

ГИГИЕНА/HYGIENE

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.30>

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ЭМИССИЮ ФОРМАЛЬДЕГИДА ИЗ ОТХОДА МЕБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА — ПЫЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

Научная статья

Клепиков О.В.^{1,*}, Попова Л.В.², Молоканова Л.В.³, Попова В.А.⁴, Румянцев А.В.⁵¹ ORCID : 0000-0001-9228-620X;² ORCID : 0000-0002-9648-7620;¹ Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация^{1, 2, 3, 4, 5} Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (klepa1967[at]rambler.ru)

Аннотация

Формальдегид является одним из распространенных загрязнителей воздуха рабочей зоны производственных помещений при изготовлении мебели и панелей из древесных композитов, включая древесноволокнистые плиты средней плотности (МДФ). Целью исследования являлась оценка влияния различных факторов среды на эмиссию формальдегида из отхода производства мебельных фасадов из МДФ. Работа проведена с использованием отхода древесной пыли, образовавшейся при обработке заготовок фасадов на одном из предприятий Воронежской области. Результаты эксперимента показали значительное увеличение эмиссии формальдегида при повышении температуры в диапазоне от 25 до 80°C. Аналогично выявлено, что рост влажности отходов ведет к увеличению эмиссии, при достижении влажности выше 40 мас. % наблюдается выход эмиссии на постоянный уровень. Проведенные исследования свидетельствуют о потенциальном риске превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) формальдегида в рабочих зонах предприятий деревообрабатывающей промышленности.

Ключевые слова: формальдегид, эмиссия, древесноволокнистая плита средней плотности, температура, влажность.

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON FORMALDEHYDE EMISSIONS FROM FURNITURE PRODUCTION WASTE—DUST FROM THE PROCESSING OF FIBERBOARDS

Research article

Klepikov O.V.^{1,*}, Popova L.V.², Molokanova L.V.³, Popova V.A.⁴, Rumyantsev A.V.⁵¹ ORCID : 0000-0001-9228-620X;² ORCID : 0000-0002-9648-7620;¹ Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation^{1, 2, 3, 4, 5} Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation

* Corresponding author (klepa1967[at]rambler.ru)

Abstract

Formaldehyde is one of the most common air pollutants in the working areas of production facilities involved in the manufacture of furniture and panels from wood composites, including medium-density fiberboard (MDF). The aim of the study was to evaluate the influence of various environmental factors on formaldehyde emissions from waste produced during the manufacture of MDF furniture fronts. The work was carried out using wood dust waste from the processing of front blanks at one of the enterprises in Voronezh Oblast. The results of the experiment showed a significant increase in formaldehyde emissions when the temperature was increased in the range from 25 to 80°C. Similarly, it was found that an increase in the moisture content of the waste leads to an increase in emissions, and when the moisture content exceeds 40% by mass, the emissions reach a constant level. The studies conducted indicate a potential risk of exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) of formaldehyde in the working areas of wood processing enterprises.

Keywords: formaldehyde, emission, medium-density fiberboard, temperature, humidity.

Введение

Древесные композиты широко используются в производстве мебели среднего и эконом класса благодаря своим эксплуатационным характеристикам и экономической составляющей по отношению к мебели из массива. При производстве композитов в качестве связующего в большинстве случаев используют формальдегид-содержащие клеи. В составе МДФ чаще всего применяются карбамидоформальдегидные смолы (до 90% из всех синтетических полимерных связующих), содержащих в своем составе около 0,15% свободного формальдегида [1].

Изготовление, обработка и использование подобных композитных материалов связано с выделением токсичных веществ, среди которых формальдегиду уделяется особое внимание. Начальная эмиссия формальдегида обуславливается наличием непрореагировавшего (свободного) формальдегида в смолах. Со временем начинается выделение формальдегида при реакции гидролитического разложения смолы, этот процесс может растянуться на достаточно длительное время. Известно также, что необработанная натуральная древесина также может выделять небольшое количество формальдегида из лигнина, а также из полисахаридов за счет окисления крахмала и диальгидкрамала [2].

