

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/131TVN216.pdf>

DOI: 10.15862/131TVN216 (<http://dx.doi.org/10.15862/131TVN216>)

Статья опубликована 10.05.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Якимов В.А., Антонов А.В. Исследование процесса получения древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью сухим способом производства с применением математических методов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/131TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/131TVN216

УДК 676.1.054.1

Якимов Вячеслав Анатольевич

ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Железногорск¹
Научно технический центр, Россия, Красноярск
Заместитель начальника отдела
E-mail: 2546754@list.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=817578

Антонов Александр Викторович

ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Железногорск
Научно технический центр, Россия, Красноярск
Начальник отдела «Прикладных исследований и инновационных технологий»
Кандидат технических наук
E-mail: antonov012@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=817480

Исследование процесса получения древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью сухим способом производства с применением математических методов

Аннотация. В связи с возрастающим спросом на древесноволокнистые плиты с пониженной пожарной опасностью, наблюдается рост требований и к их физико-механическим и эксплуатационным показателям (проницаемости, старение и долговечность, эксплуатационная надежность, загрязнение сточных вод) которые определяют дальнейшие возможности их использования в различных отраслях промышленности. Это обстоятельство, несомненно, требует проведения научных исследований в этом направлении для получения высококачественной продукции.

Совершенствование получения древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью и низкой себестоимостью, несомненно, является актуальной задачей на современном этапе развития российской экономики.

Процессы получения огнезащищенных плит на основе минеральных компонентов с нужными физико-механическими показателями в настоящее время мало обоснованы теоретически и в основном решаются практическим путем, в работе автором научно обосновано решение таких первостепенных задач, как: определение составов специальных

¹ 662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1

пресмасс в технологии изготовления огнезащищенных древесноволокнистых плит сухим способом производства; влияние огнезащитных компонентов и качественных характеристик древесноволокнистых полуфабрикатов на физико-механические свойства готовых плит с пониженной пожарной опасностью.

С целью оценки свойств огнезащищенной плитной продукции, автором, впервые получены и предложены для использования статистическо-математические модели, описывающие количественную зависимость качественных характеристик полуфабрикатов, физико-механических свойств готовых древесноволокнистых плит сухим способом производства от технологических и конструктивных параметров рафинера. Что позволило научно обосновать технологическую, экономическую и экологическую целесообразность предлагаемых огнезащитных компонентов и получение древесноволокнистых плит сухим способом производства с пониженной пожарной опасностью на их основе.

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

Результаты работы могут быть использованы в практической деятельности деревообрабатывающих комбинатов при производстве ДВП сухим способом, а также в учебном процессе при подготовке специалистов в учебных заведениях МЧС России.

Ключевые слова: древесноволокнистые плиты; экспериментальные исследования; эксперимент; математические модели; физико-механические параметры; пониженная пожарная опасность; технологический режим; огнезащитные свойства; статистическо-математические уравнения

Проблема математического описания в последнее время приобрела особенную актуальность. Математические модели позволяют не только разработать оптимальные по тому или иному критерию технологические режимы и корректировать их при изменении начальных условий и в случаях появления возмущающих воздействий, но и разработать алгоритмы управления, определить структуру и оптимальные характеристики управляющего устройства [1]. Отсутствует системный подход к вопросам подготовки и формирования огнезащитных пресс-масс и получения плит с пониженной пожарной опасностью. Закономерности протекания процессов изучаются только в одном направлении, число исследуемых факторов не охватывает всей их совокупности, необходимой для получения достаточно полного представления о процессе подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов и огнезащитных компонентов. Исследования в основном проводятся в лабораторных условиях, которые зачастую далеки от соответствия производственным условиям и их изменчивости. Поэтому учитывая, что в настоящее время на предприятиях, выпускающих древесноволокнистые плиты сухим способом производства (далее О-ДВП_{сух}), не имеется общепризнанных оптимальных технологических режимов производства, первоочередной задачей усовершенствования производства предполагается разработка таких режимов.

