

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

Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-4.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/42TVN417.pdf>

Статья опубликована 22.08.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Якимов В.А., Антонов А.В. Поиск оптимальных решений по совершенствованию физико-механических свойств специальных древесно-волоконистых плит с пониженной пожарной опасностью сухим способом производства // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017)
<http://naukovedenie.ru/PDF/42TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 676.1.054.1

Якимов Вячеслав Анатольевич

ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Железногорск¹
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева»
Научно-технический центр г. Красноярск, Россия, Красноярск
Заместитель начальника отдела
E-mail: 2546754@list.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=817578

Антонов Александр Викторович

ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Железногорск
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева»
Научно-технический центр г. Красноярск, Россия, Красноярск
Начальник отдела прикладных исследований и инновационных технологий
Кандидат технических наук
E-mail: antonov012@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=817480

**Поиск оптимальных решений
по совершенствованию физико-механических свойств
специальных древесно-волоконистых плит с пониженной
пожарной опасностью сухим способом производства**

Аннотация. В статье авторами впервые представлены результаты исследований физико-механических свойств древесноволокнистых плит сухим способом производства с использованием в пресс-массе вермикулитового концентрата и вспученного вермикулита.

В работе представлено решение следующих задач:

- определение влияния огнезащитных компонентов на физико-механические свойства готовых плит с пониженной пожарной опасностью;
- выявление основных технологических и конструктивных параметров размалывающих установок наиболее влияющие на основные показатели древесного волокна и процесс подготовки огнезащищенных древесноволокнистых полуфабрикатов в производстве ДВП специального назначения с учетом использования огнезащитного компонента.

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

На основании проведенных исследований авторами доказана целесообразность применения вермикулита в производстве древесноволокнистых плит с целью уменьшения пожарной опасности, получения экономии волокна, при этом уменьшается плотность плит, улучшается прочность при статическом изгибе, уменьшается себестоимость плит.

Исследования осуществлялись на промышленных установках завода ДВП ЗАО «Новоенисейский ЛХК», а также на экспериментальных и полупромышленных установках лаборатории СибГУ.

Представленные в данной статье результаты исследования по совершенствованию физико-механических свойств специальных древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью затронуты в более ранних исследованиях профессора Н. Г. Чистовой (2000- 2010г.), и к.т.н А. В. Антоновым (2010-2013), результаты которых в обобщенном виде были представлены в диссертационных исследованиях [1, 10].

Ключевые слова: древесноволокнистые плиты; вермикулитовый концентрат; вермикулит вспученный; эксперимент; физико-механические параметры; пониженная пожарная опасность; огнезащитные свойства; прочность; плотность; размол; исследования

Направленность лесного комплекса на глубокую переработку древесины, на производство продукции высокой добавочной стоимости создает экономические, социальные и экологические основы развития не истощительного лесопользования и устойчивого управления лесами, так как получение высоких доходов от лесопереработки обеспечивает указанные условия лесопользования и развития лесного хозяйства.

Производство плитной продукции, полученной на основе древесных волокон, особенно из отходов древесины, является весьма доходным.

Практически любые строительные или ремонтные работы, особенно если дело касается индивидуального дома, имеющие две основные сферы применения – отделку и теплоизоляцию, не обходятся без плитных материалов [1].

Применение современных технологий даже во внешне консервативных областях производства часто оказывается чревато мощным всплеском потребительского интереса. Так случилось с древесными плитами из крупноразмерной ориентированной стружки (OSB), «продвинутым» вариантом древесно-стружечной плиты. То же происходит и с получением древесноволокнистых плит сухим способом производства (ДВП_{сух}).

В статье автором впервые приведены результаты исследований физико-механических свойств древесноволокнистых плит сухим способом производства с использованием в пресс-массе вермикулитового концентрата и вспученного вермикулита. На основании проведенных исследований авторами доказана целесообразность применения вермикулита в производстве древесноволокнистых плит с целью уменьшения пожарной опасности, получения экономии волокна, при этом уменьшается плотность плит, улучшается прочность при статическом изгибе, уменьшается себестоимость плит.

Представленные в данной статье результаты исследования по совершенствованию физико-механических свойств специальных древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью затронуты в более ранних исследованиях профессора Н. Г. Чистовой (2000- 2010г.), и к.т.н А. В. Антоновым (2010-2013), результаты которых в обобщенном виде были представлены в диссертационных исследованиях [1, 10].

На основании анализа литературных источников [6, 7], а также серии предварительных экспериментов, авторами были выявлены основные технологические параметры

размалывающей машины, наиболее влияющие на основные показатели древесного волокна, а также физико-механические свойства готовой плиты с учетом использования огнезащитного компонента [9].

При проведении эксперимента, в ходе реализации предварительных исследований определялось влияние массовой доли вермикулита различного фракционного состава в огнезащитной композиции на параметры пожарной опасности готовых плит.

