

УДК 674.817-41

А. А. Кожемяко¹, Е. В. Дубоделова², А. Н. Гончар³, С. И. Шпак²¹ОАО «Витебскдрев»²Белорусский государственный технологический университет³СООО «СинерджиКом»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ

Разработан новый состав связующего на основе карбамидоформальдегидных смол и лигниновых биоотвердителей линейки S-Drill™ BND производства СООО «СинерджиКом», позволяющий повысить физико-механические показатели MDF при увеличении производительности линии на 4% и экологическую безопасность производства путем снижения максимальной разовой концентрации формальдегида в воздухе рабочей зоны до уровня 0,5 мг/м³. Эффективность применения лигниновых биоотвердителей, представляющих собой продукты валоризации гидролизного лигнина, обусловлена их химическим строением и составом. Результаты исследований химического состава реагента S-Drill™ BND показали наличие метоксильных, карбоксильных групп, а также гидроксильных, в том числе фенольных и алифатических, способных интенсифицировать образование разветвленной сетчатой структуры при отвержении КФС и взаимодействовать с формальдегидом, на что указывает его снижение в MDF до 6,29 мг/100 г абсолютно сухой плиты, а также способных образовывать первичные химические связи с компонентами древесного волокна, на что указывает повышение физико-механических показателей MDF. Результаты исследований прошли комплексную промышленную апробацию на ОАО «Витебскдрев» с подтверждением соответствия выпускаемой продукции уровню EN 622-1:2003 и EN 622-5:2009.

Ключевые слова: древесноволокнистые плиты, лигниновый биоотвердитель, карбамидоформальдегидная смола, эмиссия формальдегида, экологическая безопасность, производительность.

Для цитирования: Кожемяко А. А., Дубоделова Е. В., Гончар А. Н., Шпак С. И. Повышение эффективности производства древесноволокнистых плит средней плотности // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 2 (259). С. 32–40.

А. А. Kozhemyako¹, Е. В. Dubodelova², А. Н. Gonchar³, С. И. Shpak²¹JSC “Vitebskdrrev”²Belarusian State Technological University³JLLC “SynergyCom”

IMPROVED PRODUCTION EFFICIENCY IN MEDIUM-DENSITY FIBERBOARD (MDF)

A novel binder composition based on urea-formaldehyde resins and lignin derived bio-hardener, branded as S-Drill™ BND and produced by JLLC “SynergyCom”, has been developed, which allows increasing the physical and mechanical performance of MDF with an increase in line productivity by 4% and increase in the level of environmental safety of production by reducing the maximum single concentration of formaldehyde in the air of the working area to the level of 0.5 mg/m³. The effectiveness of the use of lignin bio-hardener, which is a product of hydrolysis lignin valorization, is due to its unique chemical structure and physicochemical properties. This is confirmed by the results of quantitative studies of the chemical composition of S-Drill™ BND to determine methoxyl, carboxyl, as well as hydroxyl groups, including phenolic and aliphatic, capable of intensifying the formation of a branched and crossed-linked structures during cure of urea formaldehyde resin, as indicated by a decrease in free formaldehyde content in MDF panels to 6.29 mg/100 g of absolute dry board, as well as capable of forming primary chemical bonds with wood fiber components, as indicated by an increase in the physical and mechanical properties of MDF, characterizing the adhesive ability of the novel adhesive composition. The results of the research have passed a comprehensive industrial approbation in the conditions of the MDF production workshop of JSC “Vitebskdrrev” with confirmation of compliance of the manufactured products with the level of EN 622-1:2003 and EN 622-5:2009.

Key words: fiberboard, lignin bio-hardener, urea-formaldehyde resin, formaldehyde emission, environmental safety, productivity.

For citation: Kazhamiaka A. A., Dubodelova E. V., Gonchar A. N., Shpak S. I. Improving production efficiency in medium-density fiberboard (MDF). *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 2 (259), pp. 32–40 (In Russian).

