

## ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ПЛИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Исследована технологическая возможность производства плитных материалов на основе древесных отходов без использования синтетических связующих (пъезотермопластиков). Оценены их физико-механические и экологические свойства. Установлено, что пьезотермопластики обладают повышенной прочностью, водостойкостью, экологической чистотой, что позволяет эффективно их использовать в строительстве и мебельном производстве.

**Ключевые слова:** древесные плиты, наполнитель, пьезотермопластик, прочность, водостойкость, разбухание по толщине, содержание свободного формальдегида, прессование.

**Проблема** получения экологически чистых плитных материалов конструкционного назначения на основе древесных отходов в настоящее время является актуальной. В реалиях современной промышленности основную часть древесных отходов направляют в производство древесностружечных плит. Мировое производство и потребление плит, в связи с наличием множества преимуществ, возрастают с каждым годом, вытесняя пиломатериалы и изделия из натуральной древесины [1, 2]. Однако древесные плиты изготавливаются с применением синтетических смол, в связи с чем обладают рядом недостатков, прежде всего, токсичностью за счет присутствия свободных веществ (формальдегида и фенола), не прореагированных в ходе отверждения смол.

Фенол и формальдегид – мощные раздражители глаз, верхних дыхательных путей и кожи. По свидетельству ряда исследований, они также оказывают влияние на центральную нервную систему, вызывая головные боли, усталость и депрессию, потенциально могут вызывать астму и астматические приступы. Кроме того, исследования на животных позволяют предположить, что эти вещества – потенциально канцерогенные [3].

Синтетические смолы химически нестабильны [4]. Основными источниками выделения формальдегида и других токсичных веществ в жилых помещениях являются строительные конструкции и мебель из древесных плит, при производстве которых используются формальдегидосодержащие смолы.

**Способы решения проблемы.** За последние десятилетия разработаны и внедрены различные способы снижения токсичности плитных древесных материалов, в частности, за счет применения специальных отвердителей, например кислых фосфорнокислых солей металлов, использования меламинаформальдегидных, резорциноформальдегидных и других более реакционных смол, а также альтернативных связующих, не содержащих в своем составе формальдегид или фенол; интенсификация технологических режимов горячего отверждения смол; применение различных технологических методов послепрессовой обработки плит.

Однако проблема производства малотоксичных или экологически чистых древесных плит остается актуальной, прежде всего в связи с ужесточением требований нормативно-технических документов по содержанию токсичных веществ в древесной продукции и в жилых помещениях.

Одним из способов кардинального снижения токсичности плитной древесной продукции является изготовление материалов без добавления синтетических связующих, так называемых пьезотермопластиков [5]. Известно, что под влиянием давления и температуры измельченные древесные частицы приобретают способность образовывать прочный и твердый монолитный материал темного цвета, повторяющий конфигурацию формы. В результате термогидролитической деструкции древесного комплекса наибольшие изменения претерпевают легкогидролизуемые углеводы и низкомолекулярные фракции лигнина – они и выполняют роль связующего вещества, в то время как целлюлоза является армирующим, упрочняющим материал наполнителем, а роль пластификаторов выполняют низкомолекулярные компоненты древесины [6].

**Целью** исследования является экспериментальный анализ возможности производства, разработка рациональных рецептур и технологических режимов, изготовления экологически чистого плитного древесного материала конструкционного назначения – пьезотермопластика.

Пъезотермопластик может использоваться как в мебельном производстве, так и в строительстве. Данные направления использования плитных материалов предъявляют определенные требования к эксплуатационным характеристикам плит, в числе которых – прочностные показатели, водостойкость, соответствие экологическим параметрам.

**Задачи исследования:** Изготовление в лабораторных условиях образцов пьезотермопластиков из различных целлюлозосодержащих наполнителей при различных технологических условиях; оценка физико-механических и экологических свойств пьезотермопластиков в соответствии с действующими стандартами; рекомендация технологических параметров производства пьезотермопластиков; теоретическое описание процессов структурообразования пьезотермопластиков.

