

## Повышение эффективности использования отходов деревоперерабатывающей промышленности в производстве плитной продукции

М.А. Зырянов<sup>1</sup>, Н.В. Аксёнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лесосибирский филиал "Сибирский государственный аэрокосмический университет  
имени академика М.Ф. Решетнева"

<sup>2</sup>Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика  
М.Ф. Решетнева

**Аннотация:** в работе представлен анализ объемов образования отходов деревоперерабатывающих производств в виде опилок и рассмотрены современные направления их использования. Обоснована рациональность производства древесноволокнистых плит с использованием полуфабриката полученного из опилок. Выполнено математическое описание процесса производства древесноволокнистой плиты с добавлением полуфабриката полученного из опилок в общую массу, что позволило установить количественную взаимосвязь исследуемых технологических параметров с физико-механическими показателями готовой плиты.

**Ключевые слова:** опилки, древесные частицы, древесноволокнистая плита, прочность, плотность, водопоглощение, функциональная зависимость, регрессия, деревопереработка, промышленные отходы.

При современном дефиците древесного сырья и постоянного повышения его стоимости большую значимость в экономике лесоперерабатывающих предприятий приобретает вопрос комплексного использования биомассы дерева. Несмотря на это, часть потенциального сырья в виде опилок, неизбежно образующихся при распиловки лесоматериала и составляющего до 16% от объема распиливаемого сырья не находит своего применения в полном объеме. На сегодняшний день лишь малая часть образующихся отходов в виде опилок нашли свое применение при производстве топливных гранул и брикетов, но большая часть по-прежнему утилизируется путями сжигания или захоронения на полигонах отходов. Это обусловлено преобладанием древесных частиц размером менее 3 мм, которые не могут быть использованы в целлюлозно-бумажной промышленности. Использованию опилок в производстве плитных

---

материалов препятствует форма древесных частиц близкая к кубической и соответственно минимальное значение коэффициента гибкости.

По мнению современных исследователей, производство древесноволокнистых плит является одним из возможных направлений по повышению комплексного использования древесного сырья на деревоперерабатывающих предприятиях [1-7]. Так, при мокром способе производства ДВП преимущественно из сырья хвойных пород, добавление связующего вещества исключается, что значительно снижает экологическую нагрузку на окружающую среду, расширяет границы использования и стабильный спрос на такой строительный и отделочный материал.

В результате, целью настоящих исследований является обоснование возможности использования древесноволокнистого полуфабриката полученного из опилок в качестве дополнительного сырья в производстве ДВП.

Для проведения исследований была создана лабораторная мельница позволяющая получать древесноволокнистый полуфабрикат пригодного для использования в производстве древесноволокнистых плит из опилок. Роль ротора и статора в данной мельнице выполняет зубчатая пара, закрепленная на валах. После запуска электродвигателя придающего вращение ротору, опилки, поданные через загрузочную горловину, попадают в зазор между зубьями зубчатой пары. При этом раздавливание, мятие и расщепление опилок осуществляется между зубьями роторного и статорного зубчатого колеса. По достижении требуемых геометрических размеров древесные частицы проходят через сепаратор, расположенный в нижней части мельницы.

В ходе исследований были выявлены наиболее значимые факторы процесса получения древесноволокнистой плиты с использованием полуфабриката из опилок.

---

Входные факторы:

- значение величины рабочего зазора,  $z$ ;
- концентрация древесных частиц из опилок в общем объеме массы,  $C$ .

Выходные факторы:

- предел прочности плиты при статическом изгибе,  $Pr$ ;
- плотность плиты,  $Pl$ ;
- водопоглощение плиты за 24 часа,  $S$ .

С целью изучения влияния величины рабочего зазора и концентрации древесных частиц из опилок в общем объеме массы на физико-механические показатели плиты и получения математического описания исследуемого процесса был выбран активный двухфакторный эксперимент [10].

Для проведения эксперимента была разработана программа исследований. Составлены функциональные зависимости показателей прочности при статическом изгибе, плотности и водопоглощения за 24 часа готовой плиты от величины рабочего зазора мельницы и концентрации древесных частиц из опилок в общем объеме массы представленные ниже:

$$Pr = f(z; C), \quad (1)$$

$$Pl = f(z; C), \quad (2)$$

$$S = f(z; C), \quad (3)$$

На основании литературного обзора и результатах предварительных экспериментов были выбраны уровни и интервалы варьирования значений рабочего зазора и концентрации полуфабриката из опилок в общем объеме массы, представленные в таблице 1.