Из сказанного можно заключить, что нецелесообразно оценивать влияние отдельных факторов на различные показатели древесноволокнистых полуфабрикатов и готовой продукции, необходимо исследовать влияние совокупности показателей технологического

режима процесса подготовки как древесноволокнистого полуфабриката, так и огнезащитного компонента на качество готовой продукции специального назначения, технологический режим и экономико-экологические показатели производства в целом.

Для обеспечения эффективности процесса получения огнезащитных плит необходимо, во-первых, по совокупности текущих значений входных параметров практически всех технологических процессов производства точно прогнозировать изменения качественных показателей ДВП, во-вторых, - определять наиболее эффективные средства для поддержания этих показателей на заданном уровне. Решить данные задачи можно только с помощью математической модели, описывающей этапы процессов участвующих в получении О-ДВП_{сух}, которая представляет собой систему уравнений, устанавливающих зависимость качественных показателей О-ДВП_{сух} от входных технологических и режимных параметров используемого оборудования.

Количественная характеристика процесса подготовки древесноволокнистого полуфабриката определяется совокупностью наибольшего комплекса показателей, основными из которых являются:

- степень помола массы, характеризующая размол по изменению фильтрационных свойств массы;
- фракционный показатель качества огнезащищенной пресс-массы (фибриллирование);
- средняя длина волокна;
- механические свойства плит (плотность, сопротивление к водопоглощению, прочность).

Возможность довольно широкого регулирования свойств плит в технологическом процессе их производства выдвигает на первый план задачу создания плит с заданными огнезащитными свойствами в соответствии с технологическими характеристиками, определяемыми все тем же набором физико-механических параметров. При этом следует помнить, что диапазон изменения свойств древесных плит достаточно широк. Опыт применения древесных плит в различных отраслях народного хозяйства позволяет сформулировать комплекс показателей качества, определяющий использование плит в тех или иных элементах конструкций, с теми или иными свойствами [7, 10].

Изменяя режимы размола: удельное давление, концентрацию и температуру массы, а также вид подвергаемых размолу полуфабрикатов, можно получить плиту с различными свойствами.

Дальнейшая задача исследований – поиск конструктивных и технологических параметров размалывающих машин для получения особой степени разработанности древесного волокна и достижения определенного размера частиц минерала (вермикулита).

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием комплекса современных взаимодополняющих физических, статистическо-математических методов исследований, а так же лабораторными и производственными испытаниями, воспроизведением многочисленных опытов, высокой сходимостью расчетных и экспериментальных результатов, согласованностью подходов к процессу подготовки древесноволокнистых материалов с общенаучными положениями, статистической обработкой результатов исследований [3].

Установление объективных закономерностей, выражающих влияние различных факторов как друг на друга, так и на выходную величину в процессе экспериментального

исследования, является необходимым условием для управления исследуемыми объектами или технологическими процессами в желаемом направлении [4].

Целью экспериментальных исследований является получение математических моделей, описывающих исследуемый объект - снижения пожарной опасности древесноволокнистых плит с сохранением их качественных характеристик, то есть отыскание зависимости каждой из выходных величин объекта от варьируемых факторов. С их помощью можно определить интересующие характеристики объекта, результаты влияния на него тех или иных факторов, оптимальные режимы функционирования и способы управления объектом.

В настоящей работе для решения поставленных задач были использованы методы планирования, позволяющие получить статистическо-математические уравнения, описывающие процесс подготовки огнезащитных пресс-масс при производстве древесноволокнистых плит сухим способом.

Активный многофакторный эксперимент был принят автором в качестве основного метода получения статистически-математического описания исследуемого процесса с использованием В-плана второго порядка, который, по его мнению, наиболее подходит для описания исследуемого процесса ввиду его сложности и малоизученности.

Для того, чтобы статистическо-математическое уравнение было просто и удобно для практического использования, оно должно определять только важнейшие связи объекта управления. Иначе говоря, в него должны входить только наиболее важные параметры.