**Методика исследования.** Запрессовки пьезотермопластика осуществлялись в лабораторном горячем гидравлическом прессе П100-400 в следующей последовательности: отбор порций наполнителя соответствующих пород и фракций для изготовления единичного образца; увлажнение порции наполнителя до влажности 20 %; укладка наполнителя в форму, холодная подпрессовка при давлении 1 МПа для формирования транспортабельного брикета; горячее прессование брикета в открытых пресс-формах (металлических прокладках) при рабочем давлении 5 МПа, температуре плит пресса 180 °С в течение 10 мин.; плавное охлаждение спрессованного материала при рабочем давлении в течение 8 час до нормальной температуры; нормализация качества полученных образцов при нормальных условиях в течение 1 суток; раскрой на образцы и проведение испытаний физико-механических свойств пластиков.

Физико-механические характеристики полученных образцов пьезотермопластика оценивались по стандартным методикам оценки свойств древесных плит (ГОСТ 10635-78, ГОСТ 10636-78, ГОСТ 10634-88, ГОСТ 27678-88).

**Результаты исследования.** В табл. 1 приведены основные характеристики наполнителей, применяемых для изготовления пьезотермопластиков.

**Табл. 1. Характеристика наполнителей пластиков**

| Опыт | Наименование породы | Фракция, мм |
|------|---------------------|-------------|
| 1    | Лиственная (береза) | 0,5 / -     |
| 2    | Хвойная (сосна)     | 0,5 / -     |
| 3    | Хвойная (сосна)     | 10 / 0,5    |
| 4    | Костра льна         | 5 / 0,5     |

В табл. 2 представлены основные физико-механические показатели изготовленных пластиков.

**Табл. 2. Физико-механические свойства пластиков**

| Образец | Предел прочности при изгибе, МПа | Разбухание по толщине, % | Объемное разбухание, % | Водопоглощение, % | Потеря массы при горении, % |
|---------|----------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1       | 10,3                             | 10,89                    | 12,49                  | 10,63             | 5,6                         |
| 2       | 11,1                             | 8,21                     | 9,36                   | 6,22              | 11,9                        |
| 3       | 7,9                              | 50,09                    | 58,59                  | 43,64             | 4,3                         |
| 4       | 3,4                              | 1,85                     | 4,04                   | 9,12              | 7,2                         |

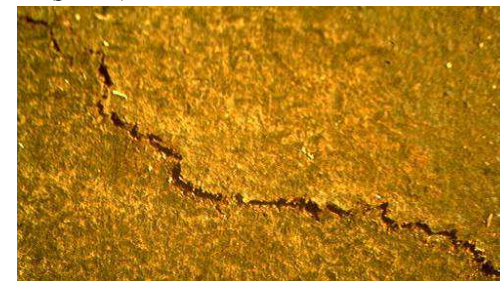
Полученные в ходе экспериментов данные показывают, что в открытых пресс-формах имеется возможность получения пьезотермопластиков высокого качества. При этом предпочтительно использовать как лиственные, так и хвойные породы минимального фракционного размера для образования максимального количества химических связей между частицами. Полученный материал обладает достаточной прочностью и водостойкостью. Анализ полученных данных показывает, что пластики на основе мелкой фракции всех рассмотренных целлюлозосодержащих частиц обладают малыми значениями разбухания и водопоглощения.

Технологический процесс производства пластиков малопроизводителен, так как в цикле прессования должна присутствовать стадия охлаждения материала при рабочем давлении для образования химических связей между частицами наполнителя, которая может занимать в зависимости от эффективности охлаждения несколько часов. С целью оценки возможности интенсификации процесса прессования был проведен эксперимент по производству пластиков с охлаждением плит пресса до 100 °С, снятием давления при этой температуре. В результате снятия давления при температуре кипения воды образовавшаяся парогазовоздушная смесь интенсивно выходит из материала с образованием микро- и макротрещин (рис. 1).



**Рис. 1. Микротрещина в пласти пластика после выгрузки из пресса**

В ходе нормализации качества (выдержки при нормальных условиях) трещины увеличиваются в размерах за счет изменения внутренних напряжений и усушки материала (рис. 2).



**Рис. 2. Макротрещина в пласти пластика после нормализации качества**

Кроме этого, образец пластика подвергается короблению (рис. 3).



**Рис. 3. Покоробленный образец пластика с трещиной после нормализации**

Поэтому для получения качественного материала необходимо охлаждение материала при рабочем давлении до температуры, как можно ближе к нормальной (18...25 °С). При этом происходит постепенное образование связей между частицами и плавное снижение давления парогазовоздушной смеси.