По ГОСТ 10632-2014 установлены предельно допустимые нормы выделения формальдегида для древесных плит в зависимости от класса эмиссии: Е0,5 — 0,08 мг/м³, Е1 — 0,124 мг/м³, Е2 — 0,5 мг/м³. Однако при повышении абсолютной влажности норма выделения этого газа может увеличиться в три раза [3], [4]. Считается, что наиболее интенсивно эмиссия формальдегида из древесных композитов притекает в течение 6 месяцев. В жарком климате и в отопительный сезон скорость выделения формальдегида может ускоряться. В среднем из изделий этот альдегид выветривается около 3–5 лет [2], [5]. При этом нужно учитывать, что готовое изделие, в частности фасад, чаще всего покрыто защитно-декоративным покрытием или заламинировано пленкой, что создает определенный барьер для миграции газа.

Формальдегид обладает канцерогенными свойствами (Всемирная Организация Здравоохранения также относит этот газ к провоцирующим рак веществам) и оказывает негативное воздействие на дыхательную систему, кожу и слизистые оболочки организма человека [6], [7]. В работе [8] приведены данные об уровнях миграции формальдегида из строительных и отделочных материалов, используемых в сборно-каркасном строительстве жилых домов. Получены математические зависимости экспозиции формальдегида с нарушениями здоровья населения, построена модель эволюции риска развития заболеваний органов дыхания. Установлено, что формальдегид вызывает астму у детей и повышает сенсибилизацию к аллергенам, снижает количество лейкоцитов и эритроцитов в крови, что приводить к иммунным нарушениям. У взрослых также выявлены реакции иммунозависимого и неспецифического воспаления. Проведено прогнозирование рисков для здоровья населения:

- при воздействии формальдегида до 0,010 мг/м³ дополнительный риск болезней органов дыхания отсутствует;
- при 0,020 мг/м³ риски могут формироваться через 22 года;
- при 0,065 мг/м³ риски возникают через 3-4 года.

При производстве фасадов из готовых плит работники особенно подвержены риску отравления формальдегидом, так как при распиловке и обрезке, а также шлифовке поверхности заготовок фасадов образуется мелкодисперсная пыль МДФ, относящаяся к 4 классу опасности по ФККО. Частички этой пыли не имеют защитного барьера и наиболее сильно ввиду своих размеров подвержены влиянию внешних факторов, которые могут интенсифицировать эмиссию формальдегида, в том числе и из-за гидролитического разложения kleящей смолы и самой древесины.

Согласно СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» ПДК рабочей зоны для формальдегида составляет 0,5 мг/м³, однако в реальных условиях, по данным Е.М. Разинькова, концентрация формальдегида может превышать это значение [9].

Таким образом, контроль уровня загрязнения воздуха рабочей зоны формальдегидом также является важным аспектом охраны здоровья работников и соблюдения санитарно-гигиенических норм.

Цель исследования заключалась в изучении закономерностей изменения интенсивности выделения формальдегида из мелкодисперсной пыли МДФ в условиях варьирования температуры и влажности окружающей среды.

Методы и принципы исследования

Для анализа был взят образец пыли МДФ с производственной площадки одного из предприятий по изготовлению мебельных фасадов. Пыль с участка шлифования поверхности изделия (перед нанесением клея и защитно-декоративной пленки) представляет собой мелкодисперсный порошок, состоящий из древесных волокон, покрытых kleевым связующим.

Эмиссия формальдегида определялась методом [10], основанном на реакции формальдегида с ацетилацетоном в среде уксуснокислого аммония с образованием продукта, окрашенного в желтый цвет, и последующем измерении оптической плотности раствора на фотоэлектроколориметре при длине волны 412 нм. Массу формальдегида в пробе определяли по заранее построенному градуировочному графику зависимости оптической плотности от массы формальдегида в растворе. Концентрация формальдегида в пробе определялась по формуле:

$$C=m/V,$$

где С — концентрация формальдегида, мг/м³;

м — масса формальдегида во всей пробе, найденная по градуировочному графику, мг;

V — объем пропущенного воздуха, м³.

Определение эмиссии формальдегида осуществлялось на лабораторной установке (рисунок 1).

