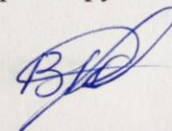


Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

На правах рукописи

Юрченко Виталий Викторович



УДК 674.816.3

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ИЗ ВТОРИЧНОГО
ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ
ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

05.23.05 - строительные материалы и изделия

Диссертация

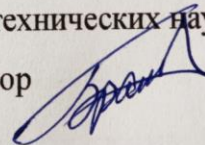
на соискание научной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Братчун Валерий Иванович,

доктор технических наук,

профессор

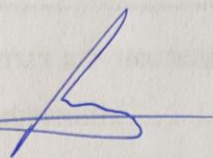


Идентичность всех экземпляров

диссертации **ПОДТВЕРЖДАЮ**

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 01.006.02



С. В. Лахтарина

Макеевка – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ПОЛУЧЕНИЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ.....	15
1.1 Анализ использования вторичных отходов термопластичных полимеров в производстве строительных материалов.....	15
1.2 Аппаратурно-технологическое оформление производства композиционных материалов на основе вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.....	19
1.3 Эффективные способы повышения долговечности древесно-полимерных композитов на основе вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.....	28
1.4 Выводы по разделу 1.....	33
РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	36
2.1 Закономерности формирования структуры композиционных строительных материалов из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.....	36
2.2 Программа экспериментальных исследований.....	48
2.3 Выводы по разделу 2.....	49
РАЗДЕЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	51
3.1 Характеристика материалов, принятых для исследований.....	51
3.2 Методы экспериментальных исследований.....	52
3.3 Выводы по разделу 3.....	63

РАЗДЕЛ 4. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ

ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ.....	64
4.1 Обоснование и определение оптимального фракционного состава композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.....	64
4.1.1 Оптимизация состава термопластичного древесно-полимерного композита.....	64
4.1.2 Определение оптимального фракционного состава мелкодисперсного древесного наполнителя.....	69
4.1.3 Определение оптимального фракционного состава вторичного полиэтилена высокого давления.....	73
4.1.4 Спектроскопические исследования вторичного полиэтилена высокого давления и древесного наполнителя.....	75
4.1.5 Реологические свойства древесно-полимерного композита.....	77
4.2 Влияние фракционного состава на физико-механические свойства композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.....	80
4.3 Эксплуатационные свойства термопластичного древесно-полимерного композита.....	87
4.3.1 Стойкость древесно-полимерного композита к ударному воздействию.....	88
4.3.2 Термические и теплофизические свойства древесно-полимерного композита.....	89
4.3.3 Климатические исследования древесно-полимерного композита.....	91
4.4 Выводы по разделу 4.....	95

РАЗДЕЛ 5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ.....	97
5.1 Рекомендации по производству композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.....	97
5.2 Выводы по разделу 5.....	107
ВЫВОДЫ.....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Справка о внедрении результатов исследований в ПАО «Облдорремонт».....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Расчёт предполагаемой экономической эффективности внедрения производства композиционного строительного изделия.....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Справка о внедрении в учебный процесс результатов исследований диссертационной работы.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Переработка древесины сопровождается большим объёмом – отходов, которые составляют 45-55% всей перерабатываемой древесины. Использование отходов древесины является важнейшим источником удовлетворения потребностей строительства в эффективных строительных материалах. Однако в Донецкой Народной Республике бóльшая часть отходов сжигается или вывозится в отвал. Поэтому разработка новых строительных материалов с использованием отходов древесины, удовлетворяющих современным экономическим, экологическим и техническим требованиям целесообразна.

В последние годы натуральная древесина в строительных материалах все чаще заменяется композиционными материалами с использованием древесины, таких как: древесно-слоистый пластик (ДСП), ориентированно-стружечная плита (ОСП), древесно-волоконная плита (ДВП) и плиты из мелкодисперсной фракции древесины (МДФ), в которых в качестве вяжущего используются экологически опасные феноло-, мочевино- и меламиноформальдегидные термореактивные олигомеры.

Проблема использования вторичного полиэтилена высокого давления имеет экономический и экологический аспект, так как связана с возрастающим разрывом между использованием и производством полимерных материалов, а также с защитой окружающей среды. С ростом бытовых отходов полимерных материалов перед перерабатывающей промышленностью стоит проблема утилизации смесей с целью получения отдельных полимеров для переработки их в изделия [1, 2].

Повысить экологическую безопасность композиционных материалов позволит использовать в качестве вяжущего вещества вторичный полиэтилен высокого давления и отходы древесины и, таким образом, осуществить производство термопластичных древесно-полимерных композиционных материалов (ТДПК). Какие компоненты ТДПК выбраны: отходы древесины –

опилки и стружка, которые образуются при заготовке и переработке древесины; вторичный термопластичный полимер из отходов бытового хозяйства и производства – полиэтилен высокого давления низкой плотности. Особенно важно то, что все компоненты ТДПК является вторичным сырьем. Это направление соответствует мировым экологическим тенденциям утилизации отходов [3, 4].

Существует положительный опыт производства и применения композиционных материалов с использованием полимеров, отходов древесины или других целлюлозосодержащих наполнителей. Получение и производство композиционных материалов с использованием вторичного полиэтилена высокого давления, в том числе смешанных и измельченных отходов древесины позволяет решить проблему совместного вовлечения этих отходов в производство. Вторичный полиэтилен высокого давления является высокоэффективным в технологическом, потребительском и экономическом аспекте материалом [5-8].

Актуальность темы. В настоящее время одним из эффективных направлений в области композиционных материалов является разработка и производство строительных материалов с использованием отходов растительного происхождения и экологически чистых органических вяжущих веществ. Это связано с повышением экологических и ресурсо-экономических требований. Например, применение древесно-стружечных плит, содержащих в своём составе токсичные вяжущие (карбамидоформальдегидные, фенолформальдегидные смолы) ограничено. Древесину можно рассматривать как легко доступный и экономичный наполнитель, который может позволит снизить затраты на полимерные вяжущие, обеспечить жесткость и повысить износостойкость изделий из термопластичных древесно-полимерных композитов. Использование древесного наполнителя повышает скорость экструзии профиля, поскольку меньшая теплоемкость позволяет изделию быстрее охлаждаться.

Сочетание свойств отходов древесины, вторичного полиэтилена высокого давления и модифицирующих добавок дают возможность получать полимерный композит для использования в различных отраслях народного хозяйства. Древесно-полимерный композит является универсальным материалом, его свойствами легко варьировать, получая, таким образом, широкий спектр изделий (доска, плиты, лаги и др.) с самыми различными механическими и экстерьерными свойствами. [9].

Изделия из древесно-полимерного композита внешне мало отличаются от обычных деревянных изделий, но обладают новыми, не характерными для деловой древесины свойствами. Они могут использоваться в самых различных областях для производства различных изделий, пригодных как для внутреннего, так и для наружного применения, где традиционно применяется древесина или полимер – в строительстве, архитектуре, ландшафтном дизайне, интерьерном дизайне [10]. Композитный материал состоит из нескольких компонентов, три из которых являются основными – это отходы древесины (древесная мука, опилки, волокна), вторичный полиэтилен высокого давления низкой плотности и специальные модифицирующие добавки

Предприняты попытки изготовить из отходов древесины строительные материалы с вводом в пресс-массу полимерных термопластичных вяжущих веществ [11-16]. В то же время следует обратить внимание на то, что в работах [17-22] в качестве компонентов строительного композиционного материала использовались термопластичные полимеры (поливинилхлорид, полипропилен и др.), композиции с использованием эпоксидного олигомера, а также с использованием карбамидоформальдегидных смол, которые имеют повышенную токсичность, а в качестве наполнителя древесная мука и модификаторы.

В связи с этим не изученными являются закономерности формирования структуры композиционного материала с использованием вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки

древесины; не установлен оптимальный состав отходов переработки древесины по гранулометрическому составу разных фракций; не определены концентрационные соотношения вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины; не исследованы параметры технологических режимов производства; процентное соотношение вторичного полиэтилена высокого давления, отходов древесины и модифицирующих добавок; не определена твёрдость композиционного изделия по Бринеллю; не изучены реологические свойства изготовленных изделий и их влияние на качество покрытия; адгезия и атмосферостойкость композиционного материала с использованием вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической основой выполнения исследований в области разработки состава древесно-полимерного композита, являются работы Аскадского А. А., Баженова С. Л., Генина Н. Н., Диденко С. В., Калашникова С. А., Кондращенко В. И., Любешкина Е. Г., Мацеевича Т. А., Портненко В. С., C. Brischke, H. Kobori, E. Stanaszek, W. Darmawan и др.

Несмотря на масштабность исследований следует обратить внимание на то, что в качестве вяжущего строительных композиционных материалов использовались термопластичные полимеры (поливинилхлорид, полипропилен и др.), композиции с использованием эпоксидных олигомеров, а также с использованием карбамидоформальдегидных смол, которые имеют повышенную токсичность, а в качестве наполнителя древесная мука и модификаторы. В связи с этим, недостаточно изученными являются закономерности формирования структуры композиционного материала с использованием вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины; не установлен оптимальный состав отходов переработки древесины по гранулометрическому составу; не определены концентрационные соотношения

вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины; не исследованы параметры технологических режимов производства и оптимальные концентрации вторичного полиэтилена высокого давления, отходов древесины и модифицирующих добавок.

Целью исследования является разработка физико-химических положений формирования оптимальной структуры и технологических параметров получения термопластичных древесно-полимерных композиционных материалов с заданным комплексом функциональных свойств с использованием вторичного полиэтилена высокого давления, мелкодисперсных отходов переработки древесины и модифицирующих добавок.

Объект исследования – композиционный материал с использованием вторичного полиэтилена высокого давления, мелкодисперсных отходов переработки древесины и модифицирующих добавок.

Предмет исследования – закономерности процессов структурообразования строительного композиционного материала с использованием вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины модифицированных комплексной добавкой.

Задачи исследований:

– сформулировать теоретические положения о предполагаемых закономерностях формирования структуры композиционного материала с использованием вторичного полиэтилена высокого давления, мелкодисперсных отходов переработки древесины и модифицирующих добавок с заданным комплексом физико-механических свойств;

– исследовать зависимость свойств полученных композиционных строительных материалов от химического и фракционного состава сырья;

– установить оптимальный расход вторичного полиэтилена высокого давления и параметры технологических режимов взаимодействия компонентов

древесно-полимерных материалов при их подготовке, термообработке и получении композиционного древесно-полимерного материала, а также установить влияние модифицирующих добавок на свойства вторичного полиэтилена высокого давления и свойства изготавливаемых композиционных материалов;

– оптимизировать состав композиционного древесно-полимерного строительного материала;

– определить зависимость свойств древесно-полимерного композита от содержания в пресс-массе комплекса полимерных отходов вторичного полиэтилена высокого давления;

– разработать «Рекомендации по производству изделий из эффективных полимердревесных материалов, содержащих в своём составе вторичный полиэтилен высокого давления, мелкодисперсные отходы переработки древесины и модифицирующие добавки».

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

Работа содержит научно-обоснованные результаты и технологические решения по производству композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины:

– теоретически и экспериментально оптимизирован состав древесно-полимерного композита; характерно, что проектируемые свойства изделия достигаются при содержании компонентов: древесный наполнитель фракции 0,33-1,25 мм - 69-71% мас., вторичный полиэтилен высокого давления с фракцией менее 0,63 мм – 26-28% мас., модификаторы – 3 % (воск - 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 - 0,3% мас., антипирены - 0,2% мас.);

– установлена зависимость физико-механических свойств полученных древесно-полимерных композитов от химического и фракционного состава полимерных компонентов. Выявлена и описана закономерность взаимодействия

компонентов древесно-полимерных композиций при их подготовке и получении смеси из отходов переработки древесины и вторичного полиэтилена высокого давления;

– определены физико-механические свойства термопластичного древесно-полимерного композита в зависимости от концентрации древесного наполнителя.