Математические зависимости, полученные этим методом, не отражают физической сущности объекта, только устанавливают количественные соотношения между его входными и выходными факторами. Это является первым шагом на пути исследования малоизученных процессов.

По сравнению с традиционными методами, математические планы эксперимента значительно сокращают необходимое число опытов и более равномерно исследуют факторное пространство [2].

В производстве О-ДВП_{сух} имеет место одновременное протекание химических, теплофизических, механических и других процессов, воздействующих на очень сложную по составу и свойствам среду - древесину, смешанную с химикатами и минералом. Это делает бесперспективными попытки классическими аналитическими методами вывести количественные закономерности процессов, необходимые для оптимизации технологического режима и алгоритмизации процессов управления производством [2].

Планирование однофакторных экспериментов. Для определения наиболее эффективных параметров работы оборудования для получения древесноволокнистой массы в производстве О-ДВП_{сух} необходимо провести однофакторные эксперименты для получения математических моделей вида $y=f(X_i)$.

Метод обработки результатов экспериментов с целью описания объекта – метод наименьших квадратов. Эксперимент состоит из N опытов, равностоящих друг от друга на шаг h. Уравнение в общем виде для однофакторных экспериментов выглядит таким образом.

$$Y=B_0+B_1X_1+B_{11}X_1^2. \quad (1)$$

Для вычисления трех неизвестных коэффициентов данного уравнения необходимо решить систему из трех линейных уравнений [4].

$$\left. \begin{aligned} NB_0 + B_1 \sum_{j=1}^N X_{1j} + B_{11} \sum_{j=1}^N X_{1j}^2 &= \sum_j Y_j \\ B_0 \sum_{j=1}^N X_{1j} + B_1 \sum_{j=1}^N X_{1j}^2 + B_{11} \sum_{j=1}^N X_{1j}^3 &= \sum_{j=1}^N Y_j X_j \\ \hat{A}_0 \sum_{j=1}^N X_{1j}^2 + B_1 \sum_{j=1}^N X_{1j}^3 + B_{11} \sum_{j=1}^N X_{1j}^4 &= \sum_{j=1}^N Y_j X_j \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Подставив вычисленные значения коэффициентов в уравнение общего вида, получим искомую математическую модель.

Планирование многофакторных экспериментов. Наиболее предпочтительным для определения влияния основных конструктивных и технологических параметров размольного оборудования на качество древесноволокнистой массы, а также на физико-механические характеристики готовой древесноволокнистой плиты, и для обеспечения достоверного математического описания объекта, является многофакторный эксперимент, так как он позволяет при переходе к каждому последующему опыту варьировать все или почти все факторы одновременно.

В данной работе для построения математической модели процесса, проверки ее адекватности, и для оценки влияния на процесс каждого учитываемого технологического фактора, автором, использован регрессионный анализ – метод, который позволяет устанавливать значения факторов и диапазоны их варьирования по своему усмотрению, не нарушая хода технологического процесса, согласно техническим характеристикам применяемого оборудования, требованиям стандартов к готовой продукции и т.п.

В настоящей работе был спланирован и проведен многофакторный эксперимент, реализованный по планам второго порядка. Планами второго порядка называют такие планы многофакторного эксперимента, с помощью которых можно получить математическое описание объектов в виде полиномов второго порядка.

В В-планах второго порядка каждый фактор x_i варьировался на трех уровнях, то есть принимал в каждом опыте одно из трех значений: наименьшее $x_{i \min}$, наибольшее $x_{i \max}$ и среднее x_i^0 [4, 5].

Несмотря на сравнительно небольшое число опытов, необходимое для реализации В-плана, он позволяет получать отдельные оценки парных взаимодействий параметров, линейных и квадратных эффектов. Полученное с помощью В-плана уравнение регрессии дает одинаковую погрешность выходного параметра на одном и том же расстоянии от центра эксперимента независимо от сочетания входных факторов.