В ходе реализации однофакторного эксперимента оценивалось влияние видов антипирена, их массовой доли в составе огнезащитных пресс-масс и качественных характеристик на параметры пожарной опасности готовой продукции.

В ходе реализации многофакторного эксперимента установлено влияние и найдены закономерности технологических и конструктивных параметров процесса подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов и количественного соотношения в них вермикулита на свойства готовых древесноволокнистых плит сухим способом производства с пониженной пожарной опасностью [2].

В ходе реализации двухфакторного эксперимента установлена зависимость физико-механических свойств ДВПсух от степени помола массы и массовой доли вспученного вермикулита.

В ходе реализации трехфакторного эксперимента установлены зависимости физико-механических свойств древесноволокнистых плит сухим способом производства с пониженной пожарной опасностью от массовой доли вермикулита к а.с.в. в плите, фракционного показателя качества древесного волокна, фракционного показателя вермикулитового концентрата и вспученного вермикулита, технологических и конструктивных факторов рафинера: износа сегментов (отношение ширины ячейки ножа к его высоте), зазора между размалывающими дисками и частоты вращения выносного шнека.

Таким образом, программа экспериментальных исследований настоящей работы состояла из следующих этапов:

- планирование и реализация предварительных исследований:

В ходе реализации предварительных исследований определялось влияние массовой доли вермикулита, различного фракционного состава в огнезащитной композиции на параметры пожарной опасности готовых древесноволокнистых плит и физико-механические характеристики ДВПсух [3].

$$\Delta m, \tau, \sigma_{изз}, A = f(Mrv; Frv); \quad (1)$$

- планирование и реализация однофакторных исследований и получение регрессионной зависимости в виде

$$\Delta m, \tau, = f(M_{a1}; M_{a2}; M_{ув}; Mrv; Mrvn); \quad (2)$$

- планирование и реализация двухфакторного эксперимента и получение регрессионной зависимости в виде

$$\sigma_{изз}, P, A = f(Mrv; ПВ); \quad (3)$$

- планирование и реализация первого этапа трехфакторного эксперимента

$$\sigma_{изз}, P, A = f(Mrvn; Fr; Frvn); \quad (4)$$

- подготовка и проведение второго этапа трехфакторного эксперимента

$$\sigma_{изз}, P, A = f(Mrv; Fr; Frv); \quad (5)$$

- планирование и реализация третьего этапа трехфакторного эксперимента и получение регрессионной зависимости в виде

$$ПВ, Fr, \sigma_{изг}, P, A, E = f(L/h; z; n). \quad (6)$$

Для выполнения анализа определения предельной ошибки расчетов и интерпретации расчетных зависимостей, устанавливающих количественные взаимосвязи качественных характеристик древесноволокнистого полуфабриката и древесноволокнистой плиты от изменения технологических режимов процесса размола, были получены уравнения в нормализованных значениях факторов [3].

Таким образом, по полученным уравнениям, с нормализованными обозначениями факторов выполнен всесторонний регрессионный анализ, затем выполнен перерасчет коэффициентов моделей с натуральными обозначениями исследуемых в работе факторов с целью установления количественных и качественных закономерностей.

Приведем результаты предварительного и заключительной части эксперимента.

Предварительный эксперимент осуществлялся с целью выявления факторов в той или иной степени влияющих на процесс получения огнезащитных пресс-масс и получение древесноволокнистых плит сухим способом с пониженной пожарной опасностью. При проведении предварительного эксперимента устанавливалось влияние массовой доли вермикулита различного фракционного состава в огнезащитной композиции на параметры пожарной опасности готовых плит и физико-механические характеристики древесноволокнистых плит сухим способом производства.

На рисунках 1-3 представлены результаты предварительных исследований.

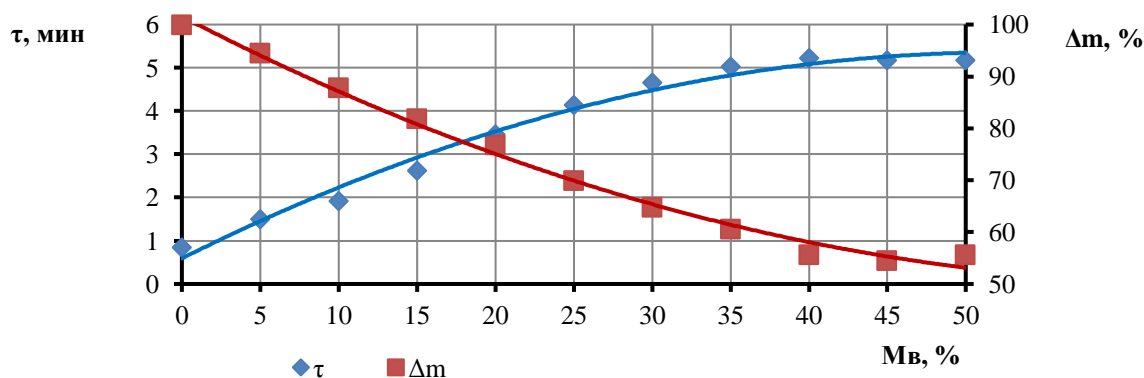


Рисунок 1. Зависимости параметров пожарной опасности ДВП от массовой доли вермикулита в древесноволокнистой композиции (составлено автором)