Полученные образцы пьезотермопластиков № 1, 2 (из лиственных и хвойных пород древесных частиц фракции порода 0,5/-) были переданы в санитарно-экологическую лабораторию для оценки содержания в них свободного формальдегида. Установлено, что в образце № 1 содержится 1,9 мг, в образце № 2-1,0 мг свободного формальдегида на 100 г пластика.

Содержание свободного формальдегида в несколько раз ниже допустимых требований к древесной плитной продукции (для класса эмиссии E1 не более 8 мг/100 г продукции), что позволяет классифицировать данный материал как экологически чистый. Несущественное содержание свободного формальдегида объясняется выделением формальдегида в результате термогидролитической деструкции компонентов древесины (прежде всего, пентозанной части).

**Теоретические основы образования пьезотермопластиков.** При пьезотермической обработке в замкнутом пространстве древесина претерпевает сложные физико-химические изменения, глубина которых определяет конечные свойства материала [2, 7].

Древесина, как известно, представляет собой комплекс различных сложных органических веществ. Основными микромолекулярными компонентами, присутствующими в древесине всех видов, являются целлюлоза, гемицеллюло-

зы и лигнин. Низкомолекулярные компоненты – экстрактивные и минеральные вещества – содержатся в значительно меньших количествах и по природе и по количеству зависят от породы древесины. Различия существуют не только между хвойными и лиственными породами, но также и между отдельными видами и даже в пределах одного дерева.

Благодаря своим химическим и физическим свойствам целлюлоза выполняет функцию основного структурного компонента клеточных стенок, а также формирует основу прочности прессованного материала. Гемцеллюлозы тесно связаны с целлюлозой в клеточной стенке. Но их молекулярные цепи намного короче цепей целлюлозы. В морфологическом отношении лигнин, третий макромолекулярный компонент древесины, представляет собой ароматическое вещество, которое в процессе развития растения внедряется между фибриллами целлюлозы, образуя непрерывную матрицу и тем самым упрочняя клеточную стенку.

Пьезотермическая обработка изменяет физические, структурные и химические свойства древесины и имеет своей целью повышение реакционной способности компонентов древесного комплекса. Основная роль в этих процессах принадлежит воде, присутствующей в наполнителе (древесных частицах). На первых стадиях прессования, когда упругие деформации доминируют, а жесткость древесины высока, влага выполняет роль низкомолекулярного пластификатора. С увеличением влажности возрастает размягчение древесины и уменьшается температура плавления ее компонентов. При повышении температуры вода выполняет роль гидролизующего агента. Отщепляющиеся от компонентов древесины летучие органические кислоты катализируют этот процесс.

Наиболее подвержены процессы термогидролитической деструкции легкогидролизуемые гемцеллюлозы. При мягких режимах прессования (до 150 °C) процесс ограничивается разрывом лигнин-углеводных связей и увеличением подвижности структурных образований, в то время как в условиях образования пьезотермопластиков при высокой температуре (порядка 180 °C) особенно с использованием предварительно гидролизированных частиц, деструктивные процессы более глубоки.

Образующиеся олигосахариды (а при глубоком термогидролитическом воздействии ди- и моносахара) под влиянием нагревания в результате дегидратации образуют ряд продуктов, в том числе ароматических (наиболее важным из них является фурфурол), и конденсированные соединения (гуминовые вещества). Одновременно идут реакции окисления моно- и полисахаридов.

Реакции лигнина в кислой среде направлены на расщепление углевод-лигнинных связей, образование димеров и тримеров, а в результате конверсии и конденсации происходит образование разнообразных соединений с более высокой молекулярной массой и низкой растворимостью.

Происходят, таким образом, два конкурирующих процесса: деградация с образованием более реакционноспособных соединений и рекомбинация с образованием дополнительных структур и появлением новых углерод-углеродных связей. Направление этих реакций зависит от параметров технологического процесса. Целлюлоза в количественном отношении претерпевает незначитель-

ные изменения. Некоторое уменьшение длины цепей целлюлозы – этого высокомолекулярного полисахарида – желательно, так как увеличивается пластичность и площадь контакта между склеиваемыми компонентами. Но целлюлоза в пластиках без связующих веществ выполняет роль упрочняющего наполнителя, снижение ее когезионной прочности может отрицательно сказаться на механических свойствах готового материала.

