

УДК 674.812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.130

## МОДИФИКАЦИЯ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

*Д.С. Русаков, канд. техн. наук, доц.*

*Г.С. Варанкина, д-р техн. наук, проф.*

*А.Н. Чубинский, д-р техн. наук, проф.*

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: dima-ru25@mail.ru, varagalina@yandex.ru, a.n.chubinsky@gmail.com

При производстве алюминия образуется большое количество техногенных отходов. Технологический процесс самообжигающихся анодов подразумевает образование следующих побочных продуктов: шламы газоочистки, пыль электрофильтров, хвосты флотации угольной пены, отходы шламового поля (шламы), шамотная и угольная футеровка электролизеров. Крупные города Сибирского региона России (Красноярск, Братск, Иркутск) вблизи городской черты имеют свалки многотоннажных неутрализованных отходов, которые создают угрозу природе и жителям городов. Оценена возможность применения отходов алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств в качестве модификатора готовых фенолоформальдегидных смол. Пыль электрофильтров, представляющую собой химически активный мелкодисперсный порошок черного цвета, можно использовать для уменьшения токсичности синтетических смол и клеев на их основе, шлам холодного отстоя (полидисперсный, полифункциональный сополимер, который состоит из структурных единиц лигнина) – для модификации синтетических клеев. В ходе исследования определяли условную вязкость клея через 1 ч после введения модификатора, жизнеспособность клея, продолжительность отверждения и эмиссию формальдегида. Для обоснования технологии склеивания фанеры фенолоформальдегидным клеем на основе смолы СФЖ-3013, модифицированной отходами алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств, проведен многофакторный эксперимент с определением содержания модификатора в смоле, продолжительности и давления прессования. Установлено, что введение в фенолоформальдегидные смолы отходов алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств позволит снизить стоимость готовой продукции, утилизировать отходы промышленного производства, повысить прочность готовой продукции и сократить содержание свободного формальдегида в ней.

**Для цитирования:** Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Модификация фенолоформальдегидных смол отходами производства алюминия и целлюлозы // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 130–140. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.130

**Ключевые слова:** шпон, фанера, фенолоформальдегидная смола, модификация, отходы производства, пыль электрофильтров, шлам холодного отстоя, режимы склеивания, прочность готовой продукции, токсичность готовой продукции.

### *Введение*

Отходы производства алюминия в России составляют четверть от всех техногенных отходов, которые образуются при производстве цветных металлов [11]. Например, в технологии самообжигающихся анодов образуются следующие побочные продукты производства алюминия: шламы газоочистки, пыль электрофильтров, хвосты флотации угольной пены, отходы шламового

поля (шламы), шамотная и угольная футеровка электролизеров. В крупных городах Сибирского региона (Красноярск, Братск, Иркутск) хранилища многотоннажных отходов располагаются вблизи городской черты, что создает угрозу как населению, так и природе [7].

Отходом, который можно и нужно эффективно перерабатывать, является угольная пыль электрофильтров – мелкодисперсный порошок черного цвета, образующийся при предварительной очистке (обеспыливании) отходящих электролизных газов. Примерный химический состав (%) пыли электрофильтров алюминиевого производства [1]: натриевая соль серной кислоты ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) – 16,5; оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – 1,8; диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) – 0,2; фторид кальция ( $\text{CaF}_2$ ) – 1,7; фторид магния ( $\text{MgF}_2$ ) – 0,4; фторид алюминия ( $\text{AlF}_3$ ) – 9,8; оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – 23,9; угольная пыль – 26,8; смешанная соль плавиковой кислоты и металлов (алюминия и натрия) – ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) – 18,9.

Продукты конденсации фенольных соединений, в которых ОН-группы находятся главным образом в *орто*- или *мета*-положении к кислотному остатку, могут быть модифицированы солями натрия, цинка, кальция и др. [2]. Особенно эффективен сульфат натрия. Они ускоряют отверждение клеев и одновременно повышают адгезионную прочность.

