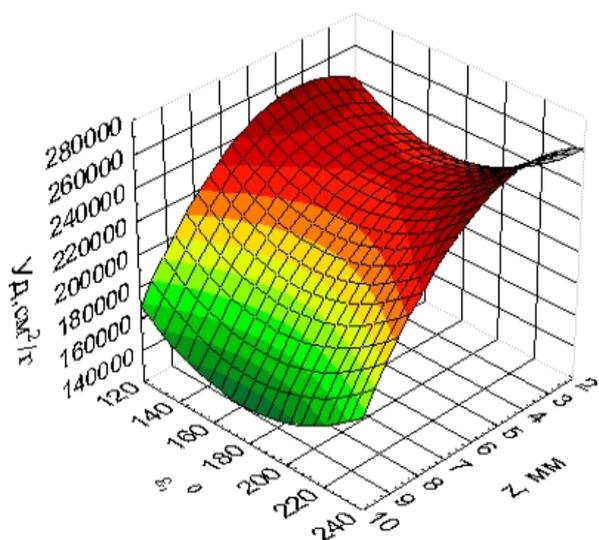


Рис. 1. Удельная поверхность волокон

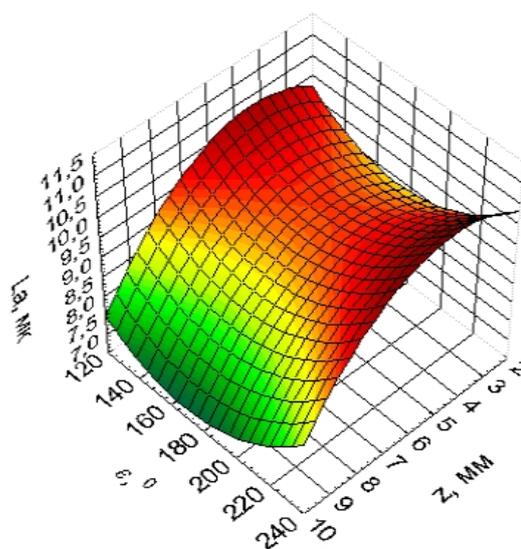


Рис. 2. Средняя длина волокна

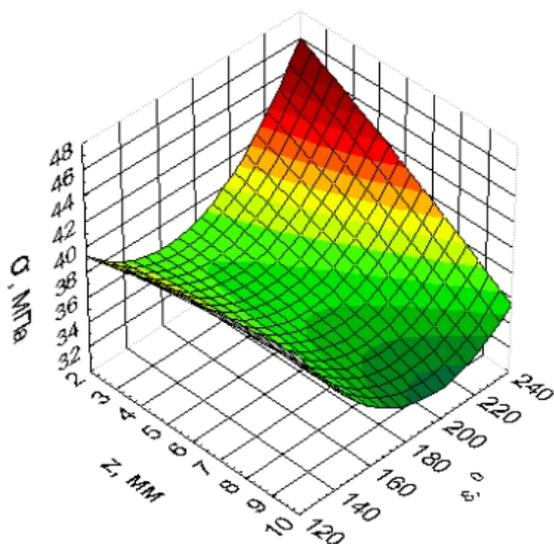


Рис. 3. Прочность плиты на изгиб

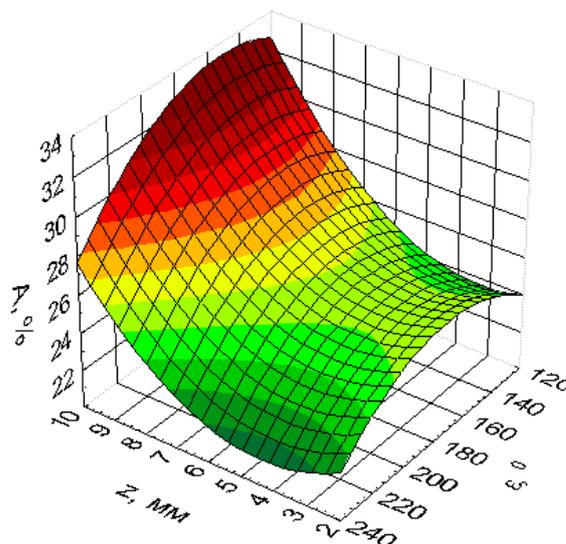


Рис. 4. Водопоглощение древесной плиты

Из графика, представленного на рисунке 3, видно, как зависит значение прочности плиты при статическом изгибе от технологических параметров размольной установки. Анализ уравнений и графика показал, что значения прочности плиты достигают своего максимального значения – 41 МПа при зазоре 3 мм. С дальнейшим уменьшением величины зазора между ножом и контрножом прочность плиты ухудшается.

При увеличении значения угла встречи сырья с контрножом значения показателя прочности плиты увеличиваются, т.е. улучшаются, достигая 38–39 МПа при значениях угла 135–180 градусов. Наименьшее значение показателя прочности можно наблюдать при значении угла 4.

Как видно на рисунке 4, при увеличении значения зазора между ножом и контрножом показатели водопоглощения плиты ухудшаются. Значение показателя водопоглощения плиты достигает 22,6% при зазоре 3 мм и угле встречи 225. Изменение значения угла встречи не оказывает значительного влияния на показатель водопоглощения.

В ходе исследований установлено, что в процессе размола отходов ФОР преобладают силы резания, мятая, трения, в результате имеют место такие повреждения, как поперечный обрыв, расчесывание концов пучков волокон и отдельных волокон, местные удаления отдельных участков первичной стенки и наружного слоя вторичной стенки. В волокнах отходов ФОР мокрого способа производства ДВП встречаются волокна, у которых отмечается слоистость внутренних слоев, внутреннее и внешнее фибриллирование,

сплюсненность волокон в виде плоских лент, хорошо видны смоляные ходы. Именно внешнее и внутреннее фибриллирование древесных волокон, которое хорошо видно при исследовании размолотого волокна под микроскопом при увеличении 1500 крат, способствует увеличению удельной поверхности древесного ковра в целом и связеобразованию в плите.