Теоретическое и практическое значение полученных результатов:

– сформулированы теоретические положения получения термопластичных древесно-полимерных композиционных материалов с заданным комплексом физико-механических свойств;

– для ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины»;

– определен предполагаемый экономический эффект от внедрения изделий из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины для ПАО «Облдорремстрой»;

– результаты исследований внедрены в учебный процесс при подготовке специалистов по специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» в ГБОУ УВО «Донецкий институт железнодорожного транспорта» в дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» в разделе «Полимерные материалы».

Методы исследования. Теоретические положения сформулированы на основе физико-химической механики получения композиционных строительных материалов, а также химии высокомолекулярных соединений. Экспериментальные исследования выполнены с использованием стандартных и специальных методов. Для обработки и анализа результатов экспериментальных исследований использованы методы математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

– теоретическое и экспериментальное обоснование получения композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления, мелкодисперсных отходов переработки древесины и модифицирующих добавок;

– закономерности формирования структуры в системе: «древесный наполнитель – вторичный полиэтилен высокого давления – модифицирующие добавки»;

– способы оптимизации фракционного состава древесно-полимерного композита;

– результаты экспериментальных исследований параметров технологических режимов производства древесно-полимерного композита, физико-механических и эксплуатационных свойств древесно-полимерного композита из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины;

– ведомственный нормативный документ «Рекомендации по производству композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины» (ПАО «Облдорремстрой»).

Личный вклад соискателя:

– результаты теоретических и экспериментальных исследований структурообразования композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины;

– оптимальные параметры технологических режимов производства древесно-полимерного композита;

– оптимальный фракционный состав композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины;

– показатели физико-механических и эксплуатационных свойств древесно-полимерного композита;

– «Рекомендации по производству композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: значениями экспериментальных данных, полученных с применением современных аттестованных и поверенных приборов, и оборудования; адекватностью экспериментально-статистического математического анализа; соответствием результатов эксперимента теоретическим предпосылкам.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на различных этапах её выполнения на научно-технических конференциях и семинарах: III Всеукраинская научно-практическая конференция молодых учёных и студентов «Транспорт и логистика» (г. Донецк, 2012 г.); 74-я Международная научно-техническая конференция кафедр Академии, инженерно-технических работников железной дороги, предприятий и организаций Украины и других стран (г. Харьков, УкрГАЖТ, 2012 г.); 4-я Международная научно-техническая конференция «Проблемы надежности и долговечности инженерных сооружений и зданий на железнодорожном транспорте» (г. Харьков, УкрГАЖТ, 2013 г.); IV, XVII Международная научно-практическая конференция: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты» (г. Донецк, ГОУ ВПО «ДОНИЖТ», 2017 г., 2020 г.); IV международный строительный форум «Строительство и архитектура» (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДОННАСА», апрель 2020 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве в 11 печатных работах, в том числе: 7 в рецензируемых научных изданиях, 4 работы в сборниках научных конференций и семинаров.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, выводов, списка использованных источников из 130 наименования на 13 страницах, трёх приложений на 9 страницах, содержит 109 страниц основного текста, 35 рисунков, 17 таблиц.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ПОЛУЧЕНИЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

1.1 Анализ использования вторичных отходов термопластичных полимеров в производстве строительных материалов

В настоящее время одним из важнейших направлений развития системы обращения с отходами, а именно, полимерными и древесными отходами, является их вторичное использование [23, 24].

Проблема повторного использования полиэтилена высокого давления в виде вышедших из употребления изделий, а также технологических отходов производств, является весьма актуальной и носит как экологический, так и экономический характер [25-27].

В последнее время происходит переоценка подходов к решению этой проблемы. В частности, исследуются и применяются новые технические направления, и технологические решения утилизации термопластичных полимеров. Одним из перспективных направлений рационального использования вторичного полиэтилена высокого давления является получение на их основе новых композиционных материалов и изделий строительного назначения.

Содержащиеся в литературных источниках способы утилизации полимерных отходов можно классифицировать следующим образом: регенерация, модификация, фото- и биоразложение, захоронение в почву и в водную среду; переработка вторичных полимеров с предварительной их сортировкой; переработка смесей полимерных отходов; удаление деструктированной в процессе эксплуатации части материала и переработка сшитых полимеров; термическое разложение, сжигание [28].

Для переработки вторичных полимеров необходима их предварительная подготовка [29]. При этом необходимо учитывать источник образования отходов и степень их загрязнения. Однородные отходы производства перерабатывают на месте их образования, требуется незначительная их подготовка - измельчение и грануляция. Такое сырье используется в производстве как в виде добавки к первичному, так и в виде основного сырья.

Изношенные, вышедшие из употребления изделия требуют специальной подготовки. Оно заключается в сортировке (для смешанных отходов), измельчении, разделении, промывке, сушке и при необходимости агломерации и грануляции. Полученное после подготовки сырье подается на переработку [30]. Особенностью перерабатывающего оборудования является принцип интенсивного сдвигового диспергирования, обеспечивающего быструю гомогенизацию расплава, что исключает термодеструкцию полимера [31].

Наиболее доступным способом переработки полимерных смесей, различающихся по плотности, является флотационный. Значительный объем исследований по извлечению и сортировке термопластов из бытовых и других отходов доказывает их целесообразность. Однако в ряде случаев большое разнообразие материалов, содержащихся в отходах, затрудняет переработку извлеченных термопластов и снижает ее экономическую эффективность. Поэтому из несортированных отходов, с целью их утилизации, изготавливают вязкополимерную композицию, смешивая промытые от солей дробленые отходы и предварительно нагретый инертный наполнитель (песок, щебень, зола, шлак) с последующим плавлением одного из полимеров смеси и пропиткой расплавом всей смеси. Полученная композиция пригодна для формования изделий [32].

В последнее время разработаны различные способы направленной модификации вторичного полиэтилена высокого давления. В большинстве способов переработки лежит воздействие на изменение химической структуры и формирования активных радикалов, образующихся при старении и переработке. Данные радикалы являются центрами повышенной активности в полимерной матрице, их экранируют модификацией. Способы модификации вторичного

полимерного сырья можно разделить на химические (сшивание, введение различных добавок, обработка кремнийорганическими жидкостями и др.) и физико-химические (наполнение минеральными и органическими наполнителями). Авторами [33] приведена технология получения древесных прессованных материалов нового поколения – биопластиков, получаемых биотрансформацией древесного сырья.

Известно модифицирование вторичного полиэтилена изменением его химической структуры в процессе экструзии на комбинированном экструдере [34]. При определенных температурно-скоростных режимах экструзии происходит разрушение пространственной структуры вторичного полиэтилена. Это приводит к снижению вязкости расплава и улучшает его перерабатываемость. Снижение содержания гель-фракции в полимере сопровождается ростом молекулярной массы растворимой части в результате рекомбинации макрорадикалов.

Одним из способов модифицирования полиолефинов является введение 2-5% технического лигнина в процессе переработки [35]. Способ основан на взаимодействии стабильных феноксильных радикалов лигнина с активными центрами полипропилена, которые образуются вследствие термоокислительной деструкции при температуре переработки. Полученный материал характеризуется высокими эксплуатационными показателями, более стабильной структурой и сроком службы.

В работе [36] предложен способ получения изделий из вторичных полиолефинов с повышенными прочностными характеристиками термомеханической обработкой кремнийорганическими жидкостями.

В работе [37] модификацию вторичного полиэтилена выполняют введением модифицирующих добавок - антиоксидантов и механической активацией вальцеванием.

С ростом выхода потребительских отходов полимерных материалов перед перерабатывающей промышленностью стоит проблема разделения смесей с целью получения отдельных полимеров для переработки их в изделия. В

смешанных бытовых отходов термопластов содержится до 60-70% полиэтилена, остальное - другие полимеры [38]. При этом на долю термопластов приходится 80-90% мас. Существуют и другие способы разделения смесей вторичных термопластов [39]. Полученные материалы после модификации вовлекаются в производство. Однако, все вышеперечисленные способы очень дороги, сложны и не нашли широкого распространения. Если бóльшая часть технологических отходов, как показывает литературный обзор, используется тем или иным способом, то для смешанных эксплуатационных отходов эта задача стоит наиболее остро. Это связано с тем, что они представляют смеси переменного состава, переработка их затруднена, а свойства изделий из них неудовлетворительны. Рассмотренные вышеуказанные способы разделения смесей на составляющие компоненты на практике мало используются вследствие их высокой стоимости.

Авторы [40] отмечают, что более рациональным является получение композиционных материалов с использованием смесей без их разделения. Таким образом, становится ясной важность изучения возможностей переработки вторичного полимерного сырья в виде смесей.

В работе [41] отмечается, что получение композиций с использованием смесей вторичных термопластов можно вести в нескольких направлениях:

- получение материалов с новыми качествами не хуже, чем из первичных полимеров;
- получение материалов по уровню менее качественных, чем из первичных полимеров, что обеспечивает, однако, расширение сырьевой базы или достаточный экономический эффект;
- получение материалов с использованием смесей первичных полимеров с добавками вторичных полимеров.

Развитие производства композиционных материалов с использованием смесей вторичных полиэтиленов ограничивается из-за отсутствия в настоящее время глубоких исследований по изучению структурных особенностей смесей, взаимосвязи их со свойствами. При складировании, вторичные полиэтилены

подвергаются воздействию многочисленных физических и химических факторов. Это создает условия для инициирования и развития в них химических и физических превращений, называемых старением, которые обуславливают, в конечном счете, ухудшение полезных свойств полимеров. Существуют лишь единичные работы [42-46], по исследованию влияния внешних воздействий. Однако, эти данные не систематизированы и недостаточно обоснованы.

Одним из направлений использования вторичного полиэтилена высокого давления, в том числе смешанных, является получение композиционных древесно-полимерных материалов. Высокая жесткость и прочность древесного наполнителя позволяет получать композиционные материалы с высокими физико-механическими свойствами. Созданию композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины, в настоящее время, уделяется большое внимание. Поэтому целесообразно рассмотреть основные направления исследований по созданию композиционных строительных материалов из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.

1.2 Аппаратурно-технологическое оформление производства композиционных материалов на основе вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

Анализ применяемых технологий и оборудования является необходимым для выявления преимуществ и недостатков в производстве древесно-полимерных композиционных материалов.

В последнее время большое внимание исследователей привлекает новый вид композиционных материалов - строительные материалы из вторичных мелкодисперсных отходов древесины и вторичного полиэтилена. Широкое распространение отходов мелкодисперсной древесины и отходов

термопластичных полимеров открывает большие возможности в создании таких композиционных материалов и разработке ресурсосберегающих технологий [45].

Основные преимущества древесины перед минеральными наполнителями состоят в следующем: древесина обладает более развитой поверхностью и капиллярно-пористой системой даже в сравнении с такими перспективными минеральными наполнителями, как пористые перлиты, обсиданы, аглопориты [47, 48]; древесина позволяет получать высокую до 50-70% мас. степень наполнения, в то время как у минеральных наполнителей уже при 30% мас. свойства получаются низкими, перерабатываемость ухудшается [49, 50]. При низких степенях наполнения до 20% мас. экономия полимера перекрывается затратами на обработку наполнителя и производство композиции. Указанные преимущества обусловлены тем, что древесина, будучи природным полимерным композитом, обладает значительно более высокой совместимостью с полимерами, чем минеральные вещества [11].

Органическая природа древесины обеспечивает близость ее коэффициентов термического расширения с аналогичным показателем вяжущего, что создает дополнительный эффект упрочнения в результате снижения термонапряжений. При использовании минеральных порошков жидкая фаза вяжущего распределяется по поверхности тонким плёночным слоем, которые затем переходят в твёрдое аморфное состояние. Этот переход сопровождается повышением плотности и резким уменьшением объёма, что приводит к появлению внутренних напряжений. При этом чем больше напряжение, тем выше поверхностная энергия наполнителя. Термопластичные полимеры являются высокоэффективными в технологическом, потребительском, экономическом плане материалами. Например, в Германии разработан способ получения пресс-материала из древесно-полимерной композиции непрерывным способом [51]. Этот способ включает технологические операции: смешивания измельченной древесины с порошкообразным термопластичным вяжущим, при их соотношении 40 % мас. к 60 % мас.; формование ковra; прогрев композиции при помощи микроволн и холодное прессование. По аналогичной технологии разработан древесно-полимерный

материал во Франции [52]. В то же время в рассмотренных работах, при получении изделий, не достаточно изучено влияние вторичных термопластов на процесс структурообразования композиций, их адгезионные свойства, реологические характеристики и недооценена зависимость свойств готовых плит от физико-химических процессов, происходящих при технологической переработке сырья.