Отверждение фенолоформальдегидных смол резольного типа происходит в процессе поликонденсации с обязательным выделением побочных продуктов (вода или формальдегид) и протекает со значительно меньшей скоростью в сравнении со смолой новолачного типа. Для повышения скорости отверждения смол резольного типа применяют катализаторы: соли щелочных металлов, оксиды кальция, магния, железа, алюминия и других металлов. Предполагается [8], что в процессе горячего прессования они связывают гидроксогруппы фенольных ядер, а также служат дополнительным сшивающим агентом.

В работе [1] показана возможность использования мелкодисперсной угольной пыли электрофильтров предварительного обеспыливания отходящих электролизных газов алюминиевого производства в качестве модификатора готовых фенолоформальдегидных смол.

Предприятия, которые производят клееные древесные материалы, должны обеспечивать для готовой продукции низкий уровень эмиссии формальдегида (Е1). Одним из направлений уменьшения токсичности синтетических смол и клеев на их основе является их модификация [12–19], в этом случае могут быть использованы и отходы производства целлюлозы, в частности шлам холодного отстоя (ШХО) [3, 9] – порошок, который образуется осаждением гидролизата при получении кормовых дрожжей. По составу ШХО – это аморфный, полидисперсный, полифункциональный сополимер, который состоит из низкомолекулярной фракции лигнина, содержащей метоксильные (7,0...10,2 %), карбонильные (3,5...7,1 %), карбоксильные (1,5...2,0 %) и фенольные гидроксильные (3,2...5,6 %) группы [10]. ШХО за счет карбоксильных и фенольных ОН-групп активнее вступает в химические реакции при получении модифицированной фенолоформальдегидной смолы, чем сульфатный и гидролизный лигнин, а также содержащее лигнин вещество типа «карамель».

Цель исследования – изучение физико-химических и физико-механических свойств модифицированных отходами алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств фенолоформальдегидных клеев для производства фанеры.

Таблица 1

**Методическая сетка экспериментального склеивания шпона с применением модифицированного фенолоформальдегидного клея**

Задача исследования	Постоянные факторы эксперимента				Переменные факторы эксперимента				Количество		
	Наименование	Значение	Наименование	Значение	Выходной параметр эксперимента	опытов	повторений опытов	наблюдений	общее		
1. Исследование зависимости продолжительности отверждения клея и прочности фанеры от количества пыли электрофильтров в смоле марки СФЖ-3013	Марка смолы	СФЖ-3013	Содержание пыли электрофильтров в смоле, %	1,0 1,4 1,8	Предел прочности при скалывании по клеевому слою фанеры после кипячения в воде в течение 1 ч, МПа, не менее	14	3	4	168		
	Порода шпона	Береза	Продолжительность прессования, мин	6,0 7,5 9,0							
	Температура воздуха в цехе склеивания, °С	20	Давление прессования, МПа	1,0 1,75 2,5							
	Толщина фанеры, мм	9,0	Содержание ШХО в смоле, %	Расход клея, г/м <sup>2</sup>	5 15 25 120 130 140	Содержание свободного формальдегида, мг/100 г абс. сухой фанеры	14	3	4	168	
	Вязкость клея, с	75									
	2. Исследование зависимости токсичности фанеры от содержания ШХО в смоле марки СФЖ-3013 и расхода клея	Концентрация клея, %	41								
Температура прессования, °С		120									

*Объекты и методы исследования*

В экспериментах использовали фенолоформальдегидную смолу марки СФЖ-3013, в которую вводили модификаторы: угольную пыль электрофильтров (размер частиц 0,01...0,05 мм), ШХО (0,01...0,20 мм).

В ходе экспериментов определяли: условную вязкость клея через 1 ч после введения модификатора, жизнеспособность клея, продолжительность отверждения и эмиссию формальдегида.