В таблице 1 видно, что качественные показатели древесно-волокнистых плит прямо пропорционально зависят от преобладания в размолотой массе фибриллплазмы группы А и мельштоффа группы Б. Это можно объяснить тем, что мелочь фибриллплазмы группы А и мельштоффа группы Б имеет наибольшую длину и наименьший диаметр по сравнению к другим группами мелочи. Таким образом, именно эти показатели, характеризующие волокно, обеспечивают связеобразование в готовой плите [1, 2].

Частицы фибриллплазмы группы Б и мельштоффа группы А выступают как наполнитель, располагаясь между армирующими волокнами, затрудняют их сближение в процессе формования ковра и слабо участвуют в образовании адгезионных и когезионных связей с волокном. Активные неволокнистые компоненты и мелкодисперсная фракция волокна (фибриллплазма группы А и мельштофф группы Б), напротив, образуют когезионные связи как с крупным, средним и мелким волокном, так и между собой, тем самым увеличивая в целом удельную поверхность контактов в плите. В результате в плите образуются дополнительные когезионные связи «волокно – мелкодисперсная фракция волокна – волокно».

Выводы

Исследования показали, что можно использовать при изготовлении ДВП мокрым способом состав прессмассы в соотношении: 95% – основное волокно и 5% – отходы ФОР. В результате полученная древесно-волокнистая плита имеет прочность на изгиб 41 МПа и водопоглощение 22,6, что соответствует ГОСТ 4598-86. С использованием размольной установки МР-4 сокращаются затраты на перекачку массы на 8–10% и на электроэнергию на 5–8%.

Выполненные исследования показали, что удельная поверхность вторичных волокон, полученных в результате обработки предложенным сухим способом на роторной установке, в 1,5 раза превышает удельную поверхность, полученную при переработке в быстроходных дисковых мельницах на второй ступени размола (рафинатор). Вторичное волокно, полученное классическим способом, является инактивированным, тем самым ухудшает физико-механические показатели плиты на 20%.