Введение. Для оценки эффективности производства древесноволокнистых плит необходимо учитывать ряд показателей: содержание свободного формальдегида, физико-механические свойства плитной продукции, расход и состав связующего, параметры горячего прессования (температура, продолжительность) [1]. Нужно отметить, что в настоящее время к экологической безопасности древесных плит и процессу их производства предъявляются все более жесткие требования, так как в процессе изготовления плитных материалов и при их эксплуатации происходит выделение свободного формальдегида, оказывающего вредное воздействие на человека и окружающую среду.

Основным источником свободного формальдегида являются карбамидоформальдегидные смолы (КФС), нашедшие широкое применение в технологии производства древесноволокнистых плит сухим способом в качестве связующего. Их использование обусловлено рядом факторов. Во-первых, низкой стоимостью по сравнению с другими синтетическими смолами (изоционатные смолы, меламиноформальдегидные смолы), во-вторых, с одной стороны они имеют высокую адгезию к компонентам древесины, с другой – низкую к металлическим поверхностям главного конвейера в производстве древесных плитных материалов, в-третьих, хорошей смешиваемостью с водой.

Содержание свободного формальдегида в КФС определяет реакционную способность связующего на основе КФС, структуру и свойства смолы после ее отверждения [2–3], но в то же время он снижает химическую безопасность готовых плитных материалов. Для устранения отрицательных свойств КФС и повышения эффективности производства древесных плитных материалов карбамидоформальдегидные смолы подвергаются химической модификации как в процессе их синтеза, так и на стадии приготовления связующего [4–16]. При этом на интенсивность выделения свободного формальдегида оказывает влияние ряд факторов: свойства применяемой смолы, и в первую очередь содержание в ней свободного формальдегида, расход КФС, условия прессования плит (влажность осмоловенного сырья, температура и продолжительность прессования), вид и расход модификатора.

К модифицированной КФС в технологии древесноволокнистых плит средней плотности (далее МДФ согласно EN 622-1-2009) предъявляются специфические требования, что обусловлено технологическими стадиями производства МДФ. На стадии сушки древесного осмоловенного волокна не должно произойти преждевременного отверждения связующего [17], а на стадии горячего прессования необходимо получить

требуемый профиль плотности древесноволокнистой плиты [18–19].

Целью исследования является повышение эффективности производства древесноволокнистых плит средней плотности, заключающейся в увеличении производительности технологической линии при обеспечении экологической безопасности продукции и производства.

Основная часть. Для повышения эффективности производства древесноволокнистых плит средней плотности на основе карбамидоформальдегидных смол на СООО «СинерджиКом» были разработаны лигниновые биоотвердители линейки S-Drill™ BND. Данные продукты получены при валоризации гидролизного лигнина, скопившегося при функционировании гидролизного завода в г. Речица (Республика Беларусь). Характеристики свойств лигнинового биоотвердителя линейки S-Drill™ BND приведены в табл. 1–2.

Таблица 1
Химический состав и функциональные группы
S-Drill™ BND

Наименование показателя	Значение
Молекулярная масса M_w , г/моль	3500–4000
Молекулярная масса M_n , г/моль	1400–1600
Полидисперсность	2,5
Метоксильные группы, %	Менее 10
Карбоксильные группы, %	2,5
Фенольные гидроксильные группы, ммоль/г	1,1
Алифатические гидроксильные группы, ммоль/г	0,3
Общее содержание гидроксильных групп, ммоль/г	3,9
Формальдегид	Отсутствует

Примечание. Продукт не содержит опасных ингредиентов, которые требуют идентификации.

Таблица 2
Основные физико-химические показатели
S-Drill™ BND

Наименование показателя	Значение
Внешний вид	Однородная жидкость коричневого цвета без механических включений
Массовая доля сухого вещества, %, не менее	20
Водородный показатель 1%-ного водного раствора	2–5
Условная вязкость по В3-4, с	8–15
Плотность, г/см³	1,10–1,20

Из табл. 1–2 видно, что для лигниновых продуктов линейки S-Drill™ BND характерно наличие значительного количества функциональных групп, которые обеспечивают высокую реакционную способность в реакции поликонденсации КФС, а также высокое сродство к компонентам древесины. Кроме того, имеется возможность регулировать водородный показатель для ускорения отверждения КФС.