Для обоснования технологии склеивания фанеры проводили многофакторный эксперимент. Фанеру склеивали фенолоформальдегидным клеем на основе смолы СФЖ-3013, модифицированной отходами алюминиевого производства. Контролировали содержание модификатора в смоле, продолжительность и давление прессования.

В целях обоснования снижения токсичности фанеры был осуществлен многофакторный эксперимент по склеиванию фанеры фенолоформальдегидным клеем на основе смолы СФЖ-3013, модифицированной отходами целлюлозно-бумажного производства. Условия проведения экспериментов приведены в табл. 1.

При испытании фанеры по методикам [4–6] определяли прочность клеевого соединения при скалывании по клеевому слою, содержание свободного формальдегида в готовой продукции.

Для обработки экспериментальных данных использовали В-план второго порядка. Оптимизацию параметров технологического процесса склеивания фанеры модифицированными клеями проводили методом условного центра масс.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Полученные результаты показывают, что используемые модификаторы позволяют снизить продолжительность отверждения фенолоформальдегидного клея (табл. 2).

Таблица 2

**Свойства фенолоформальдегидного клея на основе смолы СФЖ-3013**

Модификатор	Массовое содержание модификатора, %	Условная вязкость клея через 1 ч после изготовления, с	Жизнеспособность клея, ч	Продолжительность процесса отверждения, с
Без модификатора	0	49	–	579
Угольная пыль электрофильтров (размер частиц 0,01...0,05 мм)	1,0...1,8	75...90	4...6	520
ШХО (0,01...0,20 мм)	5...25	65...85	5	505

Сравнительный анализ подтвердил, что модификаторы улучшают эксплуатационные свойства клеевых соединений в готовой продукции.

Для обоснования режимов прессования и увеличения прочности фанеры проведена серия экспериментов по склеиванию фанеры согласно матрице планирования (табл. 3).

Таблица 3

**Зависимость прочности при скалывании  
по клеевому слою фанеры от влияющих факторов**

№ опыта	Матрица планирования в кодированных значениях переменных факторов			Натуральные значения переменных факторов			Средняя прочность при скалывании по клеевому слою		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$q$	$\tau$	$P$	$\sigma$ , МПа	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %
1	-1	-1	-1	1,0	6,0	1,0	1,36	0,183	12
2	+1	-1	-1	1,8	6,0	1,0	1,79	0,211	14
3	-1	+1	-1	1,0	9,0	1,0	1,34	0,174	11
4	+1	+1	-1	1,8	9,0	1,0	1,85	0,187	12
5	-1	-1	+1	1,0	6,0	2,5	1,45	0,201	13
6	+1	-1	+1	1,8	6,0	2,5	1,77	0,184	12
7	-1	+1	+1	1,0	9,0	2,5	1,44	0,190	11
8	+1	+1	+1	1,8	9,0	2,5	1,72	0,176	12
9	-1	0	0	1,0	7,5	1,75	1,34	0,201	13
10	+1	0	0	1,8	7,5	1,75	1,75	0,183	12
11	0	-1	0	1,4	6,0	1,75	1,55	0,229	15
12	0	+1	0	1,4	9,0	1,75	1,60	0,216	14
13	0	0	-1	1,4	7,5	1,0	1,72	0,179	12
14	0	0	+1	1,4	7,5	2,5	1,75	0,242	16

Примечание: Переменные факторы: содержание модификатора в смоле –  $X_1$  ( $q$ ), %; продолжительность прессования –  $X_2$  ( $\tau$ ), мин; давление прессования –  $X_3$  ( $P$ ), МПа.

Склеивание производили на действующем фанерном производстве по режимам, принятым в соответствии с технологическим регламентом. Фанеру испытывали на прочность при скалывании по клеевому слою.

На основании предварительных экспериментов установлено, что при введении в смолу марки СФЖ-3013 угольной пыли электрофильтров в количестве более 2 % прочность фанеры снижается. Поэтому в эксперименте исследовалась зависимость  $\sigma$  от  $q$  при содержании пыли от 1,0 до 1,8 %.