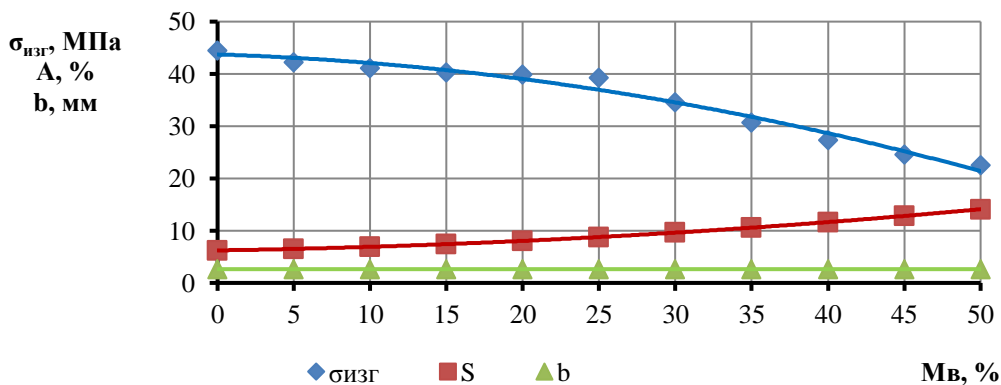


Рисунок 2. Зависимости физико-механических показателей ДВП от массовой доли вермикулита в древесноволокнистой композиции (составлено автором)

Как видно из представленных графиков, увеличение значений массовой доли вермикулита до 30 % ($\omega_v = 30\%$) приводит к ухудшению физико-механических показателей ДВП до значений, недопустимых ГОСТ4598-86 – прочность при изгибе составляет $\sigma_{изг} = 34,6$ МПа (нижняя допустимая граница значений $\sigma_{изг} = 38$ МПа). Однако при значении массовой доли вермикулита ω_v до 25 % физико-механические показатели ДВП соответствуют значениям, допускаемым ГОСТ4598-86, а параметры пожарной опасности принимают такие значения, что согласно ГОСТ 12.1.044-89 плиты можно будет отнести к трудновоспламеняемым.

Таким образом, для проведения однофакторного эксперимента по определению зависимости потери массы образца Δm и времени достижения максимальной температуры газообразных продуктов горения τ , а также прочности $\sigma_{изг}$, водопоглощения за 24 часа S и толщины древесноволокнистых плит b от фракционного состава вермикулита Fr_v значение величины массовой доли минерала принимаем $\omega_v = 20\%$.

На рисунке 3 представлен график зависимости потери массы образца и времени достижения максимальной температуры газообразных продуктов горения от фракционного состава вермикулита.

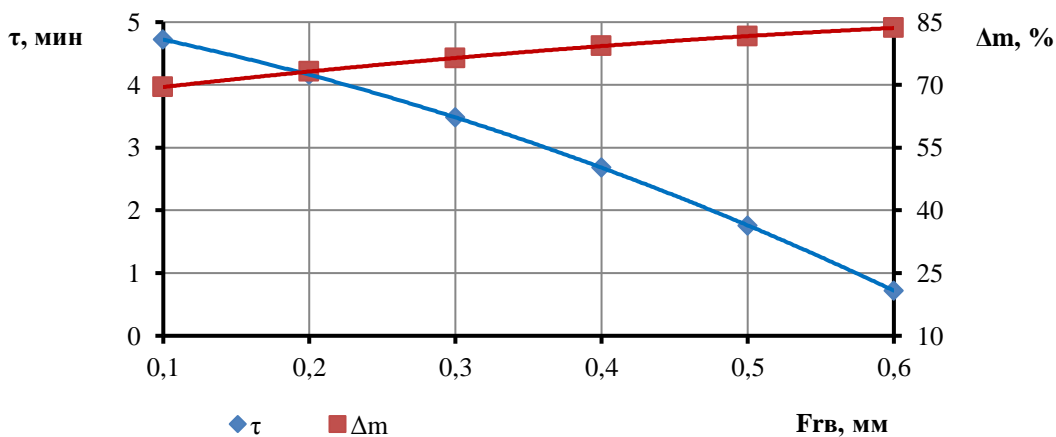


Рисунок 3. Зависимости параметров пожарной опасности ДВП от фракционного состава вермикулита (составлено автором)

На рисунке 4 представлен график зависимости прочности плиты на статический изгиб, водопоглощения за 24 часа и толщины древесноволокнистых плит от фракционного состава вермикулита.