В работе [53] предложена технология получения древесно-полимерного материала с использованием вторичного полиэтилена. Технологический процесс состоит из операции измельчения отходов полиэтилена и древесины, формования ковра, горячего прессования и охлаждения материала. Полученный материал характеризуется высокими физико-механическими свойствами (таблица 1.1).

Таблица 1.1

Физико-механические характеристики древесно-полимерного композита с использованием вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов древесины

Наименование показателей, ед. изм.	Показатель
Массовое содержание отходов древесной муки, %	от 40 до 60
Плотность, кг/м ³	1200
Предел прочности при растяжении, МПа	16
Модуль упругости при растяжении, МПа	2000
Сопротивление изгибу, МПа	10
Модуль упругости при изгибе, МПа	1500
Относительное удлинение при растяжении, %	0,5 – 1,0
Ударная вязкость, кДж/м ²	3
Водопоглощение, %	1,7

В работах [54-63] рассмотрены способы формообразования изделий из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины:

Экструзия. Этот способ позволяет перерабатывать полимерные материалы непрерывным продавливанием их расплава через формующую головку, геометрическая форма выходного канала которой определяет профиль получаемого изделия. Основным оборудованием экструзионного пресса является шнековый пресс или экструдер, оснащённый формующей головкой (рисунок 1.1).

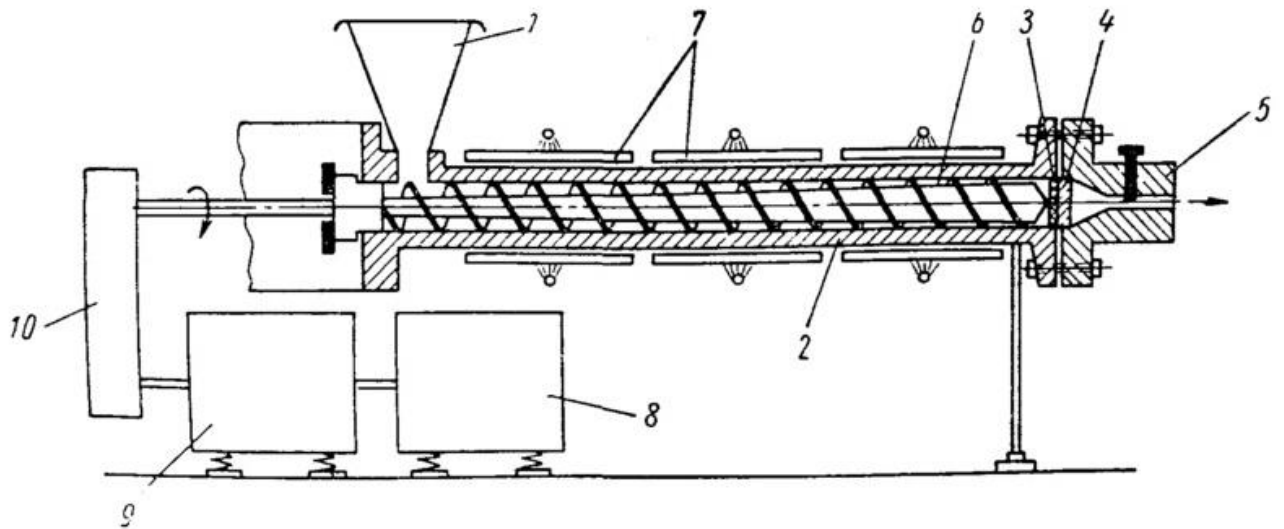


Рисунок 1.1 – Схема производства погонажных изделий способом экструзии

- 1 – загрузочный бункер полимера;
- 2 – материальный цилиндр, состоящий из трех или более зон (питание, пластификация и дозирование);
- 3, 4 – адаптер, переходное кольцо или другое устройство для передачи расплавленной полимерной массы из экструдера к формующему инструменту;
- 5 – формующая головка;
- 6 – шнек (червяк) одношнекового экструдера;
- 7 – кольцевые нагреватели материального цилиндра;
- 8, 9 – силовые установки, двигатели;
- 10 – редуктор.

Существуют три основных способа экструзии в производстве древесно-полимерных композиций: холодная, теплая и горячая.

Способ холодной экструзии предполагает формирование изделия с использованием механических изменений под воздействием давления.

Способ теплой экструзии предполагает формование изделия, которое подвергается механическому и тепловому воздействию. Готовый продукт характеризуется невысоким уровнем плотности, увеличенным объемом, пластичности и ячеистым строением.

Способ горячей экструзии предполагает технологические процессы на высокой скорости и температуре. С помощью этого способа изготавливают изделия различной конфигурации и размеров: плиты, трубы и различные по сложности изделия. Переработка вторичного полимерного сырья и гранулирование также может выполняться с применением экструзии.

Основным оборудованием экструзионного прессы является шнековый пресс или экструдер, оснащённый формующей головкой.

Экструзия имеет недостаток: небольшое отклонение от технологии нарушает сложные процессы пластического деформирования и формирование конфигурации конечного продукта; ограничения профильными изделиями; перегрев цилиндра отрицательно сказывается на процессе экструзии, так как вызывает термическую деструкцию, прилегающих к поверхности цилиндра слоёв материала, а повышение температуры загрузочной зоны цилиндра может вызвать сплавление материала, в связи с чем уменьшатся захватывание и подача материала начальными лопастями шнека.

Литьё под давлением. Этот способ позволяет получать изделия объемной формы. Особенности технологического процесса состоят в следующем: термоформируемая композиционная смесь в виде гранул или порошка подается в бункер и далее в разогретый цилиндр, где происходит размягчение материала до вязкотекучего состояния. Затем с помощью гидравлического поршня измеренное количество смеси под давлением подается в закрытую литьевую форму, предварительно подогретую с целью обеспечения равномерного растекания пластического материала и затвердевания. После этого изделие охлаждается и извлекается из формы (рисунок 1.2).

Анализ процесса литья под давлением может быть выполнен по следующим составляющим: перевод материала в вязкопластичное состояние → подача

материала в зону дозирования → накопление расплава → пластическая деформация расплава в системе «сопло-форма» → пластическая деформация расплава в каналах формы и формирующей полости → формирование структуры изделия.

Такое формование позволяет получать большую номенклатуру изделий по сравнению с экструзией. Эта технология имеет ряд недостатков: неравномерное заполнение литейной формы, не застывание смеси в форме, абразивный износ плунжерных и других узлов машин.

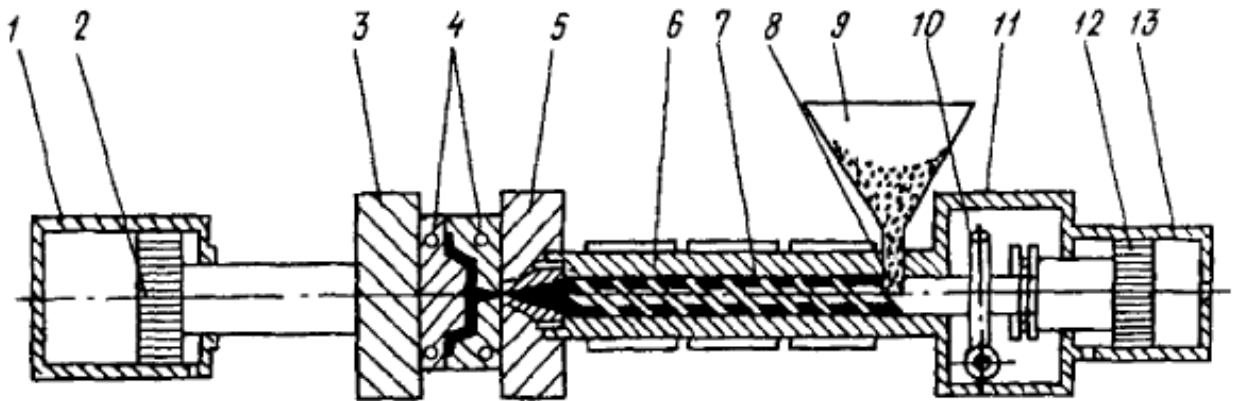


Рисунок 1.2 – Схема производства изделий способом литья под давлением

- 1 – гидроцилиндр механизма смыкания;
- 2 – поршень гидроцилиндра механизма смыкания;
- 3 – подвижная плита;
- 4 – полуформы;
- 5 – неподвижная плита;
- 6 – пластификационный цилиндр;
- 7 – шнек;
- 8 – загрузочное окно цилиндра пластификации;
- 9 – бункер;
- 10 – привод шнека;
- 11 – корпус гидроцилиндра механизма впрыска;
- 12 – корпус гидроцилиндра впрыска;
- 13 – гидроцилиндр шнека.

Ротационное формование. В ходе процесса происходит заполнение нагретой формы с порошком. При охлаждении формы частицы порошка спекаются на её поверхности (рисунок 1.3).

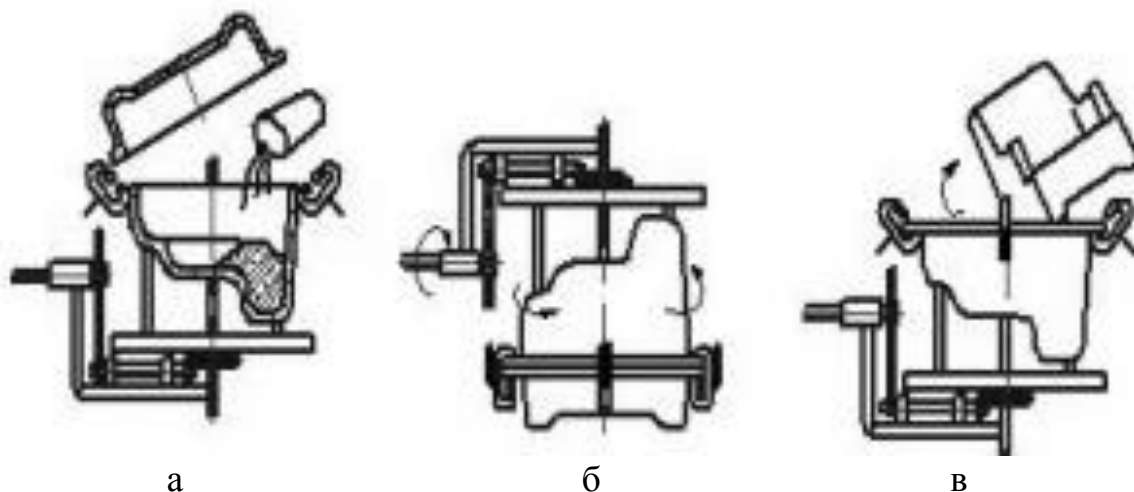


Рисунок 1.3 – Схема производства изделия способом ротационного формования

а – загрузка исходной смеси;

б – нагрев и охлаждение с совмещённым вращением формы;

в – удаление готового изделия.

Этот способ является достаточно требовательным к производству выходной смеси, а именно к распределению ее составляющих в процессе производства.

Процесс производства изделия способом ротационного формования можно разбить на четыре этапа:

1 Этап. Загрузка необходимого количества полимерного материала в форму.

Используется порошкообразный полимерный материал. Ротационная форма представляет собой полую раковинообразную конструкцию, состоящую из двух половин, реже используются формы, состоящие из трёх и более частей.

2 Этап. Формование изделия.