По результатам испытаний фанеры были получены зависимости (рис. 1, 2), описывающие влияние на прочность ( $\sigma$ , МПа) фанеры при скалывании по клеевому слою содержания пыли электрофильтров в смоле ( $q$ , %), продолжительности ( $\tau$ , мин) и давления ( $P$ , МПа) прессования:

$$\sigma = -1,2q^2 + 2,835q + 0,019 \quad (\text{при } \tau = 7,5 \text{ мин; } P = 1,75 \text{ МПа}); \quad (1)$$

$$\sigma = -0,024\tau^2 + 3,772\tau - 14,096 \quad (\text{при } q = 1,4 \text{ %; } P = 1,75 \text{ МПа}); \quad (2)$$

$$\sigma = -0,456P^2 + 2,058P - 0,623 \quad (\text{при } q = 1,4 \text{ %; } \tau = 7,5 \text{ мин}). \quad (3)$$

Пределы варьирования:  $1,0 \text{ %} \leq q \leq 1,8 \text{ %}$ ;  $6,0 \text{ мин} \leq \tau \leq 9,0 \text{ мин}$ ;  $1,0 \text{ МПа} \leq P \leq 2,5 \text{ МПа}$ .

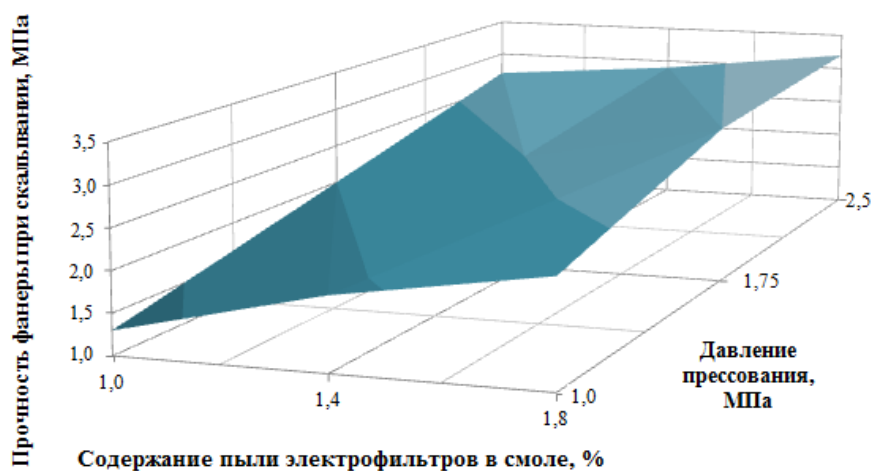


Рис. 1. Зависимость прочности фанеры при скалывании по клеевому слою от содержания пыли электрофильтров в смоле и давления прессования

Fig. 1. Dependence of plywood split strength on adhesive layer on dust content of electrostatic precipitators in resin and compacting pressure