Таким образом, в результате термогидролитических процессов получают клеящие вещества, а при прессовании материала создаются условия для химического взаимодействия между реакционно-способными компонентами. При охлаждении материала под давлением возникает обширный фронт водородных связей по новым местам контактов. Все это способствует повышению адгезионной прочности между отдельными частицами.

Анализ экспериментальных данных показал, что в краевой зоне равной 5...6 см не происходит набора прочности пластика, там меньше выделения клеящих продуктов распада лигнин-углеводной части древесины. Внутренняя структура данной зоны рыхлая, малопрочная, что объясняется недостатком влаги за счет ее испарения с торцов материала а также постоянным выходом парогазовой смеси, приводящей к распаду образованных клеевых и химических связей. При производстве плит большого формата в производственных условиях это вполне допустимо, данная зона будет задействована при форматной обрезке материала. Конечные свойства пьезотермопластиков можно регулировать, разумно используя химические свойства и физическую структуру компонентов древесного комплекса, регулируя породный и фракционный состав наполнителя, режимы прессования и охлаждения.

**Выводы.** Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что для производства качественных пластиков необходимо применение целлюлозосодержащих частиц минимального фракционного размера (0,5/-) влажности порядка 20 %. Температура прессования должна быть порядка 180 °C, необходимо охлаждение материала до нормальной температуры при рабочем давлении от 5 МПа для формирования химических связей между частицами. При соблюдении указанных технологических параметров удастся получить материал с высокими прочностными показателями и повышенной водостойкостью. По своим эксплуатационным характеристикам пластики превышают древесно-стружечные плиты. Оценена токсичность пьезотермопластиков. Установлено, что за счет отсутствия синтетических связующих они содержат в своем составе минимальное количество свободного формальдегида, выделяющегося только в результате термодеструкции древесины. Полученные результаты позволяют классифицировать пьезотермопластик как экологически чистый материал, что позволяет их использовать в мебельной промышленности, строительстве и других сферах без ограничения. Теоретически описаны процессы, происходящие при структурировании пьезотермопластиков. Установлено, что основа прочности материала достигается за счет образования химических связей между частицами наполнителя в результате термодеструкции древесины, а также за счет выделившихся и перешедших в отвержденное состояние клеящих веществ.

**Практические рекомендации.** Организация выпуска пьезотермопластика позволяет расширить ассортимент и области применения выпускаемой продукции, повысить степень эффективного использования отходов, повысить экономические показатели производства, что весьма важно в период острой конкуренции отечественных и зарубежных производителей плитных древесных материалов. Выпуск пьезотермопластиков возможен в условиях действующих цехов по производству древесных плит или фанеры. При этом имеется возможность расширения действующих производств (реконструкция) или строительство новых с организацией рабочих мест. Особенность данного производства в эффективном использовании древесных отходов, ежегодно образующихся на предприятиях деревообрабатывающей отрасли в больших объемах, с выпуском нового конкурентоспособного материала, востребованного потребителями. Материал не содержит в своем составе синтетических смол, обладает экологической чистотой, поэтому может использоваться в различных отраслях промышленности без ограничения.

### Література

1. Мелони Т. Современное производство древесностружечных и древесноволокнистых плит / Т. Мелони : пер. с англ. А.А. Амалицкого, Е.И. Карасова. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1982. – 416 с.
2. Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины / Л.В. Мельникова. – Изд. 3-е, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во МГУЛ, 2007. – 235 с.
3. Азаров В.И. Технология связующих и полимерных материалов / В.И. Азаров, В.Е. Цветков. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1985. – 216 с.
4. Доронин Ю.Г. Синтетические смолы в деревообработке / Ю.Г. Доронин, С.Н. Мирошниченко, М.Н. Свиткина. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1987. – 224 с.
5. Минин А.Н. Технология пьезотермопластиков / А.Н. Минин. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1965. – 296 с.
6. Солечник Н.Я. О получении древесного пластика без связующего / Н.Я. Солечник и др. // Деревообрабатывающая промышленность : науч.-техн., эконом. и производств. журнал. – 1963. – Вып. 3. – С. 9-11.
7. Азаров В.И. Химия древесины и синтетических полимеров [текст]; Учебник [для студ. ВУЗов] / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПб. : Изд-во СПб ЛТА, 1999. – 628 с.