Форму закрывают и помещают в камеру нагрева. В которой производится нагрев и биосеовое вращение формы. При вращении полимер подплавляется и налипает на стенки формы. Вращение формы в тепловом поле производят со скоростью от 4 до 20 об/мин. Это значительно ниже, чем при центробежном

формовании полимеров. Формование заканчивают, когда весь полимер расплавится и налипнет на стенки пресс-формы.

Процесс ротационного формования происходит при атмосферном давлении, при этом вращении формы масса материала не оказывает существенное давление на ее стенку, поэтому ротационные формы могут иметь очень тонкие стенки.

Литьевые пресс-формы изготавливают из стали или алюминия. Из металлов предпочтение отдается металлам с высокой теплопроводностью. Алюминиевые формы используют для производства сложных изделий. Изготовление формы производится литьем алюминия с последующей доработкой. Алюминиевое литье применяют также, когда необходимо изготовить несколько идентичных форм. Для производства небольших изделий используют формы, изготовленные гальванопластикой или металлизацией в вакууме.

Формы в процессе эксплуатации подвергаются большим термонапряжениям, так как температура при выполнении процесса многократно изменяется от комнатной до 300°C. Объем получаемого изделий на оборудовании ротационного формования определяется объемом камеры нагрева. Ротационным формованием возможно получение очень крупных и объемных изделий. Изделия, получаемые ротационным формованием практически не напряжены и в них отсутствует, ориентация полимера.

Обогрев вращающейся формы в камере нагрева производят с помощью электрических ТЭНов или продуктами сжигания природного газа. Электрический обогрев более безопасен, но более дорогой.

3 Этап. Охлаждение формы с изделием.

Форму охлаждают потоком холодного воздуха или распыленной водой. При этом форма продолжает вращаться для обеспечения равномерности затвердевания полимера по объему изделия. Когда полимер окончательно затвердеет, вращение прекращают.

4 Этап. Извлечение изделия из формы.

Форму раскрывают и готовое изделие извлекают из формы.

К недостаткам способа ротационного формования можно отнести:

- длительный интервал производства изделий;
- стоимость полимерных материалов высока (необходимость размола, дополнительные требования по упаковке и др.);
- сложности в формировании ребер жесткости изделия;
- ограничения по выбору полимерных материалов.

Прямое прессование. Для формования изделий применяется прямое прессование в пресс-формах с использованием гидравлического пресса и с последующей фиксацией формы изделия. Сущность технологического процесса заключается в следующем: вторичный полиэтилен высокого давления и измельченные отходы древесины загружаются в открытую полость пресс-формы, перевод твердого полимера в исходных условиях в вязкотекучее состояние, затем верхний пуансон опускается под давлением и формирует изделие из расплава под действием давления (рисунок 1.4).

Сравнивая, приведенные способы производства изделий из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины, следует отметить, что экструзия, ротационное формование и литье под давлением характеризуются технологическими ограничениями. Оборудование в выше указанных технологиях является достаточно сложным и дорогим и отличаются сложностью настройки.

Данные способы пригодны преимущественно для массового производства. В отличие от этого прессовое оборудование для прямого прессования достаточно простое, недорогое, доступное и несложное в обслуживании.

Исходя из этого для производства изделий из термопластичных древесно-полимерных композиций и экспериментальных исследований по разработке их состава и технологии выбран способ прямого прессования.

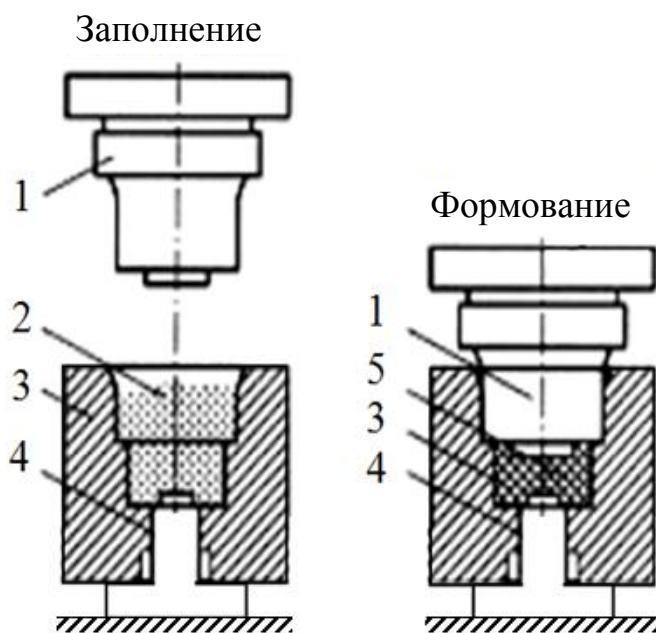


Рисунок 1.4 – Схема прямого прессования

- 1 – пуансон;
- 2 – пресс-материал;
- 3 – пресс-форма;
- 4 – нижний пуансон;
- 5 – изделие.

1.3 Эффективные способы повышения долговечности древесно-полимерных композитов на основе вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

К основным недостаткам композиционного материала относятся относительно невысокое содержание древесного наполнителя, низкая термостойкость, горючесть, старение полимеров, набухание, истираемость, усадка изделия, биоповреждение древесины и недостаточно высокие прочностные и эксплуатационные свойства, обусловленные невысоким адгезионным взаимодействием компонентов в композите. Недостатки могут быть устранены введением модифицирующих добавок, таких как: суперконцентраты, смазки, антипирены, стабилизаторы, антисептики, антифунгальные, биоциды и т.п.

В смесь полимерных композитов необходимо вводить добавки, повышающие адгезию полимера к древесине, красители, антиокислители, стабилизаторы, повышающие атмосферостойкость материала, суперконцентраты, антимикробные и противогрибковые добавки и др. Концентрация добавок 1-5 % мас. Однако они имеют решающее влияние на поведение древесно-полимерной массы при переработке и на свойства конечного продукта (прочность, внешний вид, долговечность, устранение усадки конечного изделия, влагостойкость и др.).

Главным преимуществом в эффективности ТДПК над древесными материалами являются добавки, вводимые в смесь, в частности, вяжущие вещества, которые обеспечивают прочность целлюлозно-древесных волокон, усиливая сцепление между молекулами целлюлозы и полимерами на основе углеводорода. Они также способствуют однородности диспергирования древесных наполнителей. Вяжущие вещества используются в сочетании с другими добавками: смазочные материалы, термо-, светостабилизаторы, красители, антифунгальные добавки [64]. Иногда эти добавки могут вносить негативные эффекты – например, некоторые смазочные материалы склонны к интерференции с вяжущими веществами.

Разрабатываются многофункциональные добавки, например, обладающие действием одновременно как вяжущего вещества, так и смазочного материала. В настоящее время самую обширную группу вяжущих веществ составляют малеинированные полиолефины. Они состоят главным образом из полиэтилена с функциональными группами малеиновых ангидридов, привитыми на основные цепи полимера [65]. Многие преимущества ТДПК основаны на применении вяжущих веществ, которые используются для совмещения базовых полимеров и древесных наполнителей. Если эти вяжущие вещества использовать концентрацией 26-28% мас., то они могут значительно повысить прочность древесных композитов, снизить количество поглощаемой ими влаги, повысить их устойчивость против атмосферных воздействий и безупречность.

Смазочные материалы являются важной частью комплекта вяжущих веществ. Некоторые смазочные материалы могут снизить эффективность

вяжущих веществ, но другие практически на нее не воздействуют. Некоторые смазочные материалы действительно усиливают совместимость между базовыми полимерами и древесными наполнителями даже без введения вяжущих веществ. Большой интерес представляют составы добавок, которые объединяют в себе усиленную совместимость с улучшенными смазочными свойствами и имеют форму отдельного молекулярного объекта или синергетических сочетаний ингредиентов [66]. Смазочные материалы снижают трение в процессе переработки (в экструдере, фильере, компаундере, литьевой машине), повышают производительность системы. Различают внешние и внутренние смазки. Внешние смазки уменьшают трение композиции о рабочие поверхности экструдера и фильеры, внутренние – уменьшают трение частиц композиции друг об друга. Примером могут служить: кислые амины и эфиры, жирные кислоты, гидрокарбоновые воски, стеараты металлов [67].

Характерно, что по истечении нескольких недель ТДПК склонен к снижению массы в результате влияния атмосферы и ультрафиолетовых лучей [68]. Непрерывный процесс разрушения пластика вследствие ультрафиолетовой деструкции и вымывания древесины ведет к потере цвета в изделиях из ТДПК. Под воздействием УФ-света, композитные материалы выцветают. Это происходит из-за того, что высокоэнергетический УФ-свет (рассматриваем ли мы его как электромагнитные волны или как поток фотонов – частиц, не обладающих массой) разрывает полимерные цепи и разрушает другие органические соединения на поверхности. Часто при их разрушении возникают свободные радикалы, которые распространяются, пока не исчезнут из-за рекомбинаций или под действием добавленных антиоксидантов. Выцветание материалов из ТДПК можно уменьшить введением антиоксидантов и стабильных красителей. Неорганические красители, такие как оксид железа, более стабильны, чем органические красители.

Некоторое количество древесных волокон может быть вымыто дождевой водой. Скапливающаяся влага создает благоприятную среду для возникновения и роста плесени. От пагубного воздействия плесени, грибка и загрязнений

необходимо вводить антифунгальные добавки, защищающие его от появления грибка, плесени, гниения, а также способствующие снижению уровня влагопоглощения ТДПК.

В работе [69] отмечается, что с ростом содержания древесноволокнистого материала полимерные композиты поглощают большее количество влаги. Из работы [70] следует что, чем больше древесины в композите, тем позднее наступает насыщение. Это связано с тем, что при высоком содержании опилок по мере поглощения воды происходит разрушение древесно-полимерного композита, приводящее к образованию в ее межчастичном пространстве новых каверн. В работе [71] отмечается, что водопоглощение полимерных композитов уменьшается при снижении размеров частиц древесной муки.

В работе [72] приведена расчётная схема для прогнозирования проницаемости воды через полимерные нанокомпозиты, содержащие плоские наночастицы различной формы и концентрации. Предложенная авторами расчетная схема учитывает химическое строение матричного полимера, а также химическое строение модифицирующих добавок, вводимых с целью улучшения совместимости наночастиц с матрицей.

Для понижения горючести термопластичных полимерных композитов необходимо использовать антипирены. Антипирены должны удовлетворять следующим требованиям: совмещаться с полимером; не ухудшать физико-механические свойства материалов; быть нетоксичными, бесцветными.

Предложено [73] в качестве наполнителей, снижающих горючесть полимерных композитов, оксид сурьмы и гидроксид алюминия.

Во многих случаях требуется также, чтобы антипирены были атмосферостойкими, прозрачными, имели высокие диэлектрические показатели, обладали или, наоборот, не обладали пластифицирующим действием. Предполагают [74], что антипирены действуют двояко: 1) препятствуют пиролизу полимера и замедляют выделение горючих газов пиролиза; 2) образуют слаболетучие негорючие газы, препятствующие воспламенению газов пиролиза.

Отдельные авторы отмечают, что древесина не вступает в химическую связь с термопластичной матрицей [75], объясняя это инертностью полимеров, которые способны лишь обволакивать частицы древесного наполнителя, а свойства композиций определяются индивидуальными свойствами ее компонентов. Химическое взаимодействие древесины и термопластов может быть достигнуто лишь активацией полимера или модификацией древесного наполнителя. Авторы работы [16] отмечают химическое взаимодействие между компонентами композиционного материала.

Антипирены разделяют на инертные (не вступающие в реакцию с полимером и образующие с ним однородную физическую смесь), и химически активные (вступающие в химическую реакцию с полимером).