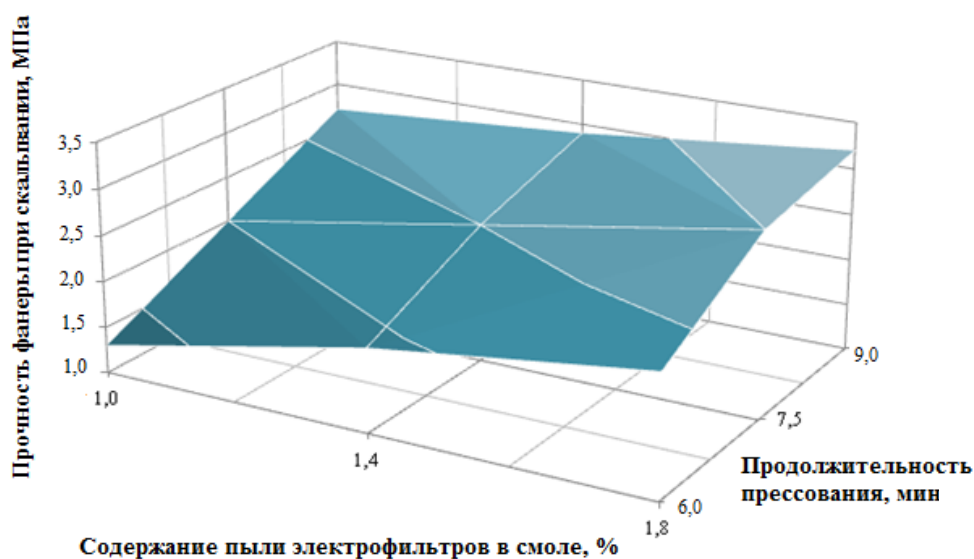


Рис. 2. Зависимость прочности фанеры при скалывании по клеевому слою от содержания пыли электрофильтров в смоле и продолжительности прессования

Fig. 2. Dependence of plywood split strength on adhesive layer on dust content of electrostatic precipitators in resin and compacting duration

Анализ рис. 1, 2 показал, что введение пыли электрофильтров в смолу СФЖ-3013 увеличивает прочность и скорость отверждения клея.

Используя метод поиска оптимальных значений (метод условного центра масс), сформулируем задачу следующим образом: необходимо найти та-

кие значения переменных факторов, которые при соблюдении параметрических ограничений обеспечивают максимальную прочность при наибольшем содержании модификатора в смоле и минимальных значениях продолжительности прессования и удельного расхода клеевой композиции.

Фиксированные параметры: толщина фанеры  $h = 9,0$  мм; концентрация клея  $C = 41$  %; температура прессования  $T = 120$  °С; влажность шпона  $W_{\text{шп}} = 6$  %.

Параметры проектирования: содержание модификатора в смоле –  $x_1 = q$ ; продолжительность прессования –  $x_2 = \tau$ ; давление прессования –  $x_3 = P$ .

Параметрические ограничения:  $1,0\% \leq q \leq 1,8\%$ ;  $6,0 \text{ мин} \leq \tau \leq 9,0 \text{ мин}$ ;  $1,0 \text{ МПа} \leq P \leq 2,5 \text{ МПа}$ .

С помощью пакета прикладных программ MS Excel 2016 для поиска оптимальных значений при количестве расчетных точек 100 шт. найдены оптимальные параметры режимов склеивания фанеры (табл. 4), при которых достигнуты наилучшие значения показателей качества.

Таблица 4

Расчетные значения исследуемых параметров технологического режима

Влияющий фактор	Параметр проектирования	Размерность	Значение
Содержание модификатора в смоле	$x_1$	%	1,4
Продолжительность прессования	$x_2$	мин	7,5
Давление прессования	$x_3$	МПа	1,75

Принятые параметры режимов прессования фанеры с использованием модифицированного клея на основе фенолоформальдегидной смолы: толщина фанеры  $h = 9,0$  мм; давление прессования  $P = 1,75$  МПа; температура прессования  $T = 120$  °С; продолжительность прессования  $\tau = 7,5$  мин; содержание пыли электрофильтров в смоле  $q = 1,4$  %; вязкость клея  $\mu = 75$  с; концентрация клея  $C = 41$  %; влажность шпона  $W_{\text{шп}} = 6$  %.

Для обоснования снижения токсичности фанеры проведен многофакторный эксперимент по склеиванию березового шпона фенолоформальдегидным клеем на основе смолы СФЖ-3013, модифицированной ШХО.

В результате обработки экспериментальных данных при помощи математико-статистических методов получено уравнение регрессии, адекватно описывающее зависимость содержания свободного формальдегида в фанере от содержания ШХО в смоле и расхода клея (рис. 3):

$$m = 1,9517 - 0,017 q + 0,0038 R \quad (4)$$

$$\text{при } 5\% \leq q \leq 25\%; 120 \text{ г/м}^2 \leq R \leq 140 \text{ г/м}^2,$$

где  $m$  – содержание свободного формальдегида в фанере, мг/100 г абс. сухой фанеры;  $q$  – содержание ШХО в смоле, %;  $R$  – расход клея, г/м<sup>2</sup>.

