УДК 678.652'41.023.2

Тырышкин Дмитрий Сергеевич, студент
(АлтГТУ им. И. И. Ползунова, г. Барнаул)
Горелова Ольга Михайловна, доцент международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология», к. т. н.
(АлтГТУ им. И. И. Ползунова, г. Барнаул)

Dmitry Sergeevich Tyryshkin, student
(Altai State Technical University named after I. I. Polzunov, Barnaul)
Olga Mikhailovna Gorelova, Associate Professor at the UNESCO International Department “Engineering Ecology,” Candidate of Technical Sciences (Altai State Technical University named after I. I. Polzunov, Barnaul)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧНОСТИ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ

RESEARCH INTO IMPROVING THE ECOLOGICAL FRIENDLINESS OF CARBAMIDOMETHYLFORMALDEHYDE RESIN

Аннотация: сегодня карбамидоформальдегидная смола (КФС) важна и имеет широкое применение в промышленности. При эксплуатации КФС в атмосферу выделяется токсичный формальдегид, который плохо влияет на экологию. Современные технологии позволяют сделать КФС менее токсичной, для этого применяют модификаторы.

Abstract: today, urea-formaldehyde resin (UFR) is important and has wide applications in industry. During the use of UFR, toxic formaldehyde is released into the atmosphere, which has a negative impact on the environment. Modern technologies make it possible to make UFR less toxic; for this purpose, modifiers are used.

Карбамидоформальдегидная смола – это синтетический полимер, который получают в результате реакции поликонденсации карбамида (мочевины) с формальдегидом. По химической природе она относится к группе аминопластов. КФС является самым распространённым связующим компонентом для древесины и имеет ряд плюсов по сравнению с другими смолами: дешевизна, низкий расход (8 – 12 % смолы от массы сухого волокна), склеивание при низких температурах (отверждается при 90 – 120 ºС), высокая скорость отверждения (от 3 до 8 мин.), хорошая адгезия к древесине и бумаге.

Помимо вышеприведённых преимуществ КФС имеет ключевой недостаток, создающий экологические проблемы – химическая

нестабильность. В отличие от фенольных смол, карбамидформальдегидные вступают в реакцию гидролиза, из-за чего изделие выделяет формальдегид (ФА) десятки лет, а не только в момент производства [1].

Экологические проблемы производства применения КФС:

1. Долговременная эмиссия в воздух помещений: формальдегид выделяется из готовой продукции (ДСП, МДФ, фанера, мебель, утеплитель) в течение всего срока службы. Скорость выделения растет с температурой и влажностью. Исследования мобильных домов из ДСП в 1970-х годах показывали концентрации поллютанта до 1.77 ppm, при том что симптомы раздражения у людей начинались уже при 0.1 ppm [2].
2. Сложность утилизации и переработки.

Наличие синтетических смол ограничивает возможность переработки и финальной утилизации древесных плит. Сжигание таких отходов требует контроля выбросов [3].

3. Загрязнение на производстве.

При горячем прессовании происходит интенсивное выделение формальдегида, что требует мощной локальной вентиляции. Рабочие зоны (прессы, склады свежих плит) – источники хронического профессионального отравления [4].

Формальдегид официально признан канцерогеном, имеет общетоксическое, мутагенное, репротоксическое, сенсибилизирующее действие [5].

Целью данной работы является исследование способов модификации состава КФС для снижения эмиссии формальдегида при сохранении ее технологических преимуществ.

Снижение токсичности КФС с экологической точки зрения – это комплексная задача. Основные подходы делятся на модификацию самой смолы (чтобы связать формальдегид внутри) и введение добавок-поглотителей, удерживающих впоследствии образующийся токсикант в объеме изделия и не выпускающих его в атмосферу.

При модификации состава смолы, зачастую снижают мольное соотношение карбамида к ФА, что является основным путем снижения токсичности. Современные исследования показали возможность получения конденсатов на основе глиоксаля и мочевины для связующих. В настоящее время стремительно развивается направление получения карбамидоглиоксалевых связующих, где глиоксаль (3 класс опасности) заменяет ФА (2 класс) [6, 7]. Добавление меламина в композицию смолы (например, 6%) на стадии доконденсации позволяет снизить содержание формальдегида в ДСП до 3,5–3,8 мг/100 г [8, 9].

Введение в рецептуру КФС поглотителей формальдегида, также улучшает ее экологические характеристики. Введение дополнительного количества мочевины (7.5 – 15 % от массы жидкой смолы) в качестве поглотителя ФА перед использованием снижает эмиссию формальдегида из

отвержденной смолы [10]. Сульфат гуанилмочевины, синтезированный при мольном соотношении 1:0.5, встраивается в структуру отверждающейся смолы и эффективно снижает токсичность без ухудшения физико-механических свойств, поглощая ФА [11]. Добавление в традиционную композицию КФС 40%-ного спиртового раствора нафтола позволяет получить низкотоксичную клеевую композицию (ФА 8.2 – 12.1 %). Это позволяет снизить токсичность плитных материалов на порядок за счет сорбции свободного формальдегида [12]. Введение сахаров, лигносульфонатов также значительно снижает токсичность КФС.

Ранее изучались направления улучшения таких свойств ДСП с использованием КФС смолы в качестве связующего, как ударная вязкость, механическая прочность, огнестойкость [13]. Улучшение потребительских свойств также способствовало снижению токсичности материала.

Галогены в карбамидоформальдегидной смоле повышают огнестойкость за счёт снижения температуры пламени в газовом слое у поверхности материала и ингибирования воспламенения.