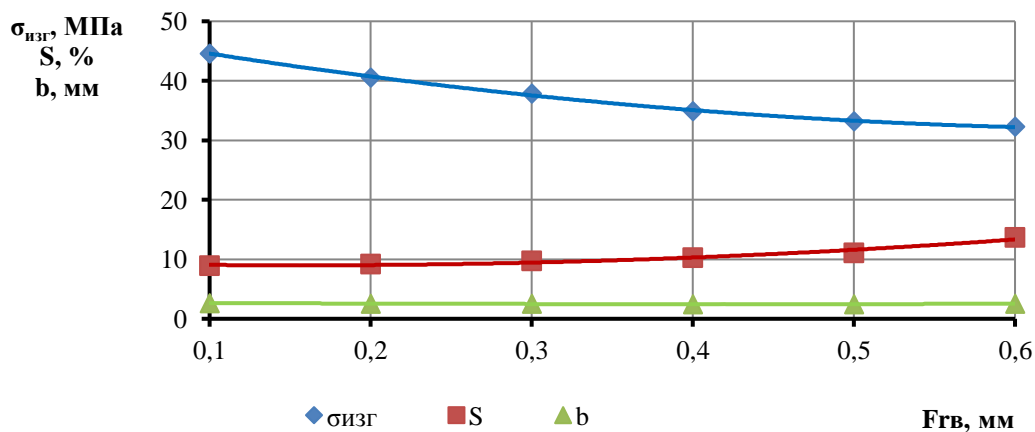


Рисунок 4. Зависимости физико-механических показателей ДВП от фракционного состава вермикулита (составлено автором)

Анализируя представленные графические зависимости на рисунках 3 и 4 можно отметить, что увеличение фракционного состава вермикулита крайне отрицательно сказывается на значениях величины τ (времени достижения максимальной температуры газообразных продуктов горения), при одном и том же значении массовой доли $\omega_6 = 25\%$ увеличение размеров частиц вводимого минерала на 0,1 мм снижает величину τ на 13 %, а увеличение размеров от 0,1 мм до 0,6 мм ухудшает значения времени достижения максимальной температуры газообразных продуктов горения почти в 4 раза. Величина потери массы образца также ухудшается при увеличении размеров частиц вермикулита. При этом значения прочности плиты и величина водопоглощения с увеличением размеров зерен минерала также ухудшаются.

На наш взгляд, это объясняется неравномерным распределением сравнительно крупных частиц минерала в объеме плиты. Крупные фракции минерала попадают между армирующими структуру плиты волокнами, не образуя с ними адгезионных связей [5], скопление частиц минерала между слоями ДВП снижает ее прочность. Неравномерно распределенные в массе плиты частицы минерала также не могут обеспечить защиту волокон от воздействия пламени.

В то же время, установлено, что мелкие частицы минерала – с размером от 0,1 мм и менее – достаточно равномерно распределяются по всему объему древесноволокнистой плиты, в процессе прессования как бы вдавливаются в волокно, одновременно не изменяя структуру готовых плит [10]. Именно это, на наш взгляд, объясняет удовлетворительные значения прочности и водопоглощения с одновременным снижением пожарной опасности готовых плит.

На основании проведенного предварительного эксперимента, были выявлены основные технологические и конструктивные параметры размалывающей машины, оказывающие наибольшее влияние на процесс размола, качественные показатели древесного волокна, а также физико-механические характеристики древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью. Показатели степени износа размалывающих сегментов, изменение величины зазора между размалывающими дисками и частота вращения выносного шнека, как показали исследования, оказывают значительное влияние на физико-механические свойства древесноволокнистых плит сухим способом производства с пониженной пожарной опасностью [9].

Эксперимент проводился с использованием компонентного состава пресс-массы установленного в результате реализации четвертого этапа эксперимента.

В ходе реализации эксперимента установлены зависимости физико-механических свойств древесноволокнистых плит сухим способом производства с пониженной пожарной опасностью от технологических и конструктивных параметров рафинера [9].

На основании исследований была выявлена взаимосвязь факторов, имеющих место при получении древесноволокнистых полуфабрикатов с качественными и морфологическими характеристиками, обеспечивающими процессы формирования и связеобразования в ковре и готовой продукции [7].

По результатам многофакторного эксперимента, реализованного также по В-плану второго порядка, были получены математические модели, отражающие зависимости физико-механических свойств твердых древесноволокнистых плит от технологических и конструктивных параметров размалывающей установки [2].