На начальном этапе исследований использовали лигниновый биоотвердитель S-Drill™ BND 40, разработанный СООО «СинерджиКом» и представляющий собой аммониевую модификацию с pH, равным 4,5. Лабораторные исследования проводили с карбамидоформальдегидной смолой марки КФС-О (производства ПАО «Акрон»), физико-химические свойства которой приведены в табл. 3.

Таблица 3
Характеристика карбамидоформальдегидной смолы марки КФС-О (ПАО «Акрон»)

Наименование показателя	Значение
Внешний вид	Однородная суспензия от белого до светло-желтого цвета без механических включений
Массовая доля сухого остатка, %	66 ± 2
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,2
Вязкость по Брукфильду при (20 ± 0,5)°С, мПа·с	200–600
Условная вязкость при (20 ± 0,5)°С по вискозиметру В3-4, с	40–100
Водородный показатель (pH)	7,5–8,5
Время желатинизации при 100°С, с	40–60
Плотность при 20°С, кг/м ³	1270 ± 30
Мольное соотношение формальдегида к карбамиду	1,02–1,15
Предельная смешиваемость смолы с водой, при которой наблюдается коагуляция по объему	1:1–1:10

Как показали результаты предварительных лабораторных исследований, лигниновый биоотвердитель при расходе от 2 до 5% обеспечивал время желатинизации КФС-О при 100°С на уровне 40–60 с, а также адгезионную прочность kleевого шва при растяжении, сравнимую с получаемой на хлориде и сульфате аммония. Вышеописанный результат послужил основанием для проведения опытно-промышленных испытаний S-Drill™ BND 40 в качестве отвердителя в количестве 5% к массе абсолютно сухой кар-

бамидоформальдегидной смолы с полным выведением из потока отвердителя в виде сульфата аммония и акцептора формальдегида в виде карбамида. Результаты испытаний приведены в табл. 4–5. Испытания MDF проводили в соответствии с требованиями EN 323:1993 по показателю плотности, EN 322:1993 – показателю влажности, EN 317:1993 – показателю разбухания по толщине за 24 ч, EN 319:1993 – показателю прочности на поперечное растяжение, EN 310:1993 – показателям прочности на изгиб и модуля эластичности при изгибе, ISO 12460-5 – показателю содержания формальдегида. При этом отбор образцов MDF был выполнен в соответствии с требованиями EN 326-1:1994; EN 321:2001.

Из табл. 4 видно, что уровень физико-механических показателей соответствовал требованиям СТБ EN 622-5-2009, EN 622-1:2003.

При проведении экологических исследований были использованы следующие технические нормативные правовые акты (ТНПА) на методы отбора проб: ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; СанПиН и Гигиенический норматив, утвержденные Постановлением Министерства здравоохранения от 11.10.2017 г. № 92, ГОСТ 12.1.014–84 «Методы измерения концентрации вредных веществ индикаторными трубками».

При исследованиях были применены аттестованные и своевременно проверенные средства измерения и исследовательское оборудование: термогигрометр ТКА-ПКМ-20, барометр-анроид, пробоотборник воздуха автоматический ОП-442ТЦ, фотометр фотоэлектрический КФК-3-ЗОМЗ, весы лабораторные электронные РА214С Pionner, секундомер СОПпр-2а-3-000.

Результаты исследований воздуха рабочей зоны на содержание формальдегида (№ CAS 50-00-0, класс опасности 2) в период проведения контрольных (периодических) и внеплановых исследований реагента S-Drill™ BND 40 показали снижение максимальной разовой концентрации формальдегида в воздухе рабочей зоны на участке «пресс – широкий проход» с 2,62 до 1,15 мг/м³, на участке «отделение kleеприготовления, совмещенного с участком горячего прессования MDF», – с 1,61 до 0,5 мг/м³.

В то же время дозировки реагента S-Drill™ BND 40 оказалось недостаточно для связывания формальдегида в плитах до класса эмиссии E1, поэтому специалистами СООО «СинерджиКом» была проведена доработка состава лигнинового биоотвердителя и разработан реагент S-Drill™ BND 20, представляющий собой аммониевую модификацию с pH, равным 2,5 с учетом особенностей осмоления волокна в технологии MDF.