Способы придания с помощью антипиренов огнестойкости некоторых используемых термопластичных полимеров в качестве вяжущего:

– первичный полиэтилен перерабатывают при температурах от 135 до 177°С., поэтому его горючесть можно понизить введением оксида сурьмы в сочетании с легкоплавкими хлорированными парафинами или с более стабильными галогенсодержащими циклоалифатическими соединениями;

– огнестойкость полистирола можно повысить введением алифатических, циклоалифатических и ароматических галогенсодержащих соединений в сочетании с оксидом сурьмы;

– жесткий поливинилхлорид негорюч и не требует введения антипиренов; эластичный поливинилхлорид является горючим полимером, и для повышения огнестойкости в него вводят добавки. Поскольку эластичный поливинилхлорид уже содержит хлор, введение только оксида сурьмы заметно повышает его огнестойкость [76, 77].

В ТДПК используются и другие добавки: органосиланы; дериваты жирных кислот; длинноцепные хлорированные парафины, а также полиолефиновые полимеры с кислотными ангидридами, внедренные в основные цепи полимеров.

В большинстве работ [13, 53, 78, 79, 80] авторы, с целью улучшения свойств древесно-полимерных композиций, вводили различные

модифицирующие добавки, при этом, структурные исследования композиций не выполняли. Поэтому сделать какие-либо выводы о влиянии модифицирующих добавок на процесс структурообразования композиций, их адгезионные свойства, реологические характеристики не представляется возможным.

1.4 Выводы по разделу 1

1.1 Переработка и использование древесины сопровождается большим объемом отходов, которые составляют 45-55% всей перерабатываемой древесины. Использование отходов древесины является важнейшим источником удовлетворения потребностей строительства в эффективных строительных материалах. Большая часть отходов сжигается или вывозится в отвал, поэтому разработка новых строительных материалов с использованием отходов древесины, удовлетворяющих современным экономическим, экологическим и техническим требованиям, является актуальной научно-технической задачей. Проблема использования вторичного полиэтилена высокого давления имеет экономический и экологический аспект, так как связана с возрастающим разрывом между использованием и производством полимерных материалов, а также с защитой окружающей среды. Повысить экологическую безопасность композиционных материалов с использованием отходов древесины позволит обосновать целесообразность применения в качестве вяжущего вещества вторичного полиэтилена высокого давления, и получение термопластичных древесно-полимерных композиционных материалов.

1.2 Анализ работ Аскадского А. А., Баженова С. Л., Генина Н. Н., Диденко С. В., Калашникова С. А., Кондращенко В. И., Любешкина Е. Г., Мацеевича Т. А., Портненко В. С., C. Brischke, H. Kobori, E. Stanaszek, W. Darmawan и др. свидетельствуют о том, что проблема повторного использования полиэтилена высокого давления в виде вышедших из употребления изделий, а также технологических отходов производств древесины, является актуальной и носит как экологический, так и экономический характер.

Для переработки вторичного полиэтилена высокого давления необходима их предварительная подготовка. При этом необходимо учитывать источник образования отходов и степень их загрязнения, модифицирование вторичного полиэтилена изменением его химической структуры в процессе экструзии на комбинированном экструдере. При определенных температурно-скоростных режимах экструзии происходит разрушение пространственной структуры вторичного полиэтилена. Это приводит к снижению вязкости расплава и улучшает его перерабатываемость. Снижение содержания гель-фракции в полимере сопровождается ростом молекулярной массы растворимой части, за счет рекомбинации макрорадикалов.

1.3 Выполнен анализ применяемых технологий и оборудования для производства композиционных материалов из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины: экструзия, литье под давлением, ротационное формование, прямое прессование. Сравнивая, приведённые способы производства изделий из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины, следует отметить, что экструзия, ротационное формование и литье под давлением имеют технологические ограничения, высокую стоимость. В отличие от этого оборудование для прямого прессования достаточно простое, доступное и несложное в обслуживании, имеет невысокую стоимость.

1.4 К основным недостаткам изученных композиционных материалов относятся невысокое содержание древесного наполнителя, низкая термостойкость, горючесть, старение полимеров, набухание, усадка конечного изделия, биоповреждение древесины и недостаточно высокие прочностные и эксплуатационные свойства, обусловленные невысоким адгезионным взаимодействием компонентов в композите и т.д. Недостатки могут быть устранены введением модифицирующих добавок – суперконцентратов, антипиренов, стабилизаторов, антисептиков и т.п. Концентрация модифицирующих добавок 1-5 % мас. Однако они имеют решающее влияние на

поведение древесно-полимерной массы при переработке и на свойства конечного продукта (прочность, внешний вид, долговечность, влагостойкость).

1.5 Анализ литературных источников свидетельствует о том, что проблема использования вторичного полиэтилена высокого давления имеет, как экономический характер, так и экологический аспект, так как связана с возрастающим разрывом между использованием и производством полимерного материала, а также с защитой окружающей среды. Получение композиционных материалов с использованием вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины позволяет решить проблему совместного использования этих отходов в производстве строительных материалов с использованием отходов вторичного полиэтилена высокого давления. Теоретические положения и технология производства композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины должны основываться на современных представлениях о воздействии внешних факторов на свойства вторичных термопластов, а также физико-химических процессах, происходящих на технологических этапах получения материала.

РАЗДЕЛ 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Закономерности формирования структуры композиционных строительных материалов из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

Эффективным направлением в переработке мелкодисперсных отходов древесины является получение новых строительных композиционных материалов. Основными компонентами при производстве изделий композиционного материала являются мелкодисперсные отходы переработки древесины [81, 82], вторичный полиэтилен высокого давления марки 15803-020 [83] в виде порошка и модификаторы.

Мелкодисперсные отходы древесины целесообразно подвергать сушке, а затем выполнить гранулометрический анализ [91].

В составе композиционного материала частицы древесины являются армирующим компонентом. В данной системе наблюдается формирование адгезионных связей между древесным наполнителем и полимерным вяжущим веществом. Физико-механические показатели полученного изделия достигаются в результате оптимизации межфазных и физических взаимодействий, и отличаются от показателей отдельных компонентов входящих в его состав, наделяя композит новыми синергетическими свойствами.

Оптимальная концентрация древесного наполнителя обеспечивает устойчивые показатели качества изделия. Расположение древесного наполнителя в вяжущем веществе должно быть равномерное, ориентированное по длине изделия, расстояние между ними определяется оптимально-структурированным слоем полимерного вяжущего. В связи с этим полиэтилен высокого давления должен полностью заполнять пустоты и обволакивать частицы древесного наполнителя. [84, 126].

Появление межфазного слоя разделяет пресс-материал на две части: полимер в свободном состоянии и полимер в межфазном структурированном пленочном состоянии [85]. В связи с этим концептуальную модель композита целесообразно представить в виде шара из трех сферических концентрических слоев [86] (рисунок 2.1).

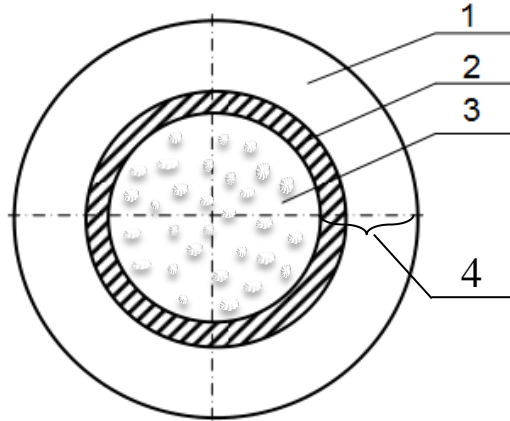


Рисунок 2.1 – Предполагаемая схема фрагмента композиционного материала из древесного наполнителя и полимерного вяжущего вещества

- 1 – полимерное вяжущее вещество;
- 2 – межфазный структурированный слой полимера;
- 3 – древесный наполнитель;
- 4 – граничный слой.

Межфазный слой существенно отличается от матричной фазы по составу, поскольку он постепенно сорбирует в себя вспомогательные вещества и другие низкомолекулярные включения связующего и вещества поверхности наполнителей.

Граница раздела фаз очень часто является наиболее дефектной зоной материала, и именно здесь начинается разрушение, как при механических нагрузках, так и при других воздействиях.

Граница раздела фаз определяет интенсивность взаимодействия полимер-наполнитель посредством двух структурных параметров: прямого адгезионного взаимодействия контактирующих фаз и модификации структуры матричного полимера в области контакта [101].

Очевидно, что структура и свойства межфазного слоя для данного полимерного композита определяются энергией адгезионного взаимодействия, изменение структуры и свойств полимера в объеме межфазного слоя изменяет адгезионное взаимодействие на поверхности контакта.

В процессе производства полимерной композиции с использованием мелкодисперсных отходов древесного наполнителя и вторичного полиэтилена высокого давления целесообразно рассмотреть происходящие физико-химические процессы вследствие наличия в составе двух химически разнородных тел. Они являются основополагающими при формировании межфазных связей, влияющих на эксплуатационные характеристики материала. Взаимодействие полимерного вяжущего вещества и мелкодисперсных отходов древесных частиц создаёт неоднородную систему, в которой слой связующего взаимодействует с поверхностью древесных частиц, образует межфазный слой. В связи с этим, немаловажным является отношение толщины межфазного слоя к общему слою вяжущего вещества. [87] (рисунок 2.2). Концентрация вторичного полиэтилена высокого давления на поверхности частиц мелкодисперсных отходов будет оптимальной, когда адгезия вяжущего вещества к поверхности частиц будет максимальна.

Для обеспечения изделия с устойчивым показателем целесообразно оптимизировать концентрационные соотношения компонентов в изделии, такие как: вторичный полиэтилен высокого давления 26-28% мас., мелкодисперсные отходы древесины 69-71% мас., и модифицирующие добавки 3% мас.

Равномерность распределения древесных частиц в вяжущем веществе коэффициент вариации содержания ключевого компонента, не более 7% достигается качественным смешиванием компонентов. Вяжущее вещество в композиции обеспечивает монолитность материала – основной фактор, от которого зависят качественные показатели изготавливаемого изделия. Значимым также является расположение древесного наполнителя, при разрыве поперёк волокон, вне зависимости от породы, предел прочности намного выше, чем в радиальном направлении [88]. В случае неполного покрытия фракций древесного

наполнителя полимерной пленкой из-за недостатка концентрации вяжущего вещества полимерный композит разрушается. Избыток концентрации вторичного полиэтилена высокого давления ухудшает равномерность распределения, вяжущего в полимерном композите в результате перемещения части полимера при прямом прессовании пресс-материала из зон повышенного напряжения.

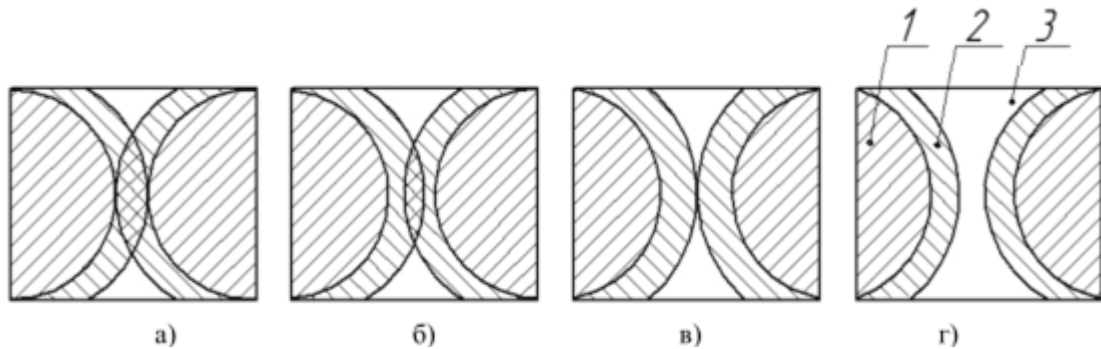


Рисунок 2.2 – Предполагаемая схема расположения структурных компонентов в композиционных материалах

- 1 – древесный наполнитель;
- 2 – межфазный слой;
- 3 – полимерное вяжущее вещество;

а) – межфазные слои перекрываются и весь объем вяжущего вещества находится под воздействием с двух сторон мелкодисперсных древесных частиц;

б) – межфазные слои частично перекрываются под двойным воздействием мелкодисперсных древесных частиц;

в) – межфазные слои контактируют только поверхностями, слои не будут испытывать действие мелкодисперсных древесных частиц и будут находиться в несвязанном состоянии;

г) – межфазные слои не контактируют, мелкодисперсные древесные частицы удалены друг от друга, большая часть слоя не подвержена воздействию мелкодисперсных древесных частиц и имеет исходное состояние.