Ниже приведены регрессионные модели с натуральными обозначениями факторов:

- *плотности твердой О-ДВП_{сух}*

$$P = 727,4815 + 55,38928 \cdot L/h + 418,7679 \cdot z + 2,455967 \cdot n - 17,4977 \cdot L/h^2 - 703,917 \cdot z^2 - 0,053431 \cdot n^2 + 54,2134 \cdot L/h \cdot z - 0,488435 \cdot L/h \cdot n + 0,720833 \cdot z \cdot n; \quad (7)$$

- предела прочности О-ДВП_{сух} при статическом изгибе

$$\sigma_{изг} = 26,93535 + 20,17160 \cdot L/h + 18,85234 \cdot z - 0,464618 \cdot n - 2,98061 \cdot L/h^2 - 31,6667 \cdot z^2 + 0,005375 \cdot n^2 - 7,32087 \cdot L/h \cdot z - 0,140187 \cdot L/h \cdot n + 0,933333 \cdot z \cdot n; \quad (8)$$

- водопоглощения О-ДВП_{сух} за 24 часа

$$A = 64,68673 - 9,25214 \cdot L/h - 50,8448 \cdot z - 1,55124 \cdot n + 2,342999 \cdot L/h^2 + 53,889 \cdot z^2 + 0,025375 \cdot n^2 + 3,380062 \cdot L/h \cdot z - 0,057477 \cdot L/h \cdot n + 0,18833 \cdot z \cdot n; \quad (9)$$

Проверка данных уравнений по критерию Фишера показала, что они адекватны процессу и могут быть применены на практике для прогнозирования геометрических и физико-механических характеристик твердой древесноволокнистой плиты [2].

На рисунках 5-7 представлены графические зависимости, построенные по полученным моделям.

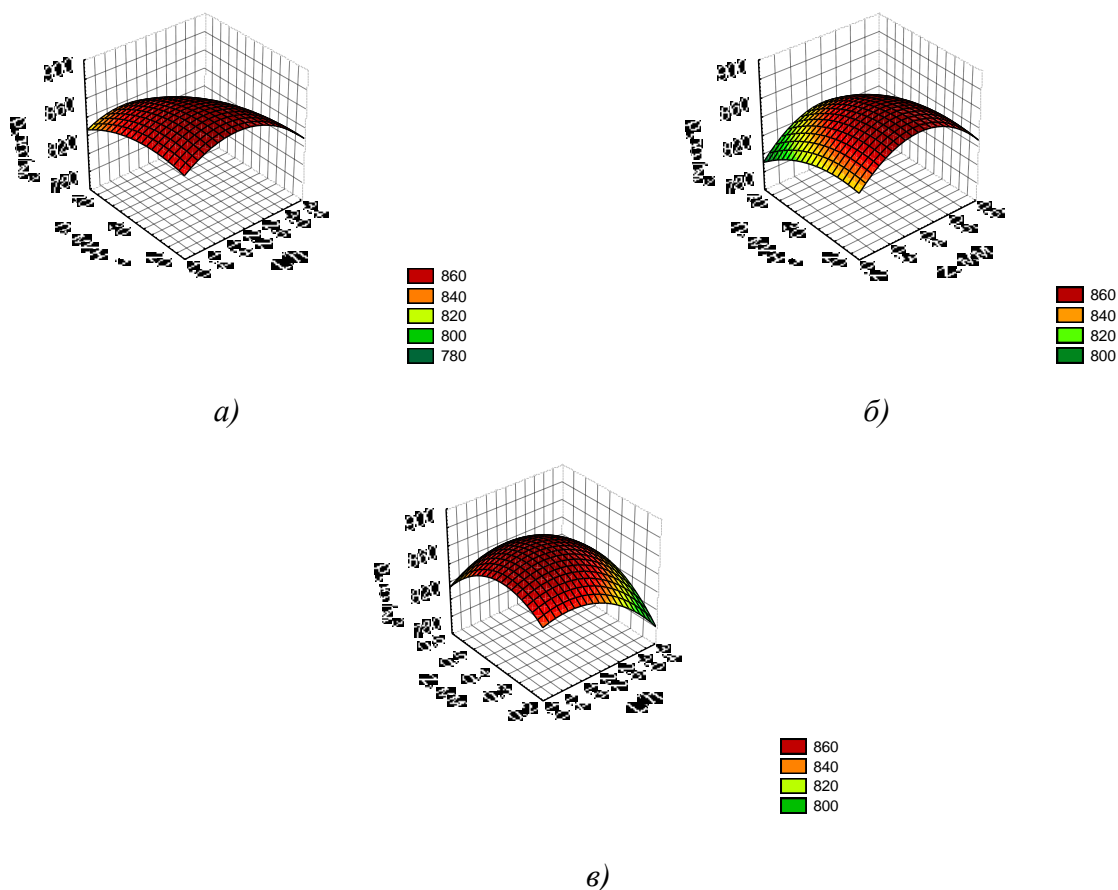


Рисунок 5. Зависимость плотности О-ДВП_{сух} от величины износа размалывающих сегментов, зазора между ними и частоты вращения выносного шнека (составлено автором)

Считается, что плотность – это технологический параметр, характеризующий материалоемкость продукции и технико-экономический уровень производства, но не потребительские свойства плит [4]. Тем не менее, от плотности плиты зависят все остальные

физико-механические показатели плит. Поэтому плотность является одной из важнейших характеристик древесноволокнистой плиты.