Таблица 4
**Сравнительные результаты испытаний реагента S-Drill™ BND 40 в качестве отвердителя
 в количестве 5% к массе абсолютно сухой карбамидоформальдегидной смолы
 в производстве МДФ толщиной 16 мм**

Наименование показателя	Норма по ТНПА	Значение	
		контрольный образец с отвердителем (сульфат аммония) и акцептором формальдегида (карбамид)	экспериментальный образец с отвердителем (S-Drill™ BND 40) без карбамида
Плотность, кг/м ³	650–850	796	797
Содержание влаги, %	Для толщины > 12–19 мм: 4–11	4,2	3,8
Разбухание по толщине за 24 ч, %	Для толщины > 12–19 мм: не более 12	8,2	9,5
Прочность на поперечное растяжение, МПа	Для толщины > 12–19 мм: не менее 0,55	0,94	0,66
Прочность на изгиб, МПа	Для толщины > 12–19 мм: не менее 20	41,31	37,86
Модуль эластичности при изгибе, Н/мм ²	Для толщины > 12–19 мм: не менее 2500	4296,15	4137,20
Содержание формальдегида, мг/100 г абсолютно сухой плиты	Класс эмиссии формальдегида Е1: ≤ 8	7,31	9,00

Для оценки возможности использования новой модификации в качестве отвердителя были проведены промышленные испытания с выведением из потока сульфата аммония и использованием реагента S-Drill™ BND 20 в количестве 1% к массе абсолютно сухой карбамидоформальдегидной смолы. Результаты представлены в табл. 6. Отбор проб плит на испытания и сами испытания проводили способом, описанным выше.

Из табл. 6 следует, что наблюдалось повышение физико-механических показателей МДФ по сравнению с контрольным образцом в целом на 33% и снижение токсичности изготавливаемой продукции на 11%. При этом образец соответствовал требованиям EN 622-1:2003 «Плиты

древесноволокнистые. Технические условия. Часть 1. Общие требования» и EN 622-5:2009 «Плиты древесноволокнистые. Технические условия. Часть 5. Требования к плитам, изготовленным по сухому методу (МДФ)». В частности, такой показатель, как разбухание по толщине за 24 ч, снизился на 13,7%; прочность на поперечное растяжение увеличилась на 20%; прочность на изгиб – на 7,7%; модуль эластичности при изгибе – на 93%. Для данной рецептуры не наблюдалось отклонений в контроле профиля плотности. Анализ данных плит МДФ показал эффективность применения кислой аммониевой модификации реагента S-Drill™ BND 20 производства СООО «СинерджиКом» в качестве отвердителя карбамидоформальдегидных смол.

**Результаты исследований воздуха рабочей зоны на содержание формальдегида
 (№ CAS 50-00-0, класс опасности 2 в период проведения контрольных (периодических)
 и внеплановых исследований)**

Место отбора проб	Обнаруженная максимально разовая концентрация, мг/м ³ в период			Максимально разовая ПДК по гигиеническому нормативу, мг/м ³
	контрольных (периодических) исследований	внеплановых исследований реагента S-Drill™ BND 20	внеплановых исследований реагента S-Drill™ BND 40	
Пресс. Широкий проход	2,62	1,52	1,15	0,5
Отделение kleеприготовления, совмещенного с участком горячего прессования МДФ	1,61	0,50	0,50	0,5

Таблица 6

**Сравнительные результаты испытаний реагента S-Drill™ BND 20
в качестве отвердителя в количестве 1% к массе абсолютно сухой карбамидоформальдегидной
смолы в производстве MDF толщиной 22 мм**