В то же время, по данному плану, в области центра плана, то есть при значениях факторов, близких к основному уровню, опыты не ставятся. Все опыты В-плана расположены на границах области варьирования факторов. Из-за этого точность регрессионной модели вблизи центра плана оказывается не слишком высокой.

Для планов второго порядка, в общем случае, когда число варьируемых факторов равно K , модель имеет следующий вид [4].

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^K B_{iX_i} + \sum_{i,j=1}^K B_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^K B_{ii} X_i^2, \quad (3)$$

где: Y - исследуемый выходной параметр;

X_i, X_j - независимые переменные факторы в условном (нормализованном) масштабе (i и j принимают от 1 до 3, но $i = j$);

K - число независимых переменных ($K = 3$);

B_0 - свободный член уравнения регрессии, характеризующий средний уровень выходного параметра;

B_i - коэффициенты регрессии, характеризующие влияние входных факторов X_i на выходной параметр Y ;

B_{ij} - коэффициенты регрессии, характеризующие эффективности парных взаимодействий входных параметров.

Уравнение содержит все слагаемые линейной модели, свободный член, квадратичные члены, являющиеся произведениями коэффициентов регрессии на квадраты факторов и члены с парными взаимодействиями, которые представляют собой коэффициенты регрессии, умноженные на произведение двух различных факторов.

Расчет коэффициентов регрессии производился по известной методике [4]. Оценка значимости коэффициентов регрессии осуществлялась при помощи критерия Стьюдента. Проверка адекватности математической модели соответствующему технологическому процессу проводилась по критерию Фишера.

Таким образом, выбранные планы экспериментальных исследований позволили, на наш взгляд, получить математическое описание исследуемого процесса, выявили не только влияние отдельных факторов на некоторые выходные параметры, но и исследовали влияние всей совокупности входных факторов на выходные величины.

Статистическая обработка результатов эксперимента осуществлялась в соответствии с теорией математической статистики [5].

Среднее значение параметров вычисляется по формуле.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (4)$$

где: y_i – единичное значение параметра;

n – число измерений выборки.

Дисперсия единичных значений

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2 \right), \quad (5)$$

где $n-1=f$ – число степеней свободы выборки.

Размер вариации характеризуется средним квадратичным отклонением единичных значений.

$$S = \sqrt{s^2}. \quad (6)$$

Коэффициент вариации.

$$v = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Средняя квадратичная ошибка среднего значения.

$$S_{\bar{y}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (8)$$

Показатель точности среднего значения.

$$\xi = \frac{S_{\bar{y}}}{\bar{y}} 100\% = \frac{S}{\bar{y}\sqrt{n}} 100\%. \quad (9)$$

Ошибка среднего квадратичного отклонения.

$$S_s = \frac{S}{\sqrt{2n}}. \quad (10)$$

Коэффициент вариации и показатель точности в известной мере характеризуют надежность результатов наблюдений.

Статистическо-математические уравнения, описывающие процесс получения огнезащитных древесноволокнистых полуфабрикатов в производстве ДВП сухим способом с огнезащитными свойствами, должны одновременно устанавливать зависимость степени помола и фракционного показателя качества массы, отношения длины волокна к его диаметру и процентного содержания различных групп волокон в общей массе, прочности, плотности, водопоглощения и набухания готовой плиты, удельного расхода электроэнергии от технологических параметров размалывающей машины.

Главным направлением исследований данной работы явилось разработка научных основ получения огнезащитных комплексов в производстве древесноволокнистых плит сухим способом с пониженной пожарной опасностью, на основе анализа механизма исследуемого процесса и полученных статистическо-математических уравнений.