Исследования, реализованные в рамках настоящей работы, несомненно, актуальны и решают экономические, технологические и эколого-экономические задачи на современном этапе развития плитного производства, такие как экономия волокна и, соответственно, экономия электроэнергии на ее производство, уменьшение затрат на утилизацию древесных отходов в виде обрезков от форматно-обрезных станков, тем самым снижается негативное влияние на окружающую среду.

Список литературы

1. Чистова Н.Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесно-волокнистых плит : дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 2010. 415 с.
2. Зырянов М.А. Получение полуфабрикатов в одну ступень размола для производства древесно-волокнистых плит мокрым способом : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2012. 167 с.
3. Петрушева Н.А. Подготовка вторичного волокна при производстве древесно-волокнистых плит мокрым способом : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2003. 115 с.
4. Ласкеев П.Х. Производство древесной массы. Л., 1967. 180 с.

Поступило в редакцию 17 декабря 2014 г.

После переработки 31 июля 2015 г.

*Morozov I.M.**, *Chistova N.G.* INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE GRINDING UNIT ON THE PROPERTIES OF WOOD PULP AND FINISHED FIBREBOARD

*Lesosibirsky branch of the Siberian State Technological University, Pobedy, 29, Lesosibirsk, 662543 (Russia),
e-mail: ivan.morozov.les91@mail.ru*

Scientific problem of this study is wood-processing possibility of semi-finished products which are waste in the production of fiberboard and their use in full in the primary production.

The paper presents the results of wood waste study from the preparation of sliding machines in order to their further use in finished plate products.

The object of study of this paper is wood-waste fiber board production. The subject of research is physical phenomena and processes that characterize the process of secondary wood-processing semi-finished products.

The accuracy of the results is provided by the use of modern complex of complementary physical, statistical and mathematical methods of research, as well as laboratory and production tests, making numerous experiments, a high convergence of the calculated and experimental results, coordinated approach to the process of preparation of wood materials with general scientific terms, the statistical processing of the research results.

In order to justify the choice of grinding plant for the preparation of secondary wood-fiber semi-finished products, qualitative and quantitative evaluation: the morphological characteristics of the fiber and the physical and mechanical properties of the finished product on the technological and design parameters of the selected installation have been designed and implemented an active multifactorial experiment according to B-plan of the second order.

Studies have shown that you can use in the manufacture of chipboard wet pressmassy composition in a ratio of 95% primary fiber and 5% waste odds. As a result of fiberboard has a flexural strength 41 MPa and water absorption of 22,6%, which corresponds to GOST 4598-86. Using grinding installation 4 MR reduced pumping costs 8–10 mass% and less cost elektroenergiiyu 5–8%

Keywords: fiberboard, wood pulp, wood fiber, grinding, dissolution, fibrillplasma, melshstoff.

References

1. Chistova N.G. *Pererabotka drevesnykh otkhodov v tekhnologicheskoy protsesse polucheniia drevesnovoloknistykh plit : dis. ... dokt. tekhn. nauk.* [Recycling wood waste in the process producing fibreboard: the dissertation of the doctor of technical sciences]. Krasnoyarsk, 2010, 415 p. (in Russ.).
2. Zyrianov M.A. *Poluchenie polufabrikatov v odnu stupen' razmola dlia proizvodstva drevesnovoloknistykh plit mokrym sposobom : dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Production of semi-finished grinding in one step for the production of wet process fibreboard Dissertation of the candidate of technical sciences]. Krasnoyarsk, 2012, 167 p. (in Russ.).
3. Petrusheva N.A. *Podgotovka vtorichnogo volokna pri proizvodstve drevesnovoloknistykh plit mokrym sposobom : dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Preparation of recycled fibers in the production of fiberboard wet: the dissertation of the candidate engineering science]. Krasnoyarsk, 2003, 115 p. (in Russ.).
4. Laskeev P.Kh. *Proizvodstvo drevesnoi massy.* [Manufacture of pulp]. Leningrad, 1967, 180 p. (in Russ.).

Received December 17, 2014

Revised July 31, 2015

* Corresponding author.