Наименование показателя	Норма по ТНПА	Значение	
		контрольный образец с отвердителем (сульфат аммония) и акцептором формальдегида (карбамид)	экспериментальный образец с отвердителем (S-Drill™ BND 20) и акцептором формальдегида (карбамид)
Плотность, кг/м ³	650–850	790	761
Содержание влаги, %	Для толщины > 19–30 мм: 4–11	4,1	4,8
Разбухание по толщине за 24 ч, %	Для толщины > 19–30 мм: не более 10	9,5	8,2
Прочность на поперечное растяжение, МПа	Для толщины > 19–30 мм: не менее 0,55	0,70	0,84
Прочность на изгиб, МПа	Для толщины > 19–30 мм: не менее 18	41,03	44,17
Модуль эластичности при изгибе, Н/мм ²	Для толщины > 19–30 мм: не менее 2100	3987,84	7704,08
Содержание формальдегида, мг/100 г абсолютно сухой плиты	Класс эмиссии формальдегида E1: ≤ 8	7,08	6,29

В связи с возможностью уменьшить время желатинизации КФС при использовании лигнинового биоотвердителя и повысить физико-механические показатели древесноволокнистых плит было принято решение увеличить производительность линии по производству MDF за счет использования нового состава связующего и уменьшения цикла прессования с 310 до 290 с с разработкой новых режимов прессования для однопролетного пресса периодического действия с нагревающимися плитами (фирма PAGNONI IMPIANTI, Италия).

Новый состав связующего характеризовался общей концентрацией 48,05% и включал смолу марки КФС-О, отвердитель в виде модификации реагента S-Drill™ BND 20 в количестве 1,5%, акцептор формальдегида (карбамид) в количестве 3,4% к массе абсолютно сухой карбамидоформальдегидной смолы. Производительность линии была увеличена на 6,5% и подобраны следующие параметры прессования: $T_4 = 170$ с, $P_5 = 125$ бар, $T_2 = 21$ с, $T_3 = 5$ с, $T_7 = 10$ с, $T = 207 / 202$. Результаты приведены в табл. 7.

Было установлено некоторое снижение физико-механических показателей плит, которые, однако, соответствовали требованиям стандартов EN 622-1:2003 и EN 622-5:2009, за исключением показателя разбухания по толщине за 24 ч, который повысился с 9,9 до 15,0% (табл. 7).

Для устранения указанного недостатка была проведена последняя серия опытно-промышленных испытаний (табл. 8), которая характеризова-

лась увеличением производительности линии на 4% ($T_{общ}$ уменьшили с 470 до 450 с). Технологию апробировали на сложных в изготовлении плитах толщиной 28 мм. На повышение производительности выходили поэтапно в течение 1 ч, в результате чего были подобраны следующие параметры прессования: $T_{пресса} = 208/203^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 297$ с, $P_1 = 35$ бар, $P_5 = 140$ бар, $T_{цикла} = 450$ с. Состав связующего характеризовался расходом реагента S-Drill™ BND 20 1,7% к массе абсолютно сухой карбамидоформальдегидной смолы, дозируемой в количестве 8,9% к абсолютно сухому волокну, с исключением из рецептуры отвердителя в виде сульфата аммония, расходом карбамида – 3,3% к абсолютно сухой карбамидоформальдегидной смоле с доведением связующего водой до общей концентрации 48,49%. Расход парафина составил 0,45% к абсолютно сухому волокну.

Из табл. 8 видно, что все показатели качества и безопасности образцов, полученные при использовании лигнинового биоотвердителя, в сравнении с контрольными образцами находились на одном уровне и соответствовали требованиям EN 622-1:2003 и EN 622-5:2009 при повышении производительности линии на 4%. Анализ показателей плит MDF показал, что лигниновый биоотвердитель S-Drill™ BND 20 (аммонийная модификация, pH 2,5) производства СООО «СинерджиКом» является не только альтернативой классическому отвердителю карбамидоформальдегидных смол (сульфату аммония), но и обладает более высокой эффективностью по сравнению с ним.