Расчетным методом, разработанным профессором И.В. Королевым, определена толщина полимерной пленки на фракциях данного размера [89]. По этому методу удельная площадь поверхности полимерного композита равна

$$S_{\text{пк}} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^m S_i P_i \quad (2.1)$$

где S_i – удельная площадь поверхности фракции, i , мм²/г;

P_i – содержание фракции, i , %.

Определяем удельную площадь поверхности фракции i

$$S_i = \frac{K}{d_{\text{ср}} \cdot \rho_m} \quad (2.2)$$

где K – коэффициент формы;

$d_{\text{ср}}$ – средний диаметр фракции, i , мкм;

ρ_m – средняя плотность материала, кг/м³.

Распределение вяжущего вещества в полимерном композите целесообразно определять по формуле (2.3)

$$\delta = \frac{\alpha \Pi}{S \rho_{\text{п}}} \quad (2.3)$$

где δ – толщина полимерной пленки на мелкодисперсных отходах древесины, мкм;

α – переводной коэффициент;

Π – количество вторичного полиэтилена высокого давления, % массы;

S – удельная площадь поверхности фракции полимерного композита, мм²/г;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность вторичного полиэтилена высокого давления, кг/м³.

Подставляем в формулу (2.4)

$$S = \frac{K}{A\rho_m} \quad (2.4)$$

получаем:

$$\delta = \frac{A\alpha\Pi\rho_m}{K\rho_\Pi} \quad (2.5)$$

где A – линейный размер отходов древесных частиц, мкм.

Из полученной зависимости следует, что толщина полимерной пленки прямо пропорциональна количеству вторичного полиэтилена высокого давления и размеру фракций мелкодисперсных отходов древесины в полимерном композите.

Определяем толщину полимерной пленки на фракциях данного размера по формуле (2.6)

$$\delta_m = \frac{10}{S_m \cdot P_m \cdot \rho_\Pi} \left(\Pi - \frac{1}{10} - \rho_\Pi \sum_{i=1}^{m-1} P_i \cdot S_i \cdot \sigma_i \right) \quad (2.6)$$

где δ_m – толщина полимерной пленки на частицах фракции, m , мкм;

S_m – удельная площадь поверхности фракции, m , мм²/г;

P_m – содержание фракции, m , %;

ρ_Π – плотность вторичного полиэтилена высокого давления, кг/м³;

Π – оптимальная концентрация вторичного полиэтилена высокого давления, %;

P_i – содержание фракции, i , %;

S_i – удельная площадь поверхности фракции, i , мм²/г;

σ_i – толщина полимерной пленки на частицах фракции, i , мкм.

По формуле (2.6) определена толщина полимерной пленки на фракциях мелкодисперсных отходов древесины в пресс-массе оптимальной гранулометрии, при которой формуется полимерный композит с наибольшей прочностью и плотностью. Толщина полимерной пленки на частицах мелкодисперсных отходов древесины взаимосвязана также с вязкостью полимера. [90].

Процесс прямого прессования состоит из основных операций: подготовка, дозирование и загрузка в пресс-форму; предварительный нагрев; прессование методом прямого прессования; выдержка и охлаждение под давлением; извлечение готового материала.

Для экспериментальных исследований принят массовый способ дозирования приготовленного материала в пресс-форму, который является точным, простым и удобным.

Определение пористости насыпной пресс-массы по формуле (2.7) [92]

$$n_{\text{нас}} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \quad (2.7)$$

где $n_{\text{нас}}$ – пористость насыпной пресс-массы, %;

ρ_s – насыпная плотность влажных мелкодисперсных отходов древесины, г/см³;

ρ_d – плотность полимерного композита, г/см³.

Плотность полимерного композита определяем

$$\rho_d = \frac{m}{V} \quad (2.8)$$

где ρ_d – плотность полимерного композита, г/см³;

m – масса изделия, г;

V – объем изделия, см³.

Влажность древесного наполнителя вычисляем по формуле (2.9) [111]

$$X = \frac{(m_1 - m_2)100}{m_2 - m} \quad (2.9)$$

где X – влажность древесных отходов, %;

m – масса стаканчика, г;

m_1 – масса стаканчика с навеской до сушки, г;

m_2 – масса стаканчика с навеской после сушки, г.

Отдозированный пресс-материал загружается в пресс-форму [93], и помещается в муфельную печь для предварительного нагрева при температуре около 200°C. Температура предварительного нагрева не превышает процессы деструкции: вторичного полиэтилена высокого давления (270°C), его пиролиза с образованием воскоподобного вещества (475°C) [64], горение опилок, которое состоит в распаде гемицеллюлозы (200-260°C), целлюлозы (240-350°C), лигнина (280-500°C) [94]. После определенного интервала времени температурного нагрева пресс-форма убирается с муфельной печи и выполняется прессование.

Основным показателем, характеризующим процесс прессования, является плотность получаемых композитных изделий, которая зависит от давления, прикладываемого к формируемому материалу [95]. Зависимость между этими величинами позволяет определить удельное давление, необходимое для уплотнения:

$$P = \frac{1000 \cdot N}{F \cdot n} \quad (2.9)$$

где P – удельное давление, кгс/см²;

N – эффективное усилие пресса, т;

F – площадь прессования, см²;

n – число гнёзд (в данном случае $n=1$).

С момента контакта опускаемого плунжера с поверхностью пресс-материала в форме возникает давление, которое заставляет вязкопластический материал пластически деформироваться, тем самым заполняет формообразующее пространство формы. Усилие, развиваемое прессом, расходуется на трение с древесным наполнителем и полимером при пластическом деформировании в форме. Возникающему давлению препятствуют стенки пресс-формы, вследствие чего возникает боковое давление в результате этого появляются силы трения материала о стенки пресс-формы [96]. Пуансон в процессе перемещения преодолевает не только сопротивление материала сжатию, но и трение его о

стенки канала и на упор передается меньшее давление, чем давление, действующее на материал со стороны пуансона.

Боковое давление q зависит от осевого давления [97] и состоит из двух слагаемых: первое - представляет собой боковое давление, вызываемое осевым и равное μP ; второе - q_0 выражает остаточное боковое давление, обусловленное упругим расширением спрессованного материала. Таким образом, зависимость между боковым давлением и осевым имеет вид:

$$q = \mu P + q_0 \quad (2.10)$$

где q – боковое давление, кгс/см²;

μ – коэффициент бокового давления;

P – удельное давление, кгс/см²;

q_0 – остаточное боковое давление, кгс/см².

Сила трения материала о стенки канала определяется по формуле (2.11)

$$F = u(P - P_1) \quad (2.11)$$

где F – сила трения материала, Н;

u – площадь поперечного сечения, мм²;

P – удельное давление, кгс/см²;

P_1 – удельное давление на упоре, кгс/см².

Определяем удельное давление P_1 на упоре пресс-формы по формуле (2.12)

$$P_1 = \left[P + \frac{q_0}{\mu} \right] \exp \left[-f\mu(L - S) \cdot \frac{1}{u} \right] - \frac{q_0}{\mu} \quad (2.12)$$

где P_1 – удельное давление на упоре, кгс/см²;

q_0 – остаточное боковое давление, кгс/см²;

μ – коэффициент бокового давления;

f – коэффициент трения материала о стенки канала;

L – длина канала пресс-формы, мм;

l – периметр поперечного сечения пресс-формы, мм²;

S – продвижение пуансона, мм.

Определяем развернутое уравнение для определения силы трения, подставляя P_1 в выражение (2.11) из уравнения (2.12), получаем

$$F = u \left(P + \frac{q_0}{\mu} \right) \left[1 - \exp \left(f\mu \cdot \frac{l}{u} \right) (L - S) \right] \quad (2.13)$$

где F – сила трения материала, Н;

u – площадь поперечного сечения, мм²;

P – удельное давление, кгс/см²;

P_1 – удельное давление на упоре, кгс/см²;

q_0 – остаточное боковое давление, кгс/см²;

μ – коэффициент бокового давления;

f – коэффициент трения материала о стенки канала;

L – длина канала пресс-формы, мм;

l – периметр поперечного сечения пресс-формы, мм²;

S – продвижение пуансона, мм.

Из уравнения (2.13) следует, что сила трения зависит от физико-механических свойств материала и отношения периметра поперечного сечения пресс-формы к его площади, с уменьшением этого отношения сопротивление трению материала о стенки канала пресс-формы и работа на его преодоление уменьшаются. Следовательно, круглое сечение канала пресс-формы является наиболее подходящим.

После полного сжатия пресс-материала осуществляется выдержка под давлением, которая начинается с момента создания давления прессования в сомкнутой пресс-форме и заканчивается в момент подъема пуансона и

размыкания пресс-формы для извлечения полученного изделия. Одновременно с выдержкой осуществляется охлаждение изделия в пресс-форме под давлением.

Интервал выдержки изделия в пресс-форме под давлением определяем по формуле (2.14) [98]

$$t_{\text{выд}} = t_{\text{уд}} \cdot \delta \quad (2.14)$$

где $t_{\text{выд}}$ – интервал выдержки под давлением, с;

$t_{\text{уд}}$ – время удельной выдержки на 1 мм толщины изделия, с/мм;

δ – максимальная толщина изделия, мм.

По окончании выдержки изделия, пуансон возвращается в первоначальное положение. При этом давление падает постепенно с некоторой задержкой до нуля.

Определяется коэффициент полезного действия отношения давления упора к давлению пуансона по формуле (2.15)

$$\eta = \frac{P_1}{P} = \exp\left(-f\mu\frac{l}{u}\right)(L - S) + \left(\frac{q_0}{\mu P}\right)\left[\exp\left(-f\mu\frac{l}{u}\right)(L - S) - 1\right] \quad (2.15)$$

где η – коэффициент полезного действия;

f – коэффициент трения материала о стенки канала;

μ – коэффициент бокового давления;

u – площадь поперечного сечения, мм²;

l – периметр поперечного сечения пресс-формы, мм²;

L – длина канала пресс-формы, мм;

S – длина сжатия пуансона, мм;

q_0 – остаточное боковое давление, кгс/см²;

P – удельное давление, кгс/см².

После полного охлаждения готовое изделие извлекается из пресс-формы. Определяем удельное давление необходимое для выталкивания изделия из пресс-формы по формуле (2.16)

$$P_{\text{выт}} = \left(\frac{q_0}{\mu}\right) \left[\exp f \mu \left(\frac{l}{u}\right) (h + \Delta h) - 1 \right] \quad (2.16)$$

где $P_{\text{выт}}$ – удельное давление выталкивания изделия, кгс/см²;

q_0 – остаточное боковое давление, кгс/см²;

μ – коэффициент бокового давления;

u – площадь поперечного сечения, мм²;

f – коэффициент трения материала о стенки канала;

l – периметр поперечного сечения пресс-формы, мм².

Интервал времени, которое изделие находится под давлением при охлаждении, является одним из факторов, влияющих на упругое расширение полимерного композита после извлечения его из пресс-формы.

Чем больше интервал, тем меньше увеличивается в объёме изделие после извлечения. Это показывает, что при выдержке под давлением энергия упругих деформаций рассеивается и тем меньше он расширяется после извлечения его из пресс-формы. Вследствие рассеивания энергии напряжения в пресс-материале уменьшаются, в результате релаксации напряжений, которые определяются с помощью уравнения Больцмана-Вольтерры [99, 100, 108]:

$$\sigma = \sigma_0 \left[1 - \int_0^t T(\tau) dt \right] \quad (2.17)$$

где σ – релаксирующее напряжение;

σ_0 – начальное напряжение, которое развивается во время окончания «мгновенного» задания деформации;

$T(\tau)$ – ядро релаксации;

τ – текущее время, которое пробегает значения от 0 до t ;

t – конечное время.