Таким образом, проанализировав данные графические зависимости (рис. 5), можно сделать вывод, что плиты с плотностью более 850 кг/м^3 можно получить при $z = 0,3-0,45 \text{ мм}$; $n = 20-26 \text{ мин}^{-1}$ и $L/h = 1,2-2,2$; плиты с плотностью не менее 810 кг/м^3 можно получить при $z = 0,2-0,3$ и $0,45-0,55 \text{ мм}$; $n = 20-38 \text{ мин}^{-1}$; $L/h = 1,0-1,2$ и от $2,4-2,8$.

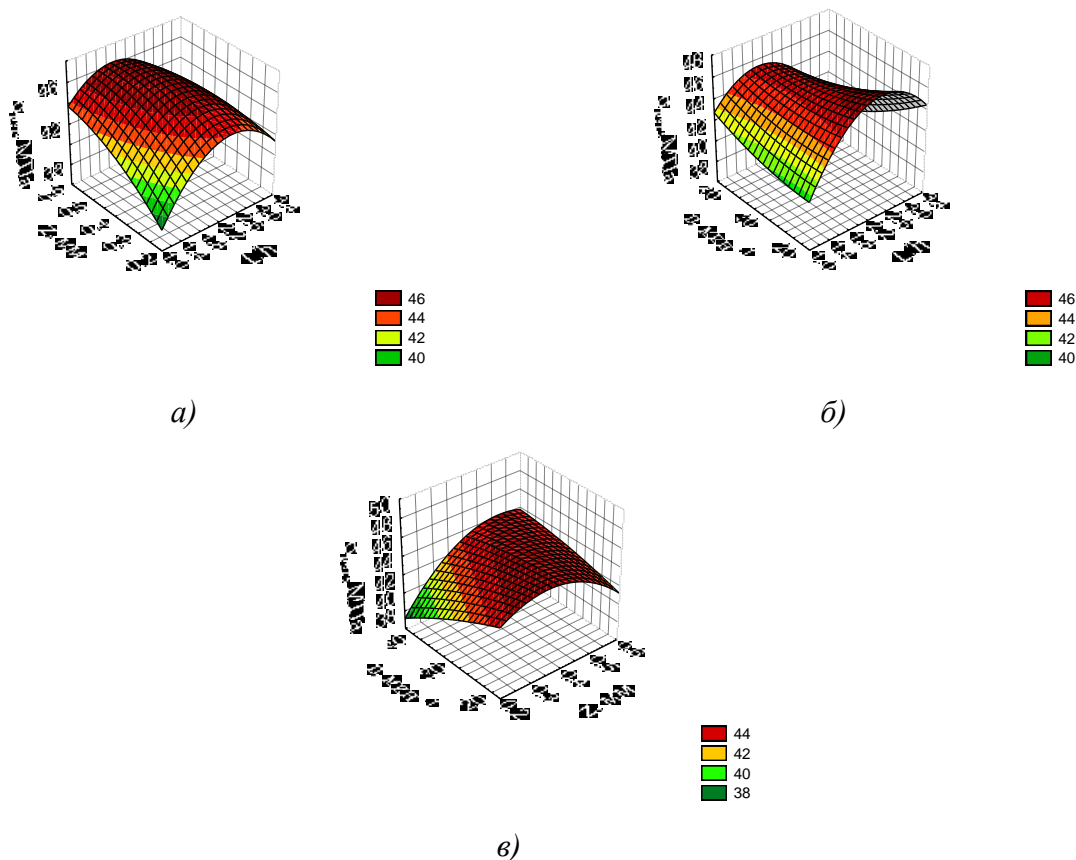


Рисунок 6. Зависимость прочности О-ДВП_{сух} от величины износа размалывающих сегментов, зазора между ними и частоты вращения выносного шнека (составлено автором)

Прочность характеризует способность твердых тел противостоять разрушению и сохранять целостность под действием внешних сил. Прочность является одним из самых главных свойств древесноплитных материалов. Прочность – свойство экстремальное; разрушение происходит в наиболее слабом месте образца, которым являются дефекты структуры и внутренние напряжения, имеющие переменные значения по площади плиты [4].