Эксперимент был реализован при всех прочих равных условиях. Неконтролируемые факторы устанавливались на следующих значениях [8-9]:

1. отлив и формование древесноволокнистого ковра:
  - концентрация волокна в общем объеме массы  $c = 1,5 \%$ ;
  - влажность древесноволокнистого ковра  $W = 76 \%$ ;

- температура древесноволокнистого ковра  $t = 48^{\circ}\text{C}$ ;
- кислотность  $\text{pH} = 4,2$ .

2. режимы прессования плиты:

- фаза отжима –  $T = 190^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 90$  сек,  $P = 29$  МПа;
- фаза сушки –  $t = 5$  мин,  $P = 70$  МПа,  $T = 190^{\circ}\text{C}$ ;
- фаза закалки –  $t = 40$  сек,  $P = 24$  МПа,  $T = 190^{\circ}\text{C}$ .

Таблица № 1

Уровни и интервалы варьирования факторов исследований

Наименование фактора	Обозначения		Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	натуральные	нормализованные		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Значение величины рабочего зазора, мм	$z$	$X_1$	2	1	3	5
Концентрация древесных частиц из опилок в общем объеме массы, %	$C$	$X_2$	4	4	4	12

После обработки числового массива, полученного в ходе реализации экспериментальных исследований, в пакете программы STATISTIKA-6, получено математическо-статистическое описание процесса производства ДВП с добавлением полуфабриката из опилок в виде математических моделей представленных ниже:

$$Pr = 20,04 + 3,84 \cdot z + 2,74 \cdot C - 0,29 \cdot z^2 - 0,15 \cdot C^2 - 0,09 \cdot z \cdot C, \quad (4)$$

$$Pl = 602,83 + 114,16 \cdot z + 3,06 \cdot C - 9,92 \cdot z^2 - 0,45 \cdot C^2 + 0,74 \cdot z \cdot C, \quad (5)$$

$$S = 46,5 - 3,35 \cdot z - 3,02 \cdot C + 0,3 \cdot z^2 + 0,16 \cdot C^2 + 0,04 \cdot z \cdot C, \quad (6)$$

Значимость исследуемых факторов, их взаимодействие и влияние на исследуемый процесс показывают коэффициенты регрессии [10]. Для наглядности и проведения анализа влияния исследуемых факторов, построены графические зависимости, приведенные на рисунках 1-3.