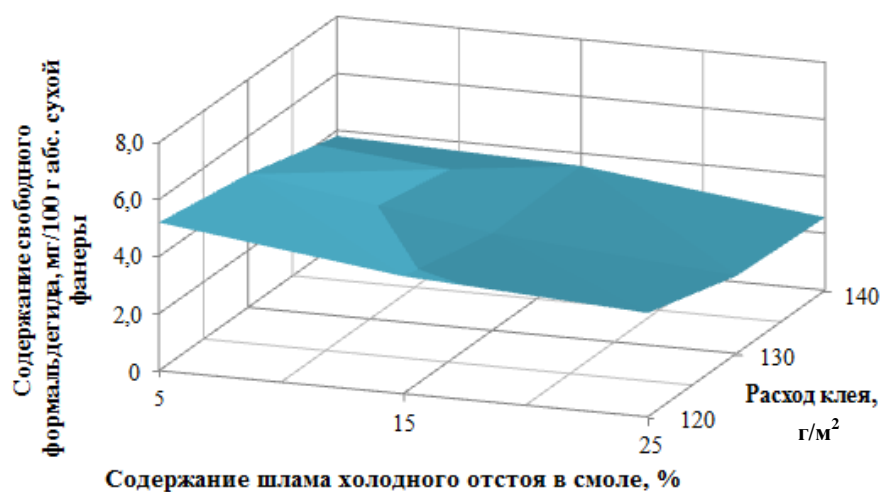


Рис. 3. Зависимость содержания свободного формальдегида в фанере от содержания ШХО в смоле и расхода клея

Fig. 3. Dependence of free formaldehyde content in plywood on cold stack sludge content in resin and glue consumption

Таким образом, установлено, что применение ШХО снижает содержание формальдегида в готовой продукции с 5,50 до 3,25 мг/100 г абс. сухой фанеры.

#### Заключение

1. Использование отходов алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств в клеевых составах на основе фенолоформальдегидных смол позволит уменьшить себестоимость готовой продукции и утилизировать отходы этих производств.
2. Введение в фенолоформальдегидные смолы угольной пыли электрофильтров алюминиевого производства повышает прочность фанеры на 20...50 %, снижает содержание свободного формальдегида в готовой продукции на 5...15 %.
3. Добавка шлама холодного отстоя снижает содержание свободного формальдегида в готовой продукции на 10...25 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А.Н., Гавриленко Л.В., Моренко А.В., Блашков А.А., Пентюхин С.И. Переработка твердых фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 2(10). С. 113–115.
2. Бахман А., Мюллер К. Фенопласты. М.: Химия, 1978. 288 с.
3. Варанкина Г.С., Русаков Д.С. Модификация фенолоформальдегидной смолы побочными продуктами сульфатно-целлюлозного производства // Изв. СПбЛТА. 2013. № 204. С. 130–137.
4. ГОСТ 3916.1–96. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2008. 12 с.