Таблица 7

**Сравнительные результаты испытаний реагента S-Drill™ BND 20
в качестве отвердителя в количестве 1,5% к массе абсолютно сухой карбамидоформальдегидной
смолы в производстве МДФ толщиной 22 мм при повышении производительности линии на 6,5%**

Наименование показателя	Норма по ТНПА	Значение	
		контрольный образец с отвердителем (сульфат аммония) и акцептором формальдегида (карбамид)	экспериментальный образец с отвердителем (S-Drill™ BND 20) и акцептором формальдегида (карбамид)
Плотность, кг/м ³	650–850	790	760
Содержание влаги, %	Для толщины > 19–30 мм: 4–11	4,1	4,3
Разбухание по толщине за 24 ч, %	Для толщины > 19–30 мм: не более 10	9,5	15,0
Прочность на поперечное растяжение, МПа	Для толщины > 19–30 мм: не менее 0,55	0,70	0,60
Прочность на изгиб, МПа	Для толщины > 19–30 мм: не менее 18	41,03	39,72
Модуль эластичности при изгибе, Н/мм ²	Для толщины > 19–30 мм: не менее 2100	3987,84	4086,66
Содержание формальдегида, мг/100 г абсолютно сухой плиты	Класс эмиссии формальдегида Е1: ≤ 8	7,08	6,29

Сравнительный анализ результатов контроля воздуха рабочей зоны по формальдегиду в цехе по производству МДФ подтвердил способность нового состава реагента S-Drill™ BND 20 к связыванию формальдегида (см. табл. 5). Установлено снижение уровня максимальной

разовой концентрации формальдегида в зоне широкого прохода пресса с 2,62 до 1,51 мг/м³ (снижение на 42%), а также в зоне клееприготовления, совмещенной с участком горячего прессования МДФ с 1,6 до 0,5 мг/м³ (снижение на 69%).

Таблица 8

**Сравнительные результаты испытаний реагента S-Drill™ BND 20
в качестве отвердителя в количестве 1,7% к массе абсолютно сухой карбамидоформальдегидной
смолы в производстве МДФ толщиной 28 мм при повышении производительности линии на 4,0%**

Наименование показателя	Норма по ТНПА	Значение	
		контрольный образец с отвердителем (сульфат аммония) и акцептором формальдегида (карбамид)	экспериментальный образец с отвердителем (S-Drill™ BND 20) и акцептором формальдегида (карбамид)
Плотность, кг/м ³	650–850	777	755
Содержание влаги, %	Для толщины > 19–30 мм: 4–11	4,2	3,6
Разбухание по толщине за 24 ч, %	Для толщины > 19–30 мм: не более 10	9,8	10,0
Прочность на поперечное растяжение, МПа	Для толщины > 19–30 мм: не менее 0,55	0,73	0,73
Прочность на изгиб, МПа	Для толщины > 19–30 мм: не менее 18	32,07	34,22
Модуль эластичности при изгибе, Н/мм ²	Для толщины > 19–30 мм: не менее 2100	4154,13	4184,41
Содержание формальдегида, мг/100 г абсолютно сухой плиты	Класс эмиссии формальдегида Е1: ≤ 8	6,96	6,88

При этом для от деления kleepриготовления, совмещенного с участком горячего прессования MDF, был обеспечен уровень требований СанПиН и Гигиенического норматива, утвержденных Постановлением Министерства здравоохранения от 11.10.2017 г. № 92.

Заключение. Таким образом, лигниновый биоотвердитель S-DrillTM BND 20 (аммонийная

модификация, pH 2,5) производства СООО «СинерджиКом» может быть использован в качестве отвердителя для увеличения производительности линии на 4%, обеспечивающего стабильность физико-механических свойств и содержание свободного формальдегида в MDF, а также повышение уровня экологической безопасности производства древесноволокнистых плит средней плотности.