Анализ выше представленных графиков (рис. 6) показывает, что полученные плиты имеют довольно высокую прочность при статическом изгибе, и что заданную прочность плиты можно получить практически во всем диапазоне изменения исследуемых факторов. Прочность при статическом изгибе менее 40 МПа будут иметь О-ДВП_{сух}, полученные при установлении следующих параметров процесса размола: при износе сегментов от 1,0 до 1,4 и от 2,8 до 3,4; $n > 38 \text{ мин}^{-1}$ и $z = 0,25-0,5 \text{ мм}$. В остальных случаях прочность при статическом изгибе плиты будет превышать 40 МПа.

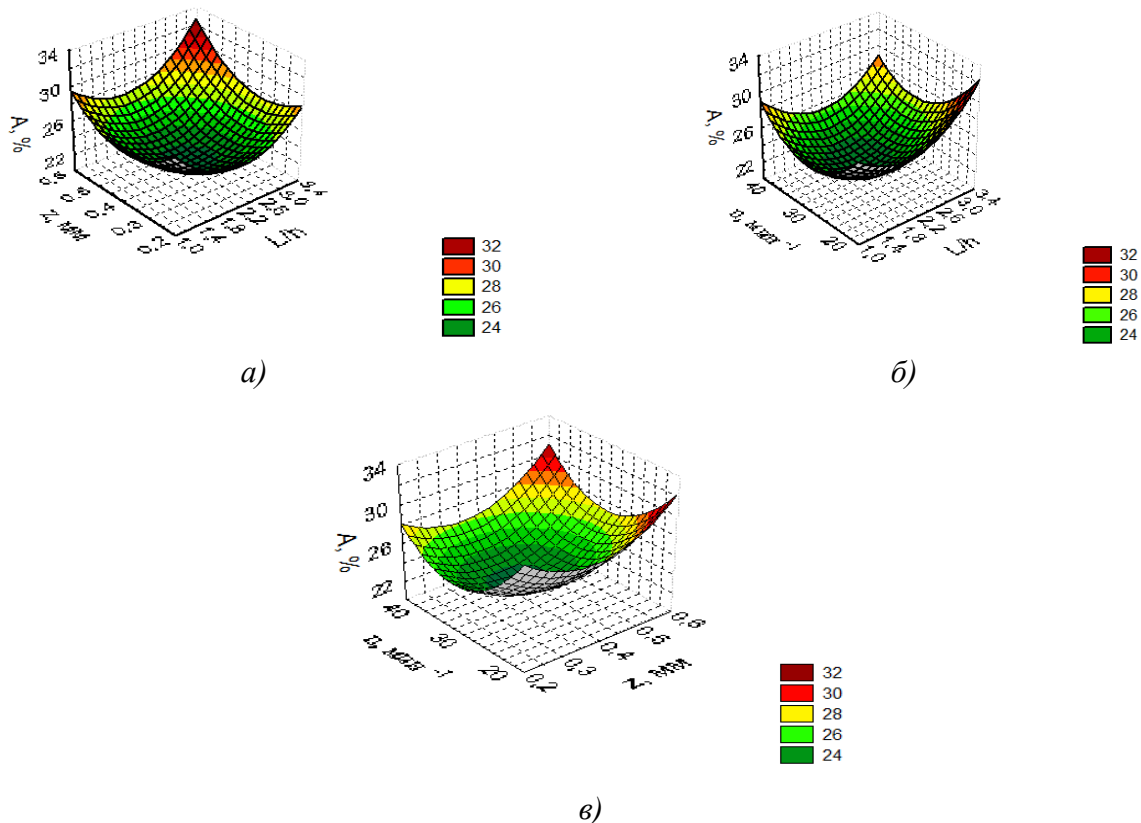


Рисунок 7. Зависимость водопоглощения $O\text{-ДВП}_{\text{сух}}$ от величины износа размалывающих сегментов, зазора между ними и частоты вращения выносного шнека (составлено автором)

Кроме прочностных и деформационных характеристик неотъемлемым показателем качества таких плит является их водостойкость. Испытания на водопоглощение включены в нормы оценки качества плитной продукции [4].

При минимальном износе размалывающих сегментов, как видно из графика, представленного на рисунке 7, а, $L/h = 1,15$, что соответствует 10 %-му износу с увеличением зазора между размалывающими дисками от 0,2 до 0,35 мм, наблюдается некоторое снижение водопоглощения твердой плиты от значения 29 % до 26 %, а затем снова начинает повышаться до 30 % при $z = 0,55$ мм, тем самым ухудшается показатель водопоглощения.

С продолжительностью работы сегментов при тех же значениях зазора водопоглощение плит повышается, в среднем, на 2-3 %. Максимальное расчетное теоретическое значение водопоглощения плиты составляет 32 %. Плиты, для которых показатель водопоглощения не превышает 30 %, можно получить при установлении следующих технологических параметров размольной установки: $z = 0,2\text{-}0,5$ мм и $n = 24\text{-}36$ мин⁻¹, износ размалывающих сегментов должен находиться в пределах $L/h = 1,0\text{-}3,0$.