Представленные закономерности формирования структуры композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины подтверждают сложность формирования структуры композита. Анализ закономерностей формирования композиционного древесно-полимерного материала свидетельствует о зависимости качественных характеристик от концентрационного соотношения в системе «наполнитель – связующее вещество».

2.2 Программа экспериментальных исследований

Для подтверждения теоретических предпосылок и экспериментальной проверки структурообразования и свойств композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины принята следующая программа исследований:

- обосновать материалы, определить их свойства и методы исследований;
- исследовать зависимость свойств полученных композиционных строительных материалов от химического и фракционного состава сырья;
- изучить процессы и явления, происходящие при технологическом действии на вторичный полиэтилен высокого давления, а также изменение состава в зависимости от степени и времени технологического процесса;
- определить механические свойства древесно-полимерных композитов;
- изучить реологические свойства древесно-полимерных композитов;
- определить теплофизические и электрические свойства древесно-полимерных композитов;
- разработать рекомендации по производству эффективных древесно-полимерных материалов, содержащих в своём составе вторичный полиэтилен высокого давления и мелкодисперсные отходы переработки древесины.

2.3 Выводы по разделу 2

2.1 В составе композиционного материала частицы древесины являются дисперсно-армирующими материалами. В данной системе наблюдается возникновение адгезионных связей между древесным наполнителем и полимерным вяжущим веществом. Физико-механические показатели полученного изделия достигаются в результате оптимизации межфазных и физических взаимодействий и отличаются от показателей отдельного компонента входящего в его состав, наделяя композит синергетическими свойствами. Концентрация вторичного полиэтилена высокого давления на поверхности частиц мелкодисперсных отходов будет оптимальной, когда адгезия вяжущего вещества к поверхности частиц будет максимальна.

2.2 Оптимальная концентрация древесного наполнителя обеспечивает устойчивые заданные показатели качества изделия. Расположение древесного наполнителя в вяжущем веществе должно быть равномерное, ориентированное по длине изделия, расстояние между ними определяется оптимально-структурированным слоем полимерного вяжущего. В связи с этим полиэтилен высокого давления должен полностью заполнять пустоты и обволакивать частицы древесного наполнителя.

2.3 Определена толщина полимерной пленки на частицах мелкодисперсных отходов древесины в пресс-массе оптимальной гранулометрии, при которой формируется полимерный композит с наибольшей прочностью и плотностью. Толщина полимерной пленки на частицах мелкодисперсных отходов древесины взаимосвязана с вязкостью полимера.

2.4 С момента контакта опускаемого плунжера с поверхностью пресс-материала в форме возникает давление, которое заставляет вязкопластический материал пластически деформироваться и тем самым заполняет формообразующее пространство формы. Усилие, развиваемое прессом,

расходуется на трение с древесным наполнителем и полимером при пластическом деформации в форме.

2.5 Интервал времени, которое изделие находится под давлением при охлаждении, является одним из факторов, влияющих на упругое расширение полимерного композита после извлечения его из пресс-формы.

РАЗДЕЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Характеристика материалов, принятых для исследований

Для выполнения программы исследований по получению оптимального состава композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины приняты.

Древесный наполнитель. В качестве наполнителя использован древесно-растительный наполнитель в виде смеси отходов промышленной переработки (опилки, стружка) или специально получаемой для производства ДСП и ДВП, а также из частиц измельчённых растительных отходов сельскохозяйственного и промышленного производства фракции 0,1-5 мм (таблица 3.1), отвечающие требованиям ГОСТ 16361-87 (дата актуализации 06.04.2015), ГОСТ 23246-78 (дата актуализации 13.09.2019), ГОСТ 5244-79 (дата актуализации 15.03.2008), ГОСТ 15815-83 (дата актуализации 06.04.2015).

Таблица 3.1

Характеристика древесного наполнителя

Древесный наполнитель	Способ получения	Рассев отходов древесной фракции, мм	Влажность, %
1	2	3	4
Мелкодисперсные отходы переработки древесины	просеивание	0,1-1,25, 2-5	менее 10,0 менее 10,0

Вторичные термопласты. В качестве термопластичного связующего материала использован вторичный полиэтилен высокого давления марки 15803-020 в виде порошка и гранул (таблица 3.2), отвечающий требованиям ГОСТ 16337-77 (дата актуализации 06.04.2015). Гранулы измельчены на полимерной дробилке и просеяны через сита № 0,33, 0,63, 1,25, 2,5, 5 мм.

Сырье и характеристика вторичных термопластов

Наименование материала	Цвет материала	Способ получения	Размер фракции, мм	Температура плавления, °С
1	2	3	4	5
Медицинские шприцы, системы переливания	белый, прозрачный	дробление, рассев	0,33-5	110-130
Пластиковые трубы различного диаметра	разнообразный	дробление, рассев	0,33-5	120-140
Упаковка, ящики, контейнеры, тара и другая продукция	разнообразный	дробление, рассев	0,33-5	110-130

Модифицирующие добавки. В качестве модифицирующей добавки использовался воск марки П-1, отвечающий требованиям ГОСТ 23683-2021 (дата актуализации 01.01.2022). Воск белого цвета с температурой плавления 55 °С, а также суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 и антипирен российской фирмы «ЭкоПирен».

3.2 Методы экспериментальных исследований

Гранулометрический рассев древесного наполнителя выполнен на лабораторном ситовом анализаторе, имеющем заданные размеры ячеек (рисунок 3.1). Показатель значения размера фракции определялся набором сит № 0,33, 0,63, 1,25, 2,5, 5 мм. Смешение компонентов происходит в лабораторном смесителе.

Изучение механических свойств изделия выполнено по ГОСТ 14359-69 (дата актуализации 06.04.2015) [107, 112, 120], в котором описываются общие требования, методы, применяемые стандарты для механических погрешностей измерений не более 1,5 %.



Рисунок 3.1 – Лабораторный ситовой анализатор

После извлечения изделия из пресс-формы, определяли пористость древесно-полимерного композита [92]

$$n = n_{\text{нас}} - n_{\text{потер. влаж.}} \quad (3.1)$$

где $n_{\text{потер. влаж.}}$ – определена потеря влажности готового изделия относительно насыпной массы. Составляем 1% от насыпной массы изделия, следовательно $n_{\text{потер. влаж.}} = 0,01n_{\text{нас}}$.

Коэффициент пористости определен по формуле (3.2)

$$e = \frac{\rho'_s - n}{\rho'_s} \quad (3.2)$$

где ρ'_s – насыпная плотность сухих мелкодисперсных отходов древесины.

Исследование удельной ударной вязкости выполнено в соответствии с ГОСТ 4647-2015 (дата актуализации 01.01.2021) [102]. Ударную вязкость определяли по Шарпи.

1) На изделии без надреза по формуле (3.3)

$$a_n = \frac{A_n}{b \cdot h} \cdot 10^3 \quad (3.3)$$

где a_n – энергия удара, поглощенная при разрушении испытуемого изделия без надреза, кДж/м²;

b – ширина изделия, мм;

h – толщина изделия, мм.

2) на изделие с надрезом по формуле (3.4)

$$a_k = \frac{A_k}{b \cdot S_N} \cdot 10^3 \quad (3.4)$$

где a_k – энергия удара, поглощенная при разрушении испытуемого изделия с надрезом, кДж/м²;

b – ширина изделия, мм;

S_N – b_N (при ударе «в ребро») или h_N (при ударе «плашмя»), мм.

Показатель текучести расплава термопластичного древесно-полимерного композита определяли по ГОСТ 11645-73 (дата актуализации 06.04.2015) [103]. Показатель текучести расплава в г/10 мин вычисляли с точностью до двух значащих цифр по формуле (3.5)

$$\text{ПТР}_{(T,P)} = \frac{t \cdot m}{\tau} \quad (3.5)$$

где T – температура испытания, °С;

P – нагрузка, кгс;

t – стандартное время, с;

m – средняя масса отрезков, г;

τ – интервал времени между двумя последовательными отсечениями отрезков, с.

За результат испытания, принимают среднее арифметическое двух определений на трех отрезках материала, допускаемые расхождения по массе между которыми не должны превышать 5%.

Определение прочности при сжатии выполнялось в соответствии с ГОСТ 4651-2014 (дата актуализации 01.06.2021) [104]. Метод состоит в испытании изучаемого изделия при постоянной скорости деформирования до полного разрушения изделия.

Изделие не должно быть существенно нагружено до начала испытания, однако предварительные нагрузки могут оказаться необходимыми, чтобы избежать искривленного участка в начале кривой "напряжение/относительная деформация".

При определении модуля упругости при сжатии напряжение сжатия в начале испытания (рисунок 3.2) должно находиться в диапазоне $0 \leq \sigma_{сж} \leq 5 \cdot 10^{-4} E_c$, что соответствует предварительной относительной деформации $\varepsilon_{c0} \leq 0,05\%$.

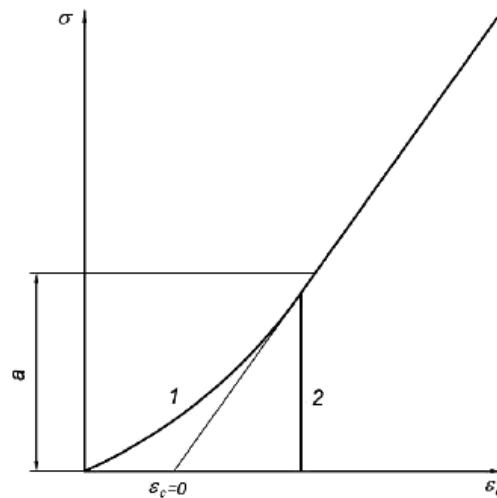


Рисунок 3.2 – Кривая "напряжение (σ)/относительная деформация (ε_t)" с начальным нелинейным участком и определение начальной точки измерения относительной деформации

1 – начальная часть кривой "напряжение/относительная деформация", показывающая искривленную область;

2 – начальная часть кривой "напряжение/относительная деформация", показывающая начало измерения соответствующей нагрузки $a \leq 5 \cdot 10^{-4} E_c$ или $\leq 10^{-2} \sigma_M$.

Модуль упругости при сжатии полиэтилена высокого давления в большой степени зависит от предварительного напряжения (рисунок 3.3).

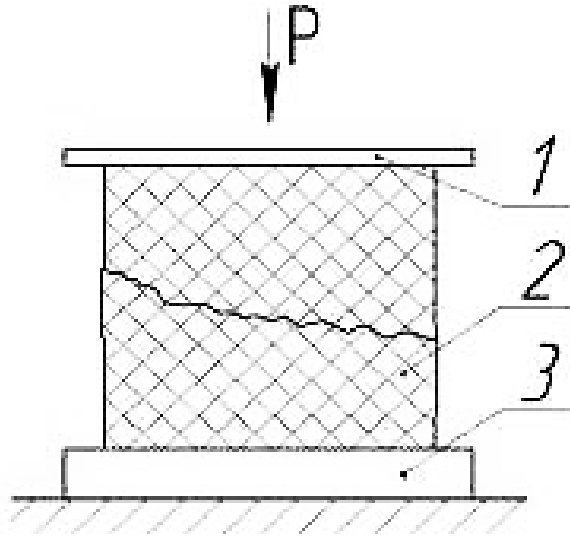


Рисунок 3.3 – Схема испытаний на сжатие

P – удельное давление, кгс/см²;

1 – надавливающий пуансон;

2 – изделие;

3 – неподвижная станина.

Предел прочности при сжатии рассчитывается по формуле (3.6)

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F}{S} \quad (3.6)$$

где F – разрушающая нагрузка при сжатии, кгс;

S – первоначальная площадь поперечного сечения изделия, мм².

Определение прочности при изгибе выполнено по ГОСТ 4648-2014 (дата актуализации 01.01.2021), ГОСТ Р 57843-2017 (дата актуализации 01.01.2018) (рисунок 3.4) [105, 119].