Список литературы

1. Леонович А. А. Физико-химические основы образования древесных плит. СПб.: Химиздат, 2003. 192 с.
2. Li J., Zhang Y., Balart Gimeno R. A. Morphology and Crystallinity of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Molar Ratios // Polymers. 2021. Vol. 13. DOI: 10.3390/polym13050673.
3. Кондратьев В. П., Кондращенко В. И., Шредер В. Е. Синтетические смолы в деревообработке. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 412 с.
4. Исследование свойств модифицированных карбамидоформальдегидных kleев для изготовления фанеры / А. Н. Чубинский [и др.] // Лесной вестник. 2018. Т. 22, № 5. С. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-103-112.
5. Леонович А. А., Войтова Т. Н. Повышение экологической безопасности древесностружечных плит // Лесной журнал. 2014. № 6. С. 120–128.
6. Влияние модификаторов на технологические параметры модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров / В. И. Азаров [и др.] // Лесной вестник. 2009. № 2. С. 129–133.
7. Вьюнков С. Н. Влияние карбамида на отверждение карбамидоформальдегидных смол // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 226. С. 155–161. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.155-161.
8. Разработка технологии модификации карбамидоформальдегидных смол / Д. А. Перминова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 1. С. 159–162.
9. Использование модифицированного лигнина для снижения токсичности древесных плит / И. В. Тимофеев [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 22. С. 240–253. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.222.240-253.
10. Модификация карбамидоформальдегидных олигомеров углеродными нанотрубками / А. Н. Обливин [и др.] // Лесной вестник. 2012. № 7. С. 121–124.
11. Свиридов А. В., Акаев О. П., Зверева Ю. В. Модификация карбамидоформальдегидной смолы активированным кремнегелем // Вестник КГУ имени Н. А. Некрасова. 2011. № 1. С. 27–29.
12. Угрюмов С. А. Оценка эффективности модификации карбамидоформальдегидных смол олеиновой кислотой применительно к производству древесных плит // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 3 (35). С. 49–57. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.3.49.
13. Клеевая композиция для изготовления древесностружечных композиционных материалов / С. В. Пикулев [и др.] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20, № 4. С. 145–154. DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-145-154.
14. Катионные крахмалы – перспективные модификаторы аминоальдегидных олигомеров / С. М. Тарасов [и др.] // Лесной вестник. 2010. № 5. С. 152–156.
15. Глазков С. С., Снычева Е. В., Мурзин В. С. Стабилизация показателей карбамидоформальдегидных смол спиртами // Лесной журнал. 2005. № 6. С. 100–105.
16. Тарасов С. М., Азаров В. И., Иванова А. М. Модификация аминоальдегидных олигомеров водорастворимыми солями кремниевой кислоты // Лесной вестник. 2012. № 3. С. 132–137.
17. Леонович А. А. Новые древеснолитные материалы. СПб.: Химиздат, 2008. 160 с.
18. Density Profile as a Tool in Assessing Quality of New Composite / U. B. Belini [et al.] // Materials Research. 2014. Vol. 17 (1). P. 138–145. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392013005000186>.
19. Thoemen H., Ruf C. Measuring and simulating the effects of the pressing schedule on the density profile development in wood-based composites // Wood and Fiber Science. 2008. Vol. 40 (3). P. 325–338.