5. ГОСТ 9624–2009. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании. М.: Стандартинформ, 2010. 10 с.
6. ГОСТ 27678–2014. Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.
7. Еромасов Р.Г., Никифорова Э.М., Спектор Ю.Е. Утилизация отходов алюминиевого производства в керамической промышленности // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2012. Т. 5, вып. 4. С. 442–453.
8. Крыжановский В.К., Кербер М.Л., Бурлов В.В., Панيماتченко А.Д. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие. СПб.: Профессия, 2004. 464 с.
9. Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Модификация феноло- и карбамидоформальдегидных смол побочными продуктами производства целлюлозы // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 8. С. 16–20.
10. Русаков Д.С., Чубинский А.Н., Русакова Л.Н., Варанкина Г.С. Исследование свойств модифицированных фенолоформальдегидных клеев // Изв. СПбЛТА. 2018. Вып. 222. С. 155–174. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.222.155-174
11. Шиманский А.Ф., Власов О.А., Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г., Симонова Н.С., Васильева М.Н. Рециклинг шлаков высокотемпературного сжигания твердых бытовых отходов в технологии керамического кирпича // Фундаментальные исследования. 2016. № 3 (ч. 1). С. 76–81.
12. Chubov A., Tsaryov G., Matyushenkova E. Exclusive Wood Protection Technique // Russian Forestry Review. 2008. No. 3. P. 79.
13. Felby C., Hassingboe J., Lund M. Pilot-Scale Production of Fiberboards Made by Laccase Oxidized Wood Fibers: Board Properties and Evidence for Cross-Linking of Lignin // Enzyme and Microbial Technology. 2002. Vol. 31, iss. 6. Pp. 736–741. DOI: 10.1016/S0141-0229(02)00111-4
14. Friedl L. Concrete Sleeper Technology // European Railway Review. 2004. No. 2. Pp.73–78.
15. Hofrichter M. Review: Lignin Conversion by Manganese Peroxidase (MnP) // Enzyme and Microbial Technology. 2002. Vol. 30, iss. 4. Pp. 454–466. DOI: 10.1016/S0141-0229(01)00528-2
16. Leykauf G., Stahl W. Concrete Railway Sleepers for the Optimisation of Ballasted Track // European Railway Review. 2004. No. 2. Pp. 61–71.
17. Matyushenkova E. Wood Protection Techniques in Russia // Russian Forestry Review. 2008. No. 3. Pp. 76–78.
18. Sintonen K. Data Processing in a Plywood Factory // Raute News. Finlyandiya. 2002. Vol. 3, no. 2. P. 168.
19. Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of Urea-Formaldehyde Resins Shungite Sorbents // Development and Modernization of Production: International Conference on Production Engineering, Bihac, 2013. Bihac: Bihac University, 2013. Pp. 1–4.

Поступила 20.09.18

UDC 674.812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.130

**Modification of Phenol Formaldehyde Resins by Wastes of Aluminum and Cellulosic Pulp Production***D.S. Rusakov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**G.S. Varankina, Doctor of Engineering Sciences, Professor**A.N. Chubinskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: dima-ru25@mail.ru, varagalina@yandex.ru, a.n.chubinsky@gmail.com

In aluminum production a large amount of anthropogenic wastes is generated. The technological process of self-baking anodes implies formation of the following by-products: gas treatment sludge, electrostatic precipitator dust, skim flotation tailings, sludge field wastes (sludge), fireclay and carbon lining of reduction cells. Major cities of Siberia (Krasnoyarsk, Bratsk, Irkutsk) near the city limits have landfill sites of large-tonnage, unutilized wastes that pose a threat to the nature and city residents. In this regard, the possibility of using aluminum and pulp and paper production wastes as a modifier of finished phenol-formaldehyde resins was evaluated. Electrostatic precipitator dust, which is chemically active fine black powder, can be used for reducing the toxicity of synthetic resins and glues based on them, cold stack sludge (polydisperse, polyfunctional copolymer, which consists of lignin structural units) for modification of synthetic glues. Funnel viscosity of glue 1 hour after the modifier introduction, glue tack range, curing time and formaldehyde emission were determined as a part of the study. In order to substantiate the technology of plywood gluing by phenol-formaldehyde glue based on SFZh-3013 (СФЖ-3013) resin modified with wastes of aluminum and pulp and paper production a multifactorial experiment with determination of the modifier content in resin, duration and compacting pressure was carried out. It has been found that introduction of aluminum and pulp and paper production wastes into phenol-formaldehyde resins will allow reducing the costs of final products, recycling wastes of pulp and paper production, increasing the final product strength and decreasing the free formaldehyde content in it.

**For citation:** Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinskiy A.N. Modification of Phenol Formaldehyde Resins by Wastes of Aluminum and Cellulosic Pulp Production. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 130–140. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.130

**Keywords:** veneer, plywood, phenol formaldehyde resin, modification, production wastes, electrostatic precipitator dust, cold stack sludge, gluing modes, strength of final products, toxicity of final products.