Рассматриваемый процесс подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов, огнезащитных компонентов и О-ДВП_{сух} является непростым и специфическим, с многомерным входным и выходным вектором, причем размерность и того и другого довольно высокая, и ожидать в разумное время представить содержательную физическую модель такого процесса было бы слишком оптимистично, а промышленный объект требует решения задачи совершенствования и оптимизации уже сегодня. Таким образом, имеется единственная возможность количественно описать и найти оптимальные решения исследуемого процесса только с помощью данного подхода, который использован в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистова, Н.Г. Способы оценки качественных показателей древесных волокон при производстве ДВП сухим способом [Текст] / Н.Г. Чистова, В.Н. Матыгулина // Материалы и технологии XXI века: сб. ст. - Пенза, 2006. - с. 89-92.
2. Матыгулина, В.Н. Влияние конструктивных параметров размольной установки на качество древесного волокна и прочностные показатели MDF [Текст] / В.Н. Матыгулина, Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич // Химия растительного сырья. - 2007. - №2. - с. 107 - 111.
3. Пижурин, А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки [Текст]: учебник / А.А. Пижурин, А.Н. Пижурин. - М.: МГУЛ, 2004. - 375 с.
4. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. Пособие для ВУЗов / В.Е. Гмурман. - М.: Высш. шк., 2005. - 479 с.
5. Боровиков, В.П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. - М., 1998. - 605 с.
6. Антонов, А.В. Производство древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Антонов. - Красноярск, 2013. - 126 с.
7. Леонович, А.А. Свойства огнезащищенных древесных материалов [Текст] / А.А. Леонович - Деревообр. пром-сть. 1994. №4. с. 12-14.
8. ANALYTICA AB AHLSELL. MINTRAL AB, Attn. Iars - Frik Karlsson Lab, Швеция (CERTIFICATE № 87-41962) NVLAR National Institute of Standards and Technology.
9. Гидродинамические явления при размоле волокнистых полуфабрикатов в ножевых размалывающих машинах [Текст]: монография / Ю.Д. Алашкевич, Н.С. Решетова, В.П. Барановский, Л.В. Кутовая. - Красноярск: СибГТУ, 2003. - 176 с.
10. Леонович А.А. Гибкие технологии древесных плит и диверсификация потребительских свойств продукции [Текст] / А.А. Леонович // Древесные плиты: теория и практика: 12-я междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А.А. Леоновича. - СПб., 2009. - с. 16-21.
11. Леонович, А.А. Снижение пожарной опасности древесных материалов, изделий и строительных конструкций [Текст] // А.А. Леонович, А.В. Шелоумов. - СПб.: Изд-во СПбГПУ. - 2002. - 59 с.

Yakimov Vyacheslav Anatolyevich

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Russia, Zheleznogorsk
E-mail: 2546754@list.ru

Antonov Aleksandr Viktorovich

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Russia, Zheleznogorsk
E-mail: antonov012@mail.ru

Study of the fiberboard slab manufacturing process with a reduced fire hazard by the dry way of production with the application of mathematical methods

Abstract. Due to the increasing demand for fiberboard slabs with a reduced fire hazard, the requirements as to their physical-mechanical and operational characteristics (permeability, aging and durability, operational reliability, sewage pollution), which determine the continued possibilities for their use in the various industries, are also inclined to growth. This circumstance certainly requires execution of the scientific research in this direction to achieve high quality products.

There is no doubt that improvement of obtaining fiberboard slabs with a reduced fire hazard and a low cost is an crucial task at the present stage of development of the Russian economy.

At present the processes of producing fire-protected slabs on the basis of mineral components with needed physical and mechanical performances are not enough substantiated in theory and generally solved by practical means. The author scientifically substantiated solution of the following high-priority tasks: determination of compositions of the special molding materials in the processing of the fire-protected fiberboard slabs by the dry method of production; influence of the fire retardant components and qualitative characteristics of the fiberboard semi-finished products on the physical and mechanical properties of the finished slabs with a reduced fire hazard.