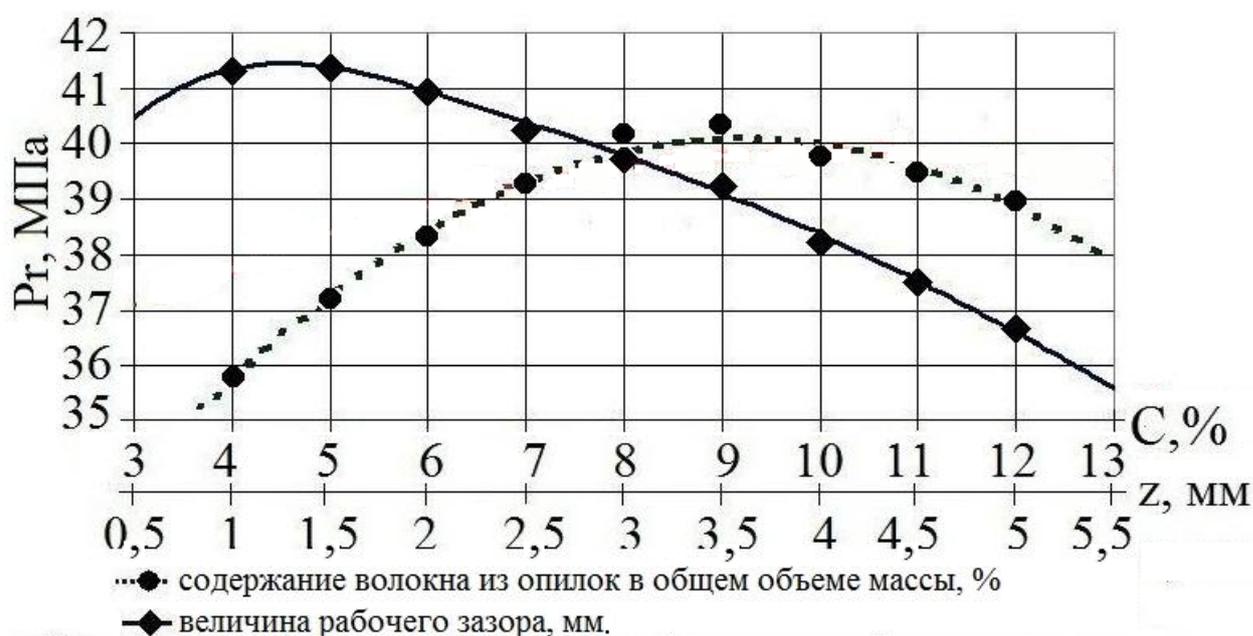


Рис. 1. – Зависимость прочности при статическом изгибе древесноволокнистой плиты от исследуемых технологических параметров

Из графической зависимости, построенного по модели (4) и представленной на рисунке 1, видно, как зависит значение показателя прочности плиты при статическом изгибе от технологических параметров исследуемого процесса. Видно, что показатель прочности плиты достигает своего максимального значения 41,1-41,5 МПа при значении величины рабочего зазора 1-1,5 мм. С дальнейшим увеличением значения зазора между зубьями ротора и статора прочность плиты снижается.

При увеличении процентного содержания полуфабриката из опилок в общем объеме массы до 9-10% значение показателя прочности плиты увеличивается и достигается 39,9-40,2 МПа. С дальнейшим увеличением содержания полуфабриката из опилок в общем объеме массы значение показателя прочности плиты при статическом изгибе имеет тенденцию к уменьшению.

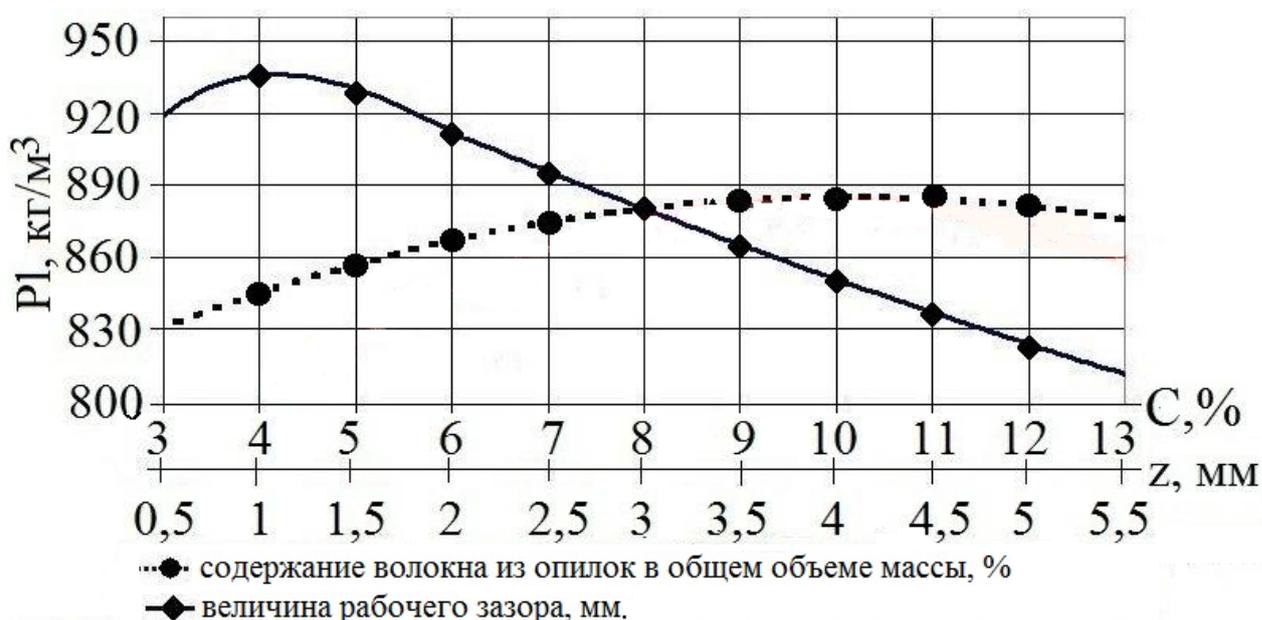


Рис. 2. – Зависимость плотности древесноволокнистой плиты от исследуемых технологических параметров