References

1. Leonovich A. A. *Fiziko-khimicheskiye osnovy obrazovaniya drevesnykh plit* [Physico-chemical basis for the formation of wood boards]. Saint Petersburg, Khimizdat Publ., 2003. 193 p. (In Russian).
2. Li J., Zhang Y., Balart Gimeno R. A. Morphology and Crystallinity of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Molar Ratios. *Polymers*, 2021, vol. 13. DOI: 10.3390/polym13050673.
3. Kondrat'yev V. P., Kondrashchenko V. I., Shreder V. Y. *Sinteticheskiye smoly v derevoobrabotke* [Synthetic resins in woodworking]. Saint Petersburg, Izdatelstwo Polytechnicheskogo Universiteta Publ., 2013. 412 p. (In Russian).
4. Chubinskiy A. N., Rusakov D. S., Varankina G. S., Rusakova L. N. Investigation of the properties of modified urea-formaldehyde adhesives for the manufacture of plywood. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], 2018, vol. 22, no. 5, pp. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-103-112 (In Russian).
5. Leonovich A. A., Voytova T. N. Improving the environmental safety of particle boards. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal], 2014, no. 6, pp. 120–128 (In Russian).
6. Azarov V. I., Kononov G. N., Verevkin A. N., Drozdova V. S. Effect of modifiers on the technological parameters of modified urea-formaldehyde oligomers. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], 2009, no. 2, pp. 129–133 (In Russian).
7. V'yunkov S. N. The effect of urea on the curing of urea-formaldehyde resins. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2019, issue 226, pp. 155–161. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.155-161 (In Russian).
8. Perminova D. A., Mal'kov V. S., Knyazev A. S., Dakhnavi E. M. Development of technology for modification of urea-formaldehyde resins. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 1, pp. 159–162 (In Russian).
9. Timofeyev I. V., Ivanov D. V., Leonovich A. A., Krutov S. M. Usage of modified lignin to reduce the toxicity of wood boards. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2018, issue 222, pp. 240–253. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.222.240-253 (In Russian).
10. Oblivin A. N., Semochkin A. Y., Semochkin Y. A., Lopatnikov M. V. Modification of urea-formaldehyde oligomers with carbon nanotubes. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], 2012, no. 7, pp. 121–124 (In Russian).
11. Sviridov A. V., Akayev O. P., Zvereva Y. V. Modification of urea-formaldehyde resin with activated silica gel. *Vestnik KGU imeni N. A. Nekrasova* [Bulletin of the Kostroma State University named after N. A. Nekrasov], 2011, no. 1, pp. 27–29 (In Russian).
12. Ugryumov S. A. Efficiency Evaluation of urea-formaldehyde resins modified with oleic acid in wood panel industry. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volga State Technological University], series Forest. Ecology. Nature management, 2017, no. 3 (35), pp. 49–57. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.3.49 (In Russian).
13. Pikulev V. S., Sarkisov Y. S., Gorlenko N. P., Klopotov I. A., Rakhmanova I. A. Adhesive compound for production of wood chipboard composite materials. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2018, vol. 20, no. 4, pp. 145–154. DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-145-154 (In Russian).
14. Tarasov S. M., Azarov V. I., Kononov G. N., Ivanova A. M. Cationic starches are promising modifiers of aminoaldehyde oligomers. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], 2010, no. 5, pp. 152–156 (In Russian).
15. Glazkov S. S., Snycheva Y. V., Murzin V. S. Stabilization of urea-formaldehyde resins with alcohols. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal], 2005, no. 6, pp. 100–105 (In Russian).
16. Tarasov S. M., Azarov V. I., Ivanova A. M. Modification of aminoaldehyde oligomers with water-soluble salts of silicic acid. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], 2012, no. 3, pp. 132–137 (In Russian).
17. Leonovich A. A. *Novyye drevesnoplitnyye materialy* [New wood-based materials]. Saint Petersburg, Khimizdat Publ., 2008. 160 p. (In Russian).
18. Belini U. L., Fiorelli J., Savastano Jr. H., Tomazello Filho M. Density Profile as a Tool in Assessing Quality of New Composite. *Materials Research*. 2014, vol. 17 (1), pp. 138–145. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392013005000186>.
19. Thoemen H., Ruf C. Measuring and simulating the effects of the pressing schedule on the density profile development in wood-based composites. *Wood and Fiber Science*. 2008, vol. 40 (3), pp. 325–338.

Информация об авторах

Кожемяко Александр Александрович – соискатель, заместитель генерального директора по производству. ОАО «Витебскдрев» (210008, Республика Беларусь, г. Витебск, переулок Стакановский, 7, Республика Беларусь). E-mail: kozhemyako.a@wood.by

Дубоделова Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: katedubodelova@tut.by

Гончар Александр Николаевич – заместитель директора по научной работе. СООО «СинерджиКом» (247484, д. Пригородная, Речицкий район, Гомельская область, ул. Урожайная, 5, Республика Беларусь). E-mail: agonchar@synergyhorizon.com

Шпак Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: spak_s@belstu.by

Information about the authors

Kozhemyako Aleksandr Aleksandrovich – external doctorate student, Deputy General Director for producing. JSC “Vitebskdrrev” (7, Stakhanovsky lane, 210008, Vitebsk, Republic of Belarus). E-mail: kozhemyako.a@wood.by

Dubodelova Ekaterina Vladimirovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: katedubodelova@tut.by

Gonchar Aleksandr Nikolayevich – Deputy Chief. LLC “SynergyCom” (5, Urozhaynaya str., 247484, Prigorodnaya village, Rechitsky distr, Gomel region, Republic of Belarus) E-mail: agonchar@synergyhorizon.com

Shpak Sergey Ivanovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: spak_s@belstu.by

Поступила 11.05.2022