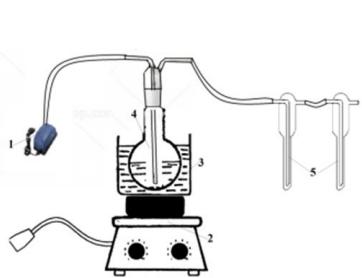


Рисунок 1 - Лабораторная установка для определения содержания формальдегида
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.30.1>

Примечание: 1 – насос, 2 – электрическая плитка, 3 – водяная баня, 4 – колба с источником формальдегида, 5 – поглотительные сосуды

В колбу помещали 10 г пыли МДФ, через которую аспирировали воздух со скоростью 1,2 дм³/мин. в течение 30 мин. в два последовательно соединенных поглотительных сосуда Зайцева с 5 см³ поглотительного раствора. При изучении влияния температуры измерения проводили при температуре помещения 25°C, а затем от 30 до 80°C с шагом 10±2°C. При изучении влияния влажности на эмиссию формальдегида, обусловленной в том числе и гидролизом полимерной смолы, проводили при температуре 50°C, значение влажности отхода меняли от 0 до 80 мас. % с шагом 10 мас. % добавлением дистилированной воды в отход.

Основные результаты

При повышении температуры от комнатной 25°C до достаточно высокой 80°C наблюдалось постепенное увеличение интенсивности эмиссии формальдегида. Это связано с активизацией процесса испарения свободного формальдегида и разрушением полимера при нагревании пыли МДФ. Чем выше температура воздействия, тем больше молекул формальдегида высвобождается из связующего компонента (рисунок 2).

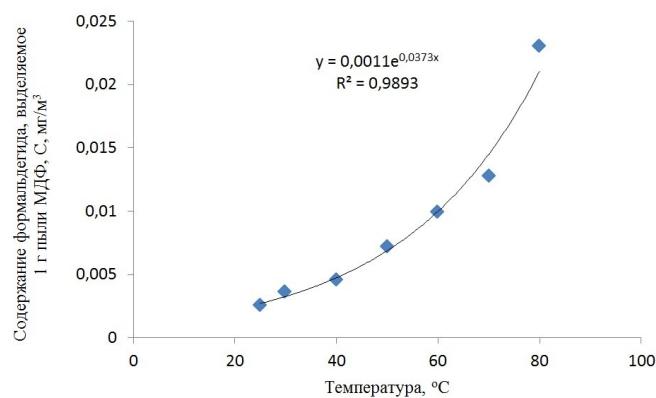


Рисунок 2 - Влияние температуры на эмиссию формальдегида из отхода – пыль МДФ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.30.2>

Полученные данные показывают, что при температуре 25°C достаточно наличия в зоне дыхания 200 г пыли МДФ, чтобы был превышен норматив ПДК рабочей зоны для формальдегида, при 30°C – 140 г, а в летние жаркие дни при температуре 40°C – 110 г.

Изучение содержания влаги в отходе МДФ на эмиссию формальдегида выявило следующее: при увеличении влажности отходов эмиссия растёт, достигая практически постоянного значения при влажности выше 40 мас. % (рисунок 3).

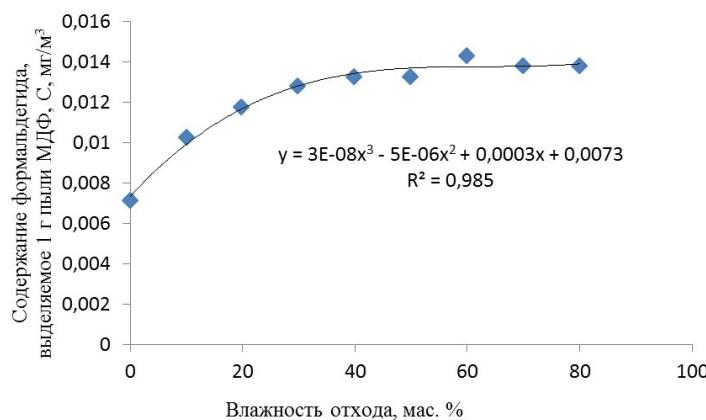


Рисунок 3 - Влияние влажности на эмиссию формальдегида из отхода – пыль МДФ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.30.3>

Это может быть объяснено насыщением отходов водой необходимой для протекания реакции гидролитического разложения карбамидоформальдегидные смолы, что приводит к стабилизации уровня эмиссии.