Графическая зависимость, представленная на рисунке 2 наглядно демонстрирует, как изменяется плотность ДВП с изменением значений исследуемых технологических параметров. Анализ показывает, что большее влияние на плотность плиты оказывает изменение величины зазора, чем концентрация полуфабриката из опилок, поскольку при изменении зазора плотность плиты варьируется в более широком диапазоне, что подтверждают коэффициенты, стоящие перед соответствующим фактором в математической модели (5).

С увеличением концентрации полуфабриката из опилок до 10-11% показатель плотности повышается, достигая 870-890 кг/м<sup>3</sup>. При величине рабочего зазора 1-1,25 мм показатель плотности плиты увеличивается до своего максимального значения равного 928-941 кг/м<sup>3</sup>. При дальнейшем увеличении значения величины зазора и концентрации полуфабриката из опилок, плотность плиты уменьшается.

На рисунке 3 представлена графическая зависимость, построенная по модели (6).

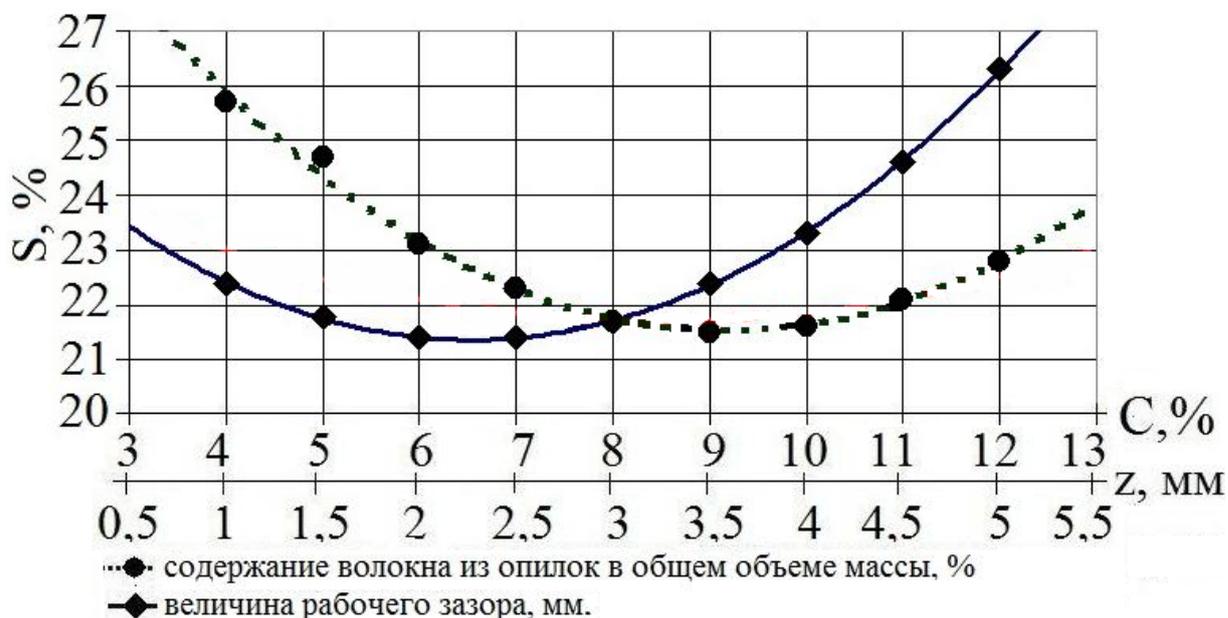


Рис. 3. – Зависимость водопоглощения древесноволокнистой плиты за 24 часа от исследуемых технологических параметров

Из графика видно, что ухудшение водопоглощения плиты за 24 часа происходит при увеличении значения концентрации полуфабриката из опилок и значения величины рабочего зазора. Значение показателя водопоглощения плиты достигает 20,1-21,4 % при содержании полуфабриката из опилок 9-10%, и величине рабочего зазора 2-2,5 мм. При дальнейшем увеличении значений исследуемых технологических параметров наблюдается ухудшение водостойкости плиты.