To evaluate properties of the fire-protected slab products, for the first time the author obtained and proposed to use the statistical-mathematical models describing quantitative relationship between the quality characteristics of semi-finished products and physical and mechanical properties of the finished fiberboard slabs, producible by the dry method, and the process-dependent and design parameters of the refiner. The foregoing allowed to substantiate scientifically the technological, economic and environmental suitability of the proposed fire-protected components and production of the fiberboard slabs by dry method with a reduced fire hazard based on them.

The adequacy of the working results is provided by using complex of the modern mutually complementary physical and statistical-mathematical methods, as well as the laboratory and industrial tests, reproduction of numerous experiments, a high convergence of the calculated and experimental results, consistency of approaches to the process of preparing wood-fiber materials with general scientific provisions and statistical processing of research results.

The work results can be used in the practical activities of the woodworking integrated plants in the process of manufacturing fiberboard slabs by the dry method and also during educational process in preparation of specialists in the educational institutions of MES of Russia.

Keywords: fiberboard slabs; experimental research; experiment; mathematical models; physical-mechanical parameters; reduced fire hazard; processing behavior; fire retardant properties; statistical-mathematical equations

REFERENCES

1. Chistova, N.G. Sposoby otsenki kachestvennykh pokazateley drevesnykh volokon pri proizvodstve DVP sukhim sposobom [Tekst] / N.G. Chistova, V.N. Matyugulina // *Materialy i tekhnologii XXI veka: sb. st. - Penza, 2006. - s. 89-92.*
2. Matyugulina, V.N. Vliyanie konstruktivnykh parametrov razmol'noy ustanovki na kachestvo drevesnogo volokna i prochnostnye pokazateli MDF [Tekst] / V.N. Matyugulina, N.G. Chistova, Yu.D. Alashkevich // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya. - 2007. - №2. - s. 107 - 111.*
3. Pizhurin, A.A. Modelirovanie i optimizatsiya protsessov derevoobrabotki [Tekst]: uchebnik / A.A. Pizhurin, A.N. Pizhurin. - M.: MGUL, 2004. - 375 s.
4. Gmurman, V.E. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Tekst]: ucheb. Posobie dlya VUZov / V.E. Gmurman. - M.: Vyssh. shk., 2005. - 479 s.
5. Borovikov, V.P. STATISTICA. Statisticheskiy analiz i obrabotka dannykh v srede Windows [Tekst] / V.P. Borovikov, I.P. Borovikov. - M., 1998. - 605 s.
6. Antonov, A.V. Proizvodstvo drevesnovoloknistykh plit s ponizhennoy pozharnoy opasnost'yu [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk / A.V. Antonov. - Krasnoyarsk, 2013. - 126 s.
7. Leonovich, A.A. Svoystva ognezashchishchennykh drevesnykh materialov [Tekst] / A.A. Leonovich - *Derevoobr. prom-st'. 1994. №4. s. 12-14.*
8. ANALYTICA AB AHLSELL. MINTRAL AB, Attn. Iars - Frik Karlsson Lab, Shvetsiya (CERTIFICATE № 87-41962) NVLAR National Institute of Standards and technology.
9. Gidrodinamicheskie yavleniya pri razmole voloknistykh polufabrikatov v nozhevykh razmalyvayushchikh mashinakh [Tekst]: monografiya / Yu.D. Alashkevich, N.S. Reshetova, V.P. Baranovskiy, L.V. Kutovaya. - Krasnoyarsk: SibGTU, 2003. - 176 s.
10. Leonovich A.A. Gibkie tekhnologii drevesnykh plit i diversifikatsiya potrebitel'skikh svoystv produktsii [Tekst] / A.A. Leonovich // *Drevesnye plity: teoriya i praktika: 12-ya mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / pod red. A.A. Leonovicha. - SPb., 2009. - s. 16-21.*
11. Leonovich, A.A. Snizhenie pozharnoy opasnosti drevesnykh materialov, izdeliy i stroitel'nykh konstruksiy [Tekst] // A.A. Leonovich, A.V. Sheloumov. - SPb.: Izd-vo SPbGPU. - 2002. - 59 s.