### Угрюмов С.А., Осетров А.В. Екологічно чисті плитні матеріали конструкційного призначення з деревних відходів

Досліджено технологічну можливість виробництва плитних матеріалів на основі деревних відходів без використання синтетичних в'язувників (п'єзотермопластики). Оцінено їх фізико-механічні та екологічні властивості. Встановлено, що п'єзотермопластики мають підвищену міцність, водостійкість, екологічну чистоту, що дає змогу ефективно їх використовувати в будівництві і меблевому виробництві.

**Ключові слова:** деревні плити, наповнювач, п'єзотермопластик, міцність, водостійкість, розбухання по товщині, вміст вільного формальдегіду, пресування.

### Ugryumov S.A., Osetrov A.V. Ecologically clean sheet materials of structural purpose of wood waste

Investigated the technological possibility of production of sheet materials based on waste wood without the use of synthetic binding agents (thermoplastics). Estimated physical-mechanical and environmental properties of thermoplastics. It is established that plastics have high strength, water resistance, ecological purity, that allows to use them effectively in construction and furniture manufacture.

**Keywords:** wood boards, filler, thermoplastic, durability, water resistance, swelling in thickness, the content of free formaldehyde, pressing.

УДК 504.[054+064+7.064.3]

Ст. викл., зав. лаб. екологічного

моніторингу Т.В. Душанова – Кам'янець-Подільський НУ ім. Івана Огієнка

## ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ЯК ПОКАЗНИКА ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ВНУТРІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ПІДПРИЄМСТВА

Описано рівні забруднення ґрунту підприємства електромеханічного профілю важкими металами. Показано небезпеку міграції екотоксикантів виробничого походження з ґрунту та трав'яного покриву до внутрішнього середовища підприємства. Серед факторів, що сприяють формуванню ореолів нагромадження важких металів у ґрунті, головне місце займають викиди стаціонарних джерел гальванічного виробництва, паяння свинцевими припоями, лиття металів та внутрішні автотранспортні потоки. Найбільш небезпечним явищем є аварійні ситуації, що супроводжуються розливом відпрацьованих стічних вод.

**Ключові слова:** екологічна безпека, важкі метали, ґрунт, виробниче середовище.

Для промислових підприємств частим явищем є забруднення ґрунтового та трав'яного покриву промислового майданчика важкими металами, що осідають на території підприємства самостійно або виносяться опадами та акумулюються ґрунтом і трав'яним покривом [1-4]. При поєднанні певних техногенних та природно-кліматичних факторів можливий зворотний перехід забруднювачів до приземних шарів атмосферного повітря промислової території [5-7]. За сприятливих умов вони здатні перебувати у постійному міграційному кругообігу, межі якого можуть виходити за виробниче середовище, санітарно-захисну зону підприємства та промислову зону населеного пункту. І, якщо викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами підлягають обов'язковій інвентаризації, то якість повітря, що надходить як "чисте" до виробничого середовища за допомогою повітровсмоктувальних пристроїв, не контролюється.

**Мета роботи.** Виявляти джерела забруднення та враховувати рівні забруднення ґрунтового та рослинного покриву з огляду на ймовірність міграції токсичних речовин з атмосферного повітря до внутрішнього середовища підприємства, внаслідок постійного повітрообміну зі зовнішнім виробничим середовищем за участю природної та штучної вентиляції.

Практика таких досліджень ще не увійшла до процедури оцінювання виробничого середовища і людини у ньому. Її застосування дало б змогу оптимізувати роботу вентиляційних систем, виявляти джерела забруднення та зменшувати чи усувати їх вплив, прогнозувати поширення забруднень хімічної природи у виробничому середовищі.

**Матеріал і методика досліджень.** У процесі проведеного дослідження було проаналізовано зразки ґрунту та трав'яного покриву на валовий вміст важких металів (свинцю, цинку, міді, нікелю, хрому, кадмію). Відбір, пробопідготовку та дослідження ґрунтових проб проводили згідно зі стандартними методиками. Як екстрагент використовували М ННО<sub>3</sub> (1:10). Отриману суспензію після 3-хвилинного струшування настоювали протягом 1 доби, після чого фільтрували та аналізували методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Ступінь небезпеки впливу хімічних речовин розраховували за ДСанПіН 2.2.7.029-99 [8].