Повышение показателя водопоглощения при увеличении зазора между размалывающими дисками и при снижении высоты ножей размалывающей гарнитуры можно объяснить следующим образом. При увеличении расстояния между сегментами и повышении износа вырабатывается масса более грубого помола, о чем свидетельствуют исследования качественных характеристик древесного волокна, результаты которого представлены выше.

Таким образом, чем ниже степень помола древесного волокна, тем ниже плотность изготовленной из него плиты, соответственно, легко разрушаются межволоконные связи и плита хорошо впитывает воду. Высокая плотность плит означает наличие прочных межволоконных связей, ограничивающих проникновение влаги.

Графические интерпретации полученных в результате исследований статистическо-математических зависимостей физико-механических свойств древесноволокнистых плит с пониженной пожароопасностью от каждого из исследуемых факторов, позволяют достаточно точно выполнить их анализ, описать и установить взаимосвязи исследуемых показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистова Н. Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит [Текст]: дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 2010. 415 с.
2. Якимов В. А., Антонов А. В. Исследование процесса получения древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью сухим способом производства с применением математических методов [Текст] // Интернет-журнал «Науковедение», 2016. – № 2 (8).
3. Пижурин, А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки [Текст]: учебник / А. А. Пижурин, А. Н. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2004. – 375 с.
4. 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.
5. Чистова Н. Г., Якимов В. А., Алашкевич Ю. Д. Совершенствование процесса получения древесноволокнистых плит сухим способом [Текст] // Химия растительного сырья. – 2016. – № 3. – с. 119 – 124.
6. Зырянов, М. А. Получение полуфабрикатов в одну ступень размола для производства древесноволокнистых плит мокрым способом: дис. канд. техн. наук. – Красноярск, 2012. 167 с.
7. Чистова, Н. Г. Размол древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве ДВП: дис. канд. техн. наук. – Красноярск, 2000. 170 с.
8. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. Пособие для ВУЗов / В. Е. Гмурман. – М.: Высш.шк., 2005. – 479 с.
9. Якимов В. А., Антонов А. В. Совершенствование качества подготовки древесноволокнистых огнезащитных полуфабрикатов в производстве древесноволокнистых плит, изготавливаемых сухим способом на примере применения размольной гарнитуры (рафинер PR-42) [Текст] // Научно-аналитический журнал Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2016. – № 3. – с. 24-30.
10. Антонов, А. В. Производство древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. В. Антонов. – Красноярск, 2013. – 126 с.

Yakimov Vyacheslav Anatolyevich

Siberian fire and rescue academy EMERCOM, Russia, Zheleznogorsk
Reshetnev Siberian state university of science and technology, Russia, Krasnoyarsk
E-mail: 2546754@list.ru

Antonov Aleksandr Viktorovich

Siberian fire and rescue academy EMERCOM, Russia, Zheleznogorsk
Reshetnev Siberian state university of science and technology, Russia, Krasnoyarsk
E-mail: antonov012@mail.ru

Optimization for improving physical and mechanical properties of the special wood-fiber boards with a fire hazard reduced by a dry process

Abstract. In their article the authors for the first time presented the research results of the physical and mechanical properties of the wood-fiber boards with the help of a dry process using a molding material of vermiculite concentrate and expanded vermiculite.

The article presents the solution of the following problems:

- Determination of the influence of fire-proof components on the physical and mechanical properties of finished boards with a reduced fire hazard;
- Identification of the main technological and design parameters of the grinding plants that exert maximum influence on the main performances of wood fiber and the process of preparing fire-proof wood fiber semi-finished products in the production of the special purpose fiber-boards taking into account the use of the fire-proof components.

Based on the conducted studies the authors proved the advisability of the use of vermiculite in the production of wood-fiber boards to reduce a fire danger and obtain fiber savings, herewith the density of boards is reduced, cross-breaking strength is improved and the cost of boards is decreased.

The research was carried out at the industrial plants of the Joint-Stock Company "Novoyeniseisk LHK (Timber and Chemical Complex)" Fiberboard Plant, as well as in the experimental and semi-industrial plants of the SibGU laboratory.

The research results on improving physical and mechanical properties of the special wood-fiber boards with a reduced fire hazard, which are presented in this article, were touched upon in the earlier studies of Professor N. G. Chistova (2000-2010) and Ph.D. in Technical Sciences A. V. Antonov (2010-2013), whose results were summarized in the dissertational studies [1, 10].

Keywords: wood-fiber boards; vermiculite concentrate; expanded vermiculite; experiment; physical and mechanical parameters; reduced fire hazard; fireproof properties; strength; density; grinding; research