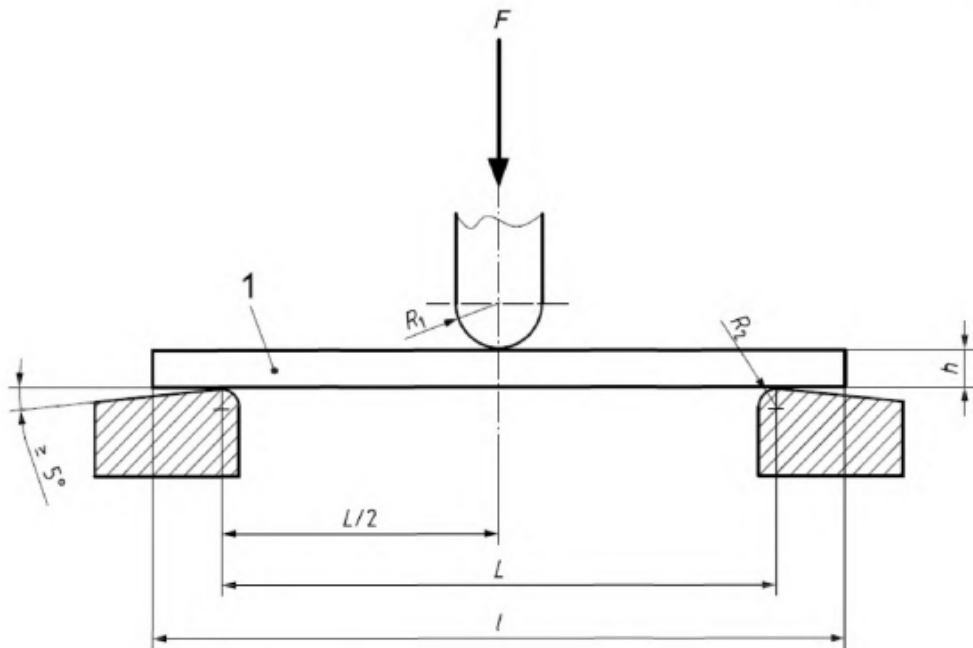


Рисунок 3.4 – Схема испытаний на изгиб

F – разрушающая нагрузка, кгс/см²;

1 – изделие;

h – толщина изделия, мм;

l – длина изделия, мм;

L – расстояние между опорами, мм.

Предел прочности при поперечном изгибе рассчитывается по формуле (3.7)

$$\sigma_{\text{изг.}} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (3.7)$$

где F – разрушающая нагрузка, кгс/см²;

L – расстояние между опорами, мм;

b – ширина изделия, мм;

h – толщина изделия, мм.

Стойкость к истиранию поверхности изделия выполнена по ГОСТ 11012-2017 (дата актуализации 01.01.2021) [106]. Для определения стойкости к истиранию изделия использовалась машина со шлифовальным абразивом и

держателем с закреплённым в нем изделием с возможностью контроля прилагаемой нагрузки (рисунок 3.5).

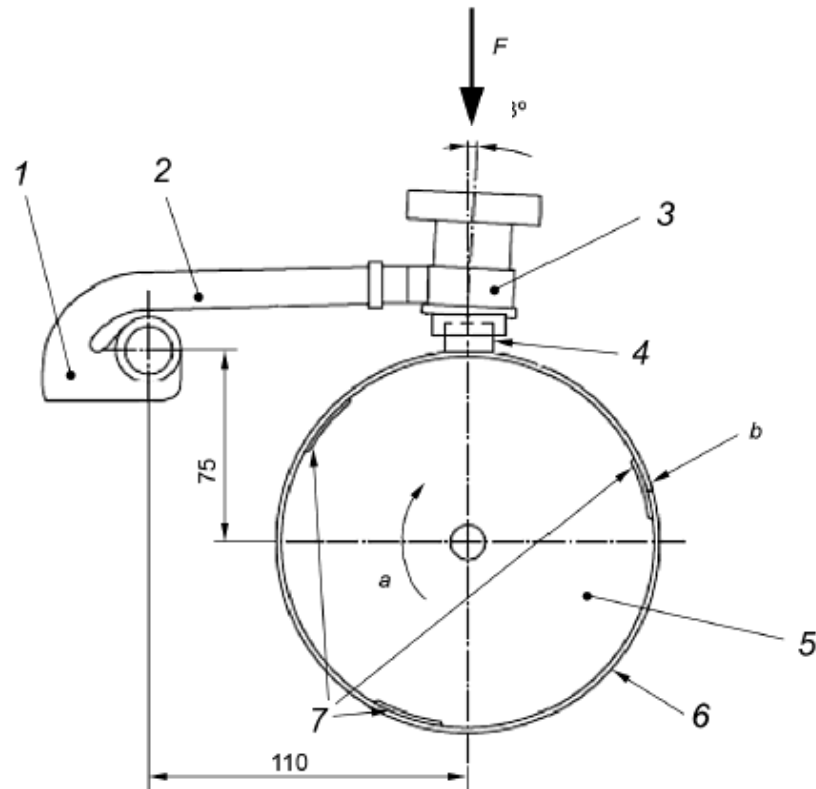


Рисунок 3.5 – Схема испытательной машины для определения стойкости к истиранию

F – вертикальная нагрузка, кгс/см²;

1 – салазки;

2 – поворотный рычаг;

3 – патрон для крепления образца;

4 – изделие;

5 – вращающийся цилиндр 150-170 мм;

6 – шлифовальная наждачка;

7 – двусторонняя клеящая лента;

a – скорость вращения 40 об/мин;

b – ширина стыка 2 мм.

Показатель истирания изделия древесно-полимерного композита вычисляли по формуле (3.8)

$$V_{\text{ист}} = K \cdot \frac{G - G_i}{\rho \cdot L} \cdot 1000 \quad (3.8)$$

где K – коэффициент пересчета, характеризующий истирающую способность рулона абразива, определяли по формуле (3.9)

$$K = \frac{1,20}{V_{\text{истс}}^{\text{э}}} \quad (3.9)$$

$V_{\text{истс}}^{\text{э}}$ – среднее арифметическое показателей истирания эталона на изделие абразива, вырезанных в начале, середине и конце рулона, $\text{мм}^3/\text{м}$;

G – масса испытуемого изделия с держателем до истирания, г;

G_i – масса испытуемого изделия с держателем после истирания, г;

ρ – плотность изделия, $\text{г}/\text{см}^3$;

L – длина пути истирания, м; определяется по формуле (3.10)

$$L = n \cdot l \quad (3.10)$$

где l – длина пути истирания за один оборот цилиндра, определенная с учетом перенесения изделия через планку, прикрепляющую абразив, м;

n – число оборотов цилиндра машины за время испытания.

Исследование выполнено по ГОСТ 27736-88 (дата актуализации 06.04.2015) [113] (рисунок 3.6). Для определения ударной прочности, использован способ определения высоты падения металлического шарика на поверхность изделия. Для каждой высоты падения выполнено по три испытания. При отсутствии на поверхности повреждения увеличивали высоту падения шарика. Увеличение высоты падения шарика прекращают, если получают повреждение изделия в одном из трех испытаний. Показателем ударной прочности считаем максимальную высоту падения шарика.

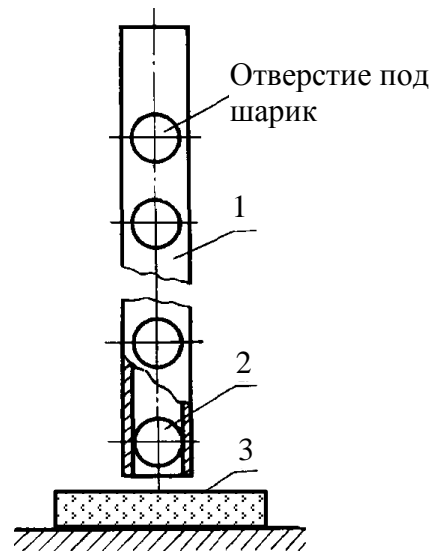


Рисунок 3.6 – Определение поверхностной твердости изделия

- 1 – труба с отверстием под стальной шарик;
- 2 – стальной шарик;
- 3 – изделие.

Показатель степени разрушения оценивается визуальным осмотром по трёхбалльной шкале, где: один балл – нет видимых повреждений; два балла – наблюдается след от удара в отраженном свете, видимые трещины отсутствуют; три балла – наблюдается небольшое растрескивание поверхности материала (одна или две трещины); четыре балла – наблюдаются трещины (более двух в пределах следа от удара), пять баллов – наблюдаются трещины, выходящие за границы следа от удара.

Исследование выполнено по ГОСТ 4670-2015 (дата актуализации 01.01.2021) [114] (рисунок 3.7).

Твёрдость при вдавливании шарика определена по формуле (3.11)

$$H = \frac{F}{\pi dh} \quad (3.11)$$

где H – показатель твердости при вдавливании шарика, $\text{H}/\text{мм}^2$;

F – приложенная нагрузка, H ;

h – глубина вдавливания, мм .

d – диаметр шарика, мм .

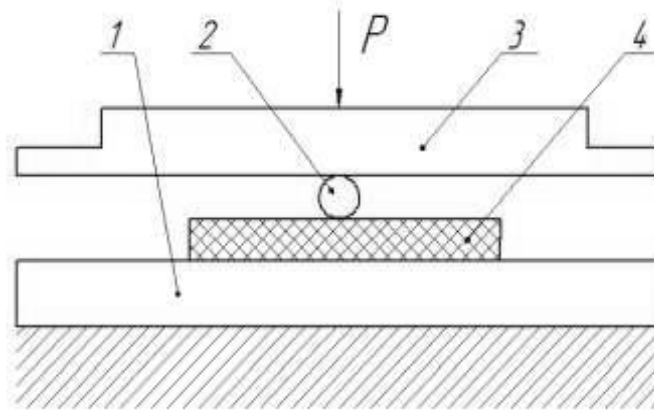


Рисунок 3.7 – Схема для определения твердости поверхности изделия

P – удельное давление, кгс/см²;

1 – опора;

2 – стальной шарик;

3 – вдавливающий верхний пуансон;

4 – изделие.

Исследование водопоглощения изделия выполнено по ГОСТ 4650-2014 (дата актуализации 01.01.2021) [115]. Сущность метода, в определении поглощённой воды изделием, в результате прибывания его в дистиллированной воде при температуре 23 ± 2 °С, в течении установленного интервала времени. Определение массовой доли воды, поглощенной изделием рассчитывали по формуле (3.12)

$$C = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100 \quad (3.12)$$

где C – массовая доля воды, поглощённая изделием, %;

m_1 – масса испытуемого изделия после первоначального просушивания и перед погружением в воду, мг;

m_2 – масса испытуемого изделия после выдержки в воде, мг.

Способ определения среднего коэффициента линейного теплового расширения в установленном интервале температур, определяли по ГОСТ 15173-70 (дата актуализации 01.01.2021) [116]. Средний коэффициент характеризует

относительное приращение длины образца в заданных температурных интервалах. Удлинение измеряется при помощи специального устройства прикреплённого на торцы изделия, который передает показания на индикатор. Средний коэффициент линейного теплового расширения вычисляли по формуле (3.13)

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (3.13)$$

где Δl – приращение длины изделия в границах интервала температур, мм;

$\Delta t = t_2 - t_1$ – приращение температуры от t_1 к t_2 , °С;

t_1, t_2 , – нижняя и верхняя границы интервала температур, °С;

l_0 – длина изделия при температуре 23 ± 2 °С, мм.

Определение теплопроводности поверхности изделия выполнено по ГОСТ 7076-99 (дата актуализации 06.04.2015) [117]. Определяли измерение плотности созданного потока, который проходит через изделие перпендикулярно к лицевым граням при различной температуре этих граней. С помощью полученных данных с учетом толщины изделия, рассчитывали теплопроводность по формуле (3.14)

$$\lambda = \frac{dq}{\Delta T} \quad (3.14)$$

где d – толщина изделия, см;

q – плотