

7. Казаков Я.В., Беляев О.С., Филиппов И.Б. К вопросу о прогнозировании механических свойств крафт-лайнера по результатам неразрушающего контроля // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2016 №1. С.68–73.

---

УДК 674.81

**ДРЕВЕСНЫЙ ПЛАСТИК БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ ЛИГНИНА  
КАК ОТХОДА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Круглов Данил Андреевич,**  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [tom-art@ya.ru](mailto:tom-art@ya.ru)

**Артёмов Артём Вячеславович,**  
канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [tom-art@yandex.ru](mailto:tom-art@yandex.ru)

**Савиновских Андрей Викторович,**  
канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [savinovskihand@gmail.com](mailto:savinovskihand@gmail.com)

**Бурындин Виктор Гаврилович,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [ygb@usfeu.ru](mailto:ygb@usfeu.ru)

***Ключевые слова:** древесный пластик, древесные отходы, лигнин, карбамид, утилизация.*

***Аннотация.** В целлюлозно-бумажном комплексе в качестве одного из видов отхода после гидролиза древесины остается невостребованным технический лигнин. Прирост данного отхода составляет порядка 400 тыс. тонн в год. Данный отход не находит полного и рационального использования. На сегодня это экологическая проблема, так как такие отвалы лигнина являются мощными источниками загрязнения окружающей среды (воды, воздуха, почвы, человеческого организма и т. д.). Поэтому проблема утилизации гидролизного лигнина, который является сырьевой базой для организации производства новых строительных материалов, экологически чистых производств промышленного и топливно-энергетического комплексов, является весьма актуальной.*

**WOOD PLASTIC WITHOUT BINDER BASED ON LIGNIN  
AS WASTE PULP AND PAPER INDUSTRY**

**Kruglov Danil Andreevich,**  
student, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [tom-art@ya.ru](mailto:tom-art@ya.ru)

**Artyemov Artyem Vyacheslavovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [tom-art@yandex.ru](mailto:tom-art@yandex.ru)

**Savinovskih Andrey Viktorovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [savinovskihand@gmail.com](mailto:savinovskihand@gmail.com)

**Burundin Victor Gavrilovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [ygb@usfeu.ru](mailto:ygb@usfeu.ru)

**Key words:** wood plastics, wood waste, lignin, lignin, urea, recycling.

**Abstract.** *In the pulp and paper complex as a type of waste after hydrolysis of wood remains unclaimed technical lignin. The increase in this waste is about 400 thousand tons per year. This waste does not find the full and rational use. Today it is an environmental problem, as such dumps of lignin are powerful sources of pollution (water, air, soil, human body, etc.). Therefore, the problem of utilization of hydrolysis lignin, which is the raw material base for the organization of production of new building materials, environmentally friendly production of industrial and fuel and energy complexes, is very urgent.*

В целлюлозно-бумажных производствах образуется большое количество отходов, таких как опил, лигнин, активный ил и др., которые не находят полного и рационального использования. Значительные ресурсы отходов целлюлозно-бумажного комплекса остаются невостребованными, часто вывозятся на полигоны отходов и/или подвергаются сжиганию, тем самым увеличивая нагрузку на окружающую среду.

Согласно указу президента РФ от 31.12.2015 N 683 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации" экологическая безопасность страны включена в систему обеспечения национальной безопасности, направленная, прежде всего, на существенное улучшение экологической ситуации в стране, на совершенствование системы экологического нормирования и введения мер экономического стимулирования хозяйствующих субъектов для внедрения наилучших технологий [1-3].

Как результат, потребуется внедрение способов производства, которые при производстве большего объема продукции и оказании услуг используют меньше ресурсов и сокращают объемы образующихся отходов и вовлекают отходы в повторный хозяйствующий оборот.

Работами А.Н. Минина [4] и В.Н. Петри [5] показана возможность получения изделий прессованием из мелких отходов деревообработки без добавления синтетических смол или минеральных связующих, то есть в качестве пресс-материала используется древесная прессовочная масса без связующего (ДП-БС). Несмотря на ряд достоинств и очевидные экологические преимущества, технология производства ДП-БС широкого применения так и не нашла – исходные пресс-композиции обладают низкими показателями пластично-вязкостных свойств [4, 5].

Этот вопрос может быть решен путем добавления в пресс-материал модифицирующих добавок (карбамид), что в значительной степени может ускорить процессы образования ДП-БС, улучшить физико-механические свойства пластика, а также провести его получение в более "мягких" условиях [6, 7].

Целью исследования является нахождение композиции с оптимальным соотношением в ней древесных частиц, лигнина и карбамида, которая давала бы хорошую текучесть и высокие эксплуатационные свойства получаемого пластика.

Так же целью нашего исследования являлась разработка новой композиции из древесных частиц, лигнина и карбамида для придания готовым изделиям лучшей водостойкости и биостойкости.

Методом математического планирования эксперимента было изучено влияние содержания лигнина ( $Z_1$ ) и карбамида ( $Z_2$ ) в пресс-материале, фракционного состава частиц ( $Z_3$ ), а так же влажности пресс-композиции ( $Z_4$ ) на водопоглощение (В), разбухание (L), плотность

(P), твердость (T), убыль массы (G) и модуль упругости (E) полученных при одинаковых параметрах прессования образцов.

Для составления матрицы планирования эксперимента был выбран регрессионный двухуровневый четырехфакторный анализ математического планирования полного факторного эксперимента [8]. На основании составленной матрицы планирования (см.табл. 1), была получена серия образцов из ДП-БС.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Y(B)	Y(L)	Y(P)	Y(T)	Y(G)	Y(E)
1	30	3	0,2	4	57,82	45,08	1,210	53,27	10,46	1365,6
2	70	3	0,2	4	21,58	17,73	1,211	68,59	12,69	1123,54
3	30	10	0,2	4	46,2	35,18	1,175	57,72	15,25	1146,28
4	70	10	0,2	4	21,27	12,28	1,158	66,24	14,19	923,04
5	30	3	1	4	62,07	47,81	1,171	68,33	8,99	692,11
6	70	3	1	4	26,2	19,15	1,143	35,94	11,99	739,56
7	30	10	1	4	50,87	21,7	1,162	72,87	12,01	125,7
8	70	10	1	4	19,45	10,55	1,160	37,66	11,99	911,23
9	30	3	0,2	10	39,2	26,52	1,124	53,80	23,35	1074,46
10	70	3	0,2	10	31,4	29,24	1,080	5,12	42,16	110,6
11	30	10	0,2	10	44,36	28,09	1,179	47,59	19,47	1019,19
12	70	10	0,2	10	23,8	22,52	1,042	3,5	40,62	85
13	30	3	1	10	47,73	40,37	1,160	19,84	19,56	371,61
14	70	3	1	10	29,9	23,65	1,182	28,78	14,68	280,26
15	30	10	1	10	47,76	36,64	1,053	18,37	31,72	323,56
16	70	10	1	10	31,23	18,33	1,080	11,46	26,49	154,35

Диаметр образцов составил 30 мм. Все образцы были отпрессованы при одинаковых значениях давления и температуры, а также времени выдержки и охлаждения, значения которых задавались по данным литературных источников [4-7].

После определения физико-механических свойств полученных образцов и получения откликов на матрицу эксперимента, все экспериментальные данные были обработаны с помощью пакета ППП “Microsoft Excel”[9].

Были определены следующие адекватные уравнения регрессий для значимых параметров оптимизации, с оценкой их достоверности:

$$Y(B)= 100,8 - 1,04 \cdot Z_1 - 4,94 \cdot Z_4 + 0,068 \cdot Z_1 \cdot Z_4 \text{ при достоверности } 1-\alpha = 0,996;$$

$$Y(L)= 80,44 - 0,75 \cdot Z_1 - 4,51 \cdot Z_4 + 0,054 \cdot Z_1 \cdot Z_4 \text{ при достоверности } 1-\alpha = 0,911;$$

$$Y(E)= 2203,6 - 1973,96 \cdot Z_3 + 22,93 \cdot Z_1 \cdot Z_3 - 2,63 \cdot Z_1 \cdot Z_4 \text{ при достоверности } 1-\alpha 0,991.$$

Высокие значения достоверности для параметров оптимизации (B, L, E), дают основание для применения системы линейных уравнений для описания изучаемых процессов влияния переменных факторов на параметры оптимизации. Неадекватные уравнения получились по таким параметрам оптимизации, как убыль массы, твердость и плотность.

На основании адекватных уравнений регрессии, были построены поверхности зависимости, изображенные на рисунках 1, 2, 3 и 4.

Анализируя полученные графические зависимости, можно сделать следующие выводы.

1. Разбухание ДП-БС значительно уменьшается при уменьшении влажности композиции и увеличении содержания в ней гидролизного лигнина. Если в диапазоне разбухания 40-45% (рис.1) влажность композиции находится в пределах 4-6 %, а содержание лигнина составляет 30-40%, то в диапазоне разбухания 25-30% влажность композиции находится в пределах 4,5-6,5%, а содержание лигнина составляет около 70%.

2. Водопоглощение ДП-БС заметно уменьшается с увеличением содержания лигнина и уменьшением влажности композиции. Причем содержание лигнина оказывает большее влияние на водопоглощение пластика, чем влажность композиции (рис.2).

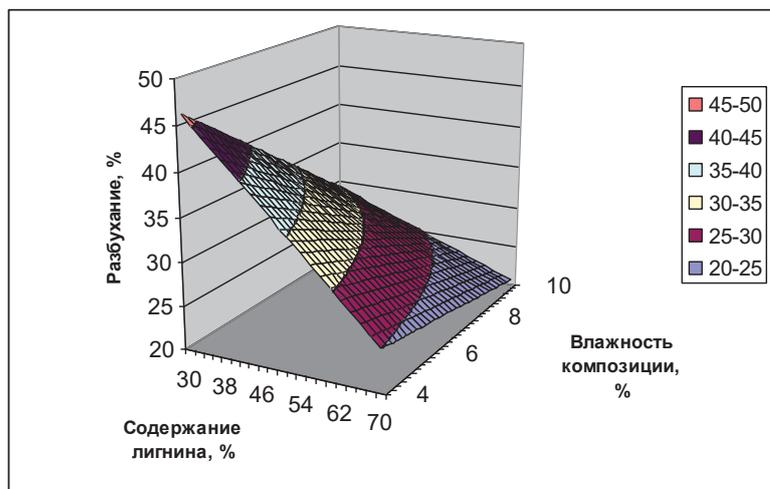


Рис. 1. Влияние содержание лигнина на разбухание ДП-БС

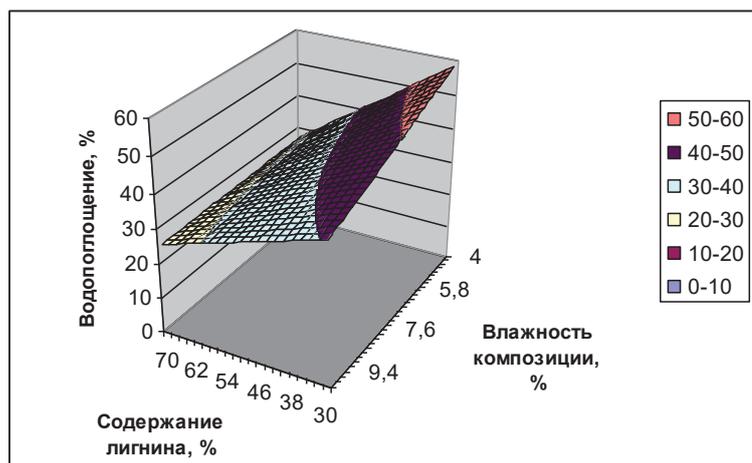


Рис. 2. Влияние содержание лигнина на водопоглощение ДП-БС

3. Для модуля упругости построены две поверхности (рис. 3 и 4), так как на этот показатель оказывают влияние два значимых фактора. Из поверхности, изображенной на рисунке 3 видно, что модуль упругости пластика незначительно возрастает при увеличении содержания в пресс-композиции лигнина, и заметно возрастает при уменьшении размера фракции составляющих частиц композиции. В диапазоне увеличения модуля упругости ДП-БС 2000-2500, размер частиц находится в пределах 0,2 мм. То есть чем меньше размер фракции, тем больше модуль упругости пластика.

На рис. 4 изображена зависимость модуля упругости пластика от влажности композиции и размера фракции. В диапазоне модуля упругости от 500 до 1000, влажность композиции находится в пределах 5,5-8,5 %, а фракционный состав частиц композиции в пределах 0,2-0,5 мм.

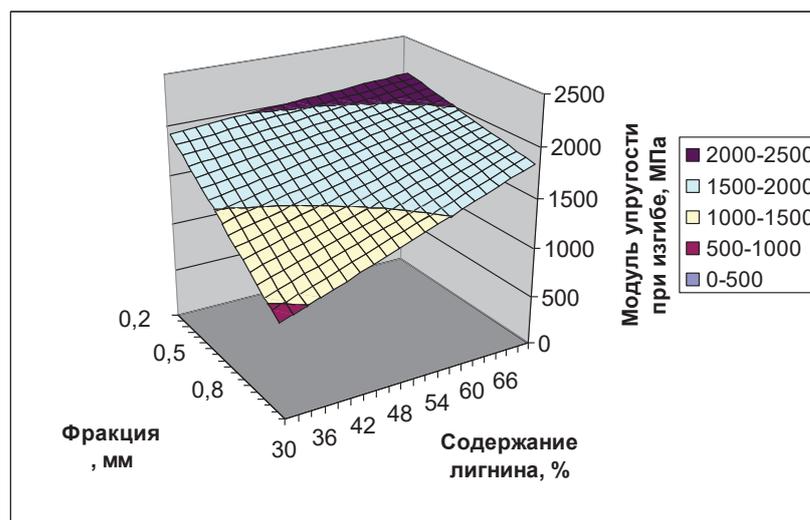


Рис.3. Влияние содержание лигнина и фракции пресс-материала на модуль упругости при изгибе ДП-БС

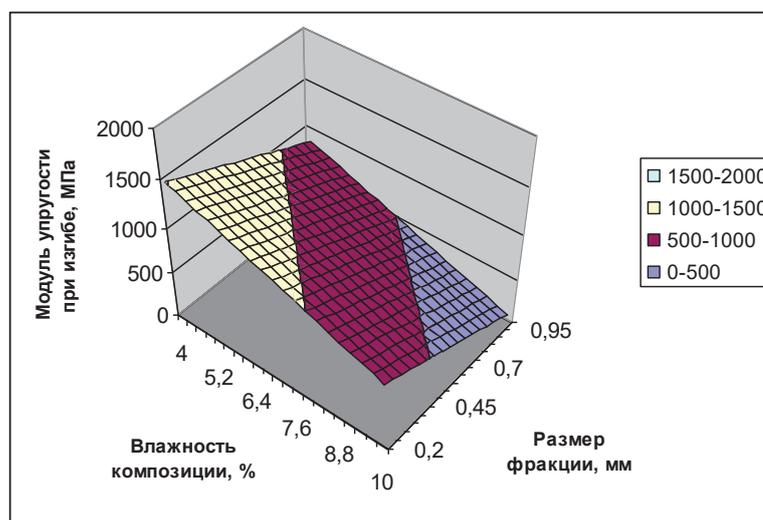


Рис.4. Влияние содержание влажности и фракции пресс-материала на модуль упругости при изгибе ДП-БС

Исходя из анализа данных поверхностей, можно предложить оптимальный состав рецептуры для ДП-БС на основе лигнина, исходя из условий наименьшего водопоглощения и разбухания пластика и наибольшего модуля упругости:

содержание лигнина, %	70
влажность композиции, %	4
фракционный состав, мм	0...0,4
содержание карбамида, %	3

### Список литературы

1. Указ президента РФ от 31.12.2015 N 683 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации"
2. Об охране окружающей среды. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ
3. Об отходах производства и потребления. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ

4. Минин А.Н. Технология пьезотермопластиков / А.Н.Минин. - М.: Лесная промышленность, 1965. – 296 с.
5. Плитные материалы и изделия из древесины и других одресневевших остатков без добавления связующих / В.Н.Петри [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 360с.
6. Савиновских А. В. Получение пластиков из древесных и растительных отходов в закрытых пресс-формах [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук (25.12.2015) / Савиновских Андрей Викторович; УГЛТУ. Екатеринбург, 2015. 20 с.
7. Артёмов А. В. Разработка технологии получения изделий экструзией из древесных отходов без добавления синтетических связующих [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук (10.05.2010) / Артёмов Артём Вячеславович; УГЛТУ. Екатеринбург, 2010. 16 с.
8. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. М.: Высшая школа, 1985. 349с.
9. Курицкий, Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0 / Б.Я.Курицкий. С-Пб.: ВНУ – Санкт-Петербург, 1997. 384с.