В ходе исследований было выполнено математическое описание процесса получения древесноволокнистых плит с использованием полуфабриката из опилок. Это позволило установить количественную взаимосвязь исследуемых технологических параметров на процесс изготовления плиты. Установлено, что отходы деревоперерабатывающих производств в виде опилок можно использовать в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом. Древесноволокнистый полуфабрикат, полученный из опилок можно использовать до 10% от общего объема массы, при условии, что он будет обработан в ножевой мельнице при величине рабочего зазора от 1 до 2 мм.

### Литература

1. Зырянов М.А. Получение древесноволокнистых полуфабрикатов при производстве ДВП мокрым способом: междунар. науч.-практ. конф. // Древесные плиты: теория и практика, 2011. С. 57-61.

2. Зырянов М.А., Дресвянкин И.А., Рубинская А.В. Экспериментально-теоретическое обоснование физико-химических превращений древесной биомассы в технологии производства древесноволокнистых плит // Инженерный вестник Дона. 2016, № 4  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3841](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3841)

3. Мохирев А.П., Аксенов Н.В., Шеверев О.В. О рациональном природопользовании и эксплуатации ресурсов в Красноярском крае // Инженерный вестник Дона, 2014. № 4-1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2569](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2569)

4. Безруких Ю.А. Медведев С.О., Алашкевич Ю.Д., Мохирев А.П. Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса // Экономика и предпринимательство, 2014. -№ 12-2. – С. 994-996.



5. Зырянов М.А., Швецов В.А., Чистова Н.Г. Переработка древесных отходов в производстве древесноволокнистых плит // Вестник Крас ГАУ. 2010. № вып. 4. С. 288 - 291.

6. Зырянов М. А., Чистова Н.Г., Лазарева Л.И. Совершенствование работы размольного участка производства древесноволокнистых плит мокрым способом // Химия растительного сырья. 2011. - №3. – С. 193-196.

7. Чистова Н. Г. Оптимизация процесса размола в производстве древесноволокнистых плит // Лесной журнал, 2011. вып. 4. С. 123-128.

8. A. Pizzi Advanced Wood Adhesives Technology. / Pizzi A. - Basel : Marcel Dekker Inc., 1994. - 289 p.

9. Der Einfluss des Feinstoffs auf die Faserstoff- und Papiereigenschaften / Alber W., Erhard K., Reinhardt B. // Wochenbl. Papierfabr. : Fachzeitschrift für die Papier-, Pappen- und Zellstoff-Industrie. 2000. № 19. ss. 1308-1312.

10 Пижурин А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки. Москва: МГУЛ, 2004. - 375 с.

### References

1. Zyrjanov M.A. mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija. Drevesnye plity: teorija i praktika. Sankt-Peterburg, 2011, pp. 57-61.

2. Zyryanov, M. A., Dresvyankin I. A., Rubinsky A. V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, № 4. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3841](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3841)

3. Mokhirev A.P., Aksenov N.V., Sheverev O.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, № 4-1. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2569](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2569)

4. Bezrukikh Yu.A. Medvedev S.O., Alashkevich Yu.D., Mokhirev A.P. Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2014. no. 12-2. pp. 994-996.

5. Zyrjanov M.A., Shvetsov V. A., Chistova N. G. Journal of KrasGAU. 2011. no. 4. pp. 288-291.

6. Zyryanov M. A., Chistova N. G., Lazareva L. I. Himija rastitel'nogo syr'ja. 2011. no 3. pp. 193-196.



7. Chistova N. G. Lesnoj zhurnal. 2011. no. 4. pp. 123-128.
8. A. Pizzi Advanced Wood Adhesives Technology. Basel: Marcel Dekker Inc., 1994. 289 p.
9. Alber W., Erhard K., Reinhardt B. Wochenbl. Papierfabr: Fachzeitschrift fur die Papier-, Pappen- und Zellstoff-Industrie. 2000. no. 19. pp. 1308-1312.
- 10 Pizhurin A. A. Modelirovanie i optimizacija processov derevoobrabotki [Modeling and optimization of the processes of woodworking]. Moskva: MGUL, 2004. 375 p.