## REFERENCES

1. Baranov A.N., Gavrilenko L.V., Morenko A.V., Blashkov A.A., Pentyukhin S.I. The Fluorine-Containing Solid Wastes Utilization in Aluminium Production. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2011, no. 2(10), pp. 113–115.
2. Bakhman A., Myuller K. *Phenolic Plastics*. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 288 p.
3. Varankina G.S., Rusakov D.S. Modification of Phenol Resin by the By-Products of Sulphate Pulp Production. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2013, iss. 204, pp. 130–137.
4. *GOST 3916.1-96 Plywood with Outer Layers of Deciduous Veneer for General Use. Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 12 p.

5. GOST 9624-2009 *Laminated Glued Wood. Method for Determination of Shear Strength*. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 10 p.
6. GOST 27678-2014 *Wood-Based Panels and Plywood. Perforator Method for Determination of Formaldehyde Content*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 8 p.
7. Eromasov R.G., Nikiforova E.M., Spektor Yu.E. Recycling of Waste Aluminum Production in the Ceramic Industry. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii* [Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies], 2012, vol. 5, no. 4, pp. 442–453.
8. Kryzhanovskiy V.K., Kerber M.L., Burlov V.V., Panimatchenko A.D. *Manufacture of Products from Polymeric Materials: Educational Textbook*. Saint Petersburg, Professiya Publ., 2004. 464 p.
9. Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinskiy A.N. Modification of Phenol- and Urea-Formaldehyde Resins by Additive Products of Cellulose Manufacture. *Klei. Germetiki, Tekhnologii*, 2017, no. 8, pp. 16–21.
10. Rusakov D.S., Chubinsky A.N., Rusakova L.N., Varankina G.S. Investigation of the Properties of Modified Phenol-Formaldehyde Adhesives. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2018, iss. 222, pp. 155–174. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.222.155-174
11. Shimanskiy A.F., Vlasov O.A., Nikiforova E.M., Eromasov R.G., Simonova N.S., Vasileva M.N. Recycling of Slag from High-Temperature Incineration of Municipal Solid Waste in the Technology of Ceramic Bricks. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Fundamental Research], 2016, iss. 3, part 1, pp. 76–81.
12. Chubov A., Tsaryov G., Matyushenkova E. Exclusive Wood Protection Technique. *Russian Forestry Review*, 2008, no. 3, p. 79.
13. Felby C., Hassingboe J., Lund M. Pilot-Scale Production of Fiberboards Made by Laccase Oxidized Wood Fibers: Board Properties and Evidence for Cross-Linking of Lignin. *Enzyme and Microbial Technology*, 2002, vol. 31, iss. 6, pp. 736–741. DOI: 10.1016/S0141-0229(02)00111-4
14. Friedl L. Concrete Sleeper Technology. *European Railway Review*, 2004, no. 2, pp. 73–78.
15. Hofrichter M. Review: Lignin Conversion by Manganese Peroxidase (MnP). *Enzyme and Microbial Technology*, 2002, vol. 30, iss. 4, pp. 454–466. DOI: 10.1016/S0141-0229(01)00528-2
16. Leykauf G., Stahl W. Concrete Railway Sleepers for the Optimisation of Ballasted Track. *European Railway Review*, 2004, no. 2, pp. 61–71.
17. Matyushenkova E. Wood Protection Techniques in Russia. *Russian Forestry Review*, 2008, no. 3, pp. 76–78.
18. Sintonen K. Data Processing in a Plywood Factory. *Raute News. Finlyandiya*, 2002, vol. 3, no. 2, p. 168.
19. Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of Urea-Formaldehyde Resins Shungite Sorbents. *Development and Modernization of Production. International Conference on Production Engineering, Bihac, 2013*. Bihac, Bihac University. 2013, pp. 1–4.

Received on September 20, 2018

---