Поливинилхлорид (ПВХ) в КФС повышает огнестойкость за счёт формирования пористого защитного слоя, который сдерживает распространение огня и снижает токсичность продуктов горения. Это свойство используется в огнезащитных композициях, где ПВХ и КФС – компоненты, которые взаимодействуют, образуя огнестойкую структуру [12].

При модификации КФС использовался гликолурил, который добавлялся в количестве от 2,5 % масс. до 3,5 % масс. При добавлении гликолурила с первой порцией карбамида с увеличением концентрации модификатора содержание формальдегида резко падает при добавлении более 2,5 % масс. Максимально низкое содержание формальдегида наблюдается при добавлении 3,5 % масс. гликолурила с первой порцией карбамида. Реагент взаимодействует с КФС, дополнительно связывая метилольные группы и образуя разветвлённую макромолекулу, что снижает содержание свободного формальдегида и повышается термогидролитическая стойкость смолы.

Глиоксаль связывает свободный формальдегид в синтезированной КФС за счёт образования производных, содержащих гидроксильные и эфирные связи. Водный раствор глиоксаля с концентрацией основного вещества не более 50 % (масс.) добавлялся в количестве 1-20 % в пересчёте на формальдегид.

При модификации КФС с использованием глиоксаля, установлено, что имидосодержащие олигомерные композиции обладают более высокой термостабильностью по сравнению с немодифицированными.

Для оценки токсичности исходной и модифицированной КФС, готовились образцы из опилок и смолы, массой 50 г. После затвердевания они помещались в герметичный контейнеры, объемом 5 л. На протяжении 6

месяцев проводились измерения содержания ФА в воздухе контейнеров линейно-колористическим методом с помощью индикаторных трубок.

Результаты исследований подтвердили эффективность добавления гликолурила, в сравнении с исходной смолой эмиссия ФА была меньше на 23 %.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния добавки полисахаридов, сахаров и лигнина на токсичность КФС.

Модификация карбамидоформальдегидных смол необходима и целесообразна, так как позволяет активно использовать данное связующее, обеспечивая минимальные экологические риски.

Список литературы

1. Проблема токсичности современных клеевых композиций и плитных материалов на их основе. – Режим доступа: URL: https://studref.com/558153/tehnika/problema_toksichnosti_sovremennyh_kleevyh_kompozitsiy_plitnyh_materialov_osnove (Дата обращения 21.10.2026).

2. Breysse, Pyotr A. "Small Plants and the Medical Problems: The Furniture Industry. The Environmental Problems of Urea-Formaldehyde Structures – Formaldehyde Exposure in Mobile Homes." Occupational Safety and Health Symposia, American Medical Association, Chicago, 1980, pp. 56-64. U.S. Department of Health and Human Services, NIOSH Publication No. 80-139.

3. Экология деревообработки: отходы, выбросы, штрафы. – Режим доступа: URL: https://arr-group.pro/ecology/ekologiya-derevoobrabotki/ (Дата обращения 20.10.2026).

4. IARC classifies formaldehyde as carcinogenic. Oncology Times. 2008;30(12):22. doi:10.1097/01.COT.0000292246.11180.99.

5. Малютина Н.Н., Тараненко Л.А. Патофизиологические и клинические аспекты воздействия метанола и формальдегида на организм человека // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2.; URL: https://science-education.ru/article/view?id=12826 (дата обращения: 19.10.2026).

6. Перминова, Д. А. Модификация карбамидоформальдегидных смол гликолурилом и глиоксалем для получения древесно-стружечных плит с пониженной эмиссией формальдегида: диссертация канд. техн. наук: 05.17.06 / Перминова Дарья Алексеевна; науч. рук. В. С. Мальков ; Нац. исслед. Том. гос. ун-т. – Томск, 2019. – 123 с.

7. Шишаков, Е. П. Получение и свойства карбамидоглиоксалевых связующих / Е. П. Шишаков, С. А. Гордейко, И. В. Николайчик // Технология органических веществ: материалы 88-й науч.-технич. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 294-298.

8. Патент RU 2510622 C1 РФ, МПК C08G 12/40. Способ получения меламинсодержащей карбамидоформальдегидной смолы [Текст] / Фирсов А. В., Михельсон Т. Н. ; заявитель и патентообладатель ООО «ВКДП». – № 2013105236/04 ; заявл. 08.02.2013 ; опубл. 10.04.2014, бюл.№10. – 11 с. : ил.

9. Патент RU 2490283 C1 РФ, МПК C08G 12/40. Способ получения карбамидомеламиноформальдегидной смолы [Текст] / Полищук С. В. – № 2012132898/04; заявл. 01.08.2012 ; опубл. 20.08.2013, бюл. № 23. – 9 с. : ил.

10. Иванов, Д. В. Исследование сульфата гуанилмочевины как модификатора древесноволокнистых плит / Д. В. Иванов, А. А. Леонович, А. С. Мазур // Химия растительного сырья. – 2019. - № 1.

11. Иванов Д. В. Исследование сульфата гуанилмочевины как модификатора древесноволокнистых плит / Д. В. Иванов, А. А. Леонович, А. С. Мазур. – Текст : непосредственный // Химия растительного сырья. – 2019. - №1. – С. 277-285.

12. Патент RU 2429267 C1 РФ, C09J 1/00, B27D 1/04. Низкотоксичная клеевая композиция для производства фанеры [Текст] / Денисов С. В., Плотников Н. П., Плотникова Г. П. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Братский государственный университет». - № 2010109134/21 ; заявл. 11.03.2010 ; опубл. 20.09.2011. – 12 с. : ил.

13. Тырышкин, Д. С. Анализ модификаторов карбамидоформальдегидной смолы для повышения огнестойкости плит ДСП и OSB / Д. С. Тырышкин. – Текст : непосредственный // Наука и молодёжь. – 2026. – Том 1. – С. 310-312.