При минимальной влажности отхода 10 мас. % достаточно наличия в зоне дыхания 50 г пыли МДФ, чтобы был превышен норматив ПДК рабочей зоны для формальдегида, при влажности 40 мас. % и более всего 38 г пыли.

Обсуждение

Полученные экспериментальные данные подтверждают существенное влияние температуры и влажности на выделение формальдегида из отходов производства МДФ. Повышение температуры вызывает ускорение процессов диффузии формальдегида и разрушение молекулярных связей в полимерных матрицах клея. Аналогично, рост влажности увеличивает активность водорастворимых компонентов клея, способствуя увеличению скорости миграции формальдегида.

Результаты показали, что при стандартных условиях производства, особенно при высоких температурах и влажности, концентрация формальдегида в воздухе может превышать ПДК рабочей зоны (0,5 мг/м³). В некоторых случаях, особенно при недостаточной вентиляции и отсутствии эффективных систем очистки воздуха, уровни формальдегида могут достигать критических значений, представляющих серьёзную угрозу для здоровья работников.

Эти выводы важны для разработки рекомендаций по снижению негативного воздействия формальдегидной эмиссии на рабочих местах и жилых помещениях. Важно учитывать сезонные колебания климата и правильно выбирать условия эксплуатации изделий из МДФ, минимизируя риски повышения концентраций токсичного вещества.

Заключение

Результаты исследования показывают, что температура и влажность оказывают значительное влияние на выделение формальдегида из отходов МДФ. Полученные данные подтверждают, что в цехах по производству фасадов из МДФ, особенно при шлифовании заготовок из панелей, эмиссия формальдегида может значительно превышать ПДК рабочей зоны, что создаёт высокий риск для здоровья персонала. В связи с этим в цехах по производству изделий из МДФ требуется внедрение эффективных мер по снижению воздействия: улучшение вентиляции, автоматизация процессов, использование средств индивидуальной защиты, регулярный мониторинг концентраций и медицинское наблюдение за работниками.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.30.4>

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.30.4>

Список литературы / References

1. Жук П.М. Анализ способов снижения эмиссии формальдегида из древесных плит / П.М. Жук // Международный научно-исследовательский журнал. — 2017. — 11-4(65). — С. 36–40. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30772798_96306893.pdf (дата обращения: 27.10.25). — DOI: 10.23670/IRJ.2017.65.117
2. Разиньков Е.М. Миграция формальдегида из древесно-стружечных плит / Е.М. Разиньков // Лесотехнический журнал. — 2013. — 4(12). — С. 117–125. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21104501_79357736.pdf (дата обращения: 27.10.25).
3. ГОСТ 10632-2014 Плиты древесно-стружечные. Технические условия. — Введ. 2014-01-01. — Москва : Стандартинформ, 2014. — 16 с.
4. Плотников С.М. Оценка способов снижения эмиссии формальдегида из древесных плит / С.М. Плотников, Б.Д. Руденко // Актуальные проблемы лесного комплекса. — 2020. — 57. — С. 47–50. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42827656_20163400.pdf (дата обращения: 27.10.25).
5. Плотников С.М. Анализ эмиссии формальдегида из древесных плит / С.М. Плотников, Б.Д. Руденко // Актуальные проблемы лесного комплекса. — 2017. — 50. — С. 29–32. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30763334_60398080.pdf (дата обращения: 27.10.25).
6. Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ (база данных). — Москва : Филиал РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 2024. — URL: <https://troh.v.ru/online/> (дата обращения 10.10.2025).
7. Разиньков Е.М. Анализ допустимого уровня формальдегида в воздухе / Е.М. Разиньков // Современные машины, оборудование и ИТ-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 17 июня 2021 года. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. — 2021. — 1. — С. 299–303. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_46628227_14302194.pdf (дата обращения: 28.10.25). — DOI: 10.34220/MMEITSIC2021_299-303
8. Никифорова Н.В. К проблеме нормирования миграции формальдегида из полимерсодержащих строительных, отделочных материалов и мебели / Н.В. Никифорова, И.В. Май // Гигиена и санитария. — 2018. — 97(1). — С. 43–49.

- URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_32834915_21807229.pdf (дата обращения: 28.10.25). — DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-43-49
9. Разиньков Е.М. Загазованность формальдегидом воздуха от производства древесно-стружечных плит / Е.М. Разиньков // Лесотехнический журнал. — 2012. — 3(7). — С. 30–33. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17957811_65155160.pdf (дата обращения: 28.10.25).
10. РД 52.04.823-2015 Массовая концентрация формальдегида в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений фотометрическим методом с ацетиляцетоном. — Санкт-Петербург, 2016. — 50 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhuk P.M. Analiz sposobov snizheniya e'missii formal'degida iz drevesny'x plit [Analysis of methods for reducing formaldehyde emissions from wood panels] / P.M. Zhuk // International Research Journal. — 2017. — 11-4(65). — P. 36–40. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30772798_96306893.pdf (accessed: 27.10.25). — DOI: 10.23670/IRJ.2017.65.117 [in Russian]
2. Razin'kov E.M. Migraciya formal'degida iz drevesno-struzhechny'x plit [Migration of formaldehyde from particleboard] / E.M. Razin'kov // Forestry Engineering Magazine. — 2013. — 4(12). — P. 117–125. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21104501_79357736.pdf (accessed: 27.10.25). [in Russian]
3. GOST 10632-2014 Pliti drevesno-struzhechnie. Tekhnicheskie usloviya [GOST 10632-2014 Particle Board. Technical Specifications]. — Introd. 2014-01-01. — Moscow : Standartinform, 2014. — 16 p. [in Russian]
4. Plotnikov S.M. Ocenka sposobov snizheniya e'missii formal'degida iz drevesny'x plit [Evaluation of methods for reducing formaldehyde emissions from wood panels] / S.M. Plotnikov, B.D. Rudenko // Actual problems of the forest complex. — 2020. — 57. — P. 47–50. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42827656_20163400.pdf (accessed: 27.10.25). [in Russian]
5. Plotnikov S.M. Analiz e'missii formal'degida iz drevesny'x plit [Analysis of formaldehyde emission from wood panels] / S.M. Plotnikov, B.D. Rudenko // Current problems of the forest complex. — 2017. — 50. — P. 29–32. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30763334_60398080.pdf (accessed: 27.10.25). [in Russian]
6. Federal'nyj registr potencial'no opasnyh himicheskikh i biologicheskikh veshchestv (baza dannyh) [Federal Register of Potentially Dangerous Chemical and Biological Substances (database)]. — Moscow : Branch of the Russian Academy of Medical Sciences FBUN "FNTSG named after F.F. Erisman" by Rospotrebnadzor, 2024. — URL: <https://rpohv.ru/online/> (accessed 10.10.2025). [in Russian]
7. Razin'kov E.M. Analiz dopustimogo urovnya formal'degida v vozduxe [Analysis of the permissible level of formaldehyde in the air] / E.M. Razin'kov // Modern Machines, Equipment, and IT Solutions for the Timber Industry: Theory and Practice: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, June 17, 2021.. — 2021. — 1. — P. 299–303. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_46628227_14302194.pdf (accessed: 28.10.25). — DOI: 10.34220/MMEITSIC2021_299-303 [in Russian]
8. Nikiforova N.V. K probleme normirovaniya migracii formal'degida iz polimersoderzhashhix stroitel'ny'x, otdelochny'x materialov i mebeli [On the problem of regulating the migration of formaldehyde from polymer-containing building, finishing, and furniture materials] / N.V. Nikiforova, I.V. Maj // Hygiene and sanitation. — 2018. — 97(1). — P. 43–49. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_32834915_21807229.pdf (accessed: 28.10.25). — DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-43-49 [in Russian]
9. Razin'kov E.M. Zagazovannost' formal'degidom vozduxa ot proizvodstva drevesno-struzhechny'x plit [Formaldehyde contamination of the air from the production of particleboard] / E.M. Razin'kov // Forestry Engineering Magazine. — 2012. — 3(7). — P. 30–33. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17957811_65155160.pdf (accessed: 28.10.25). [in Russian]
10. RD 52.04.823-2015 Massovaya koncentraciya formal'degida v probah atmosfernogo vozduha. Metodika izmerenij fotometricheskim metodom s acetilacetonom [Guideline document 52.04.823-2015 Mass concentration of formaldehyde in atmospheric air samples. Measurement method using the photometric method with acetylacetone]. — Saint Petersburg, 2016. — 50 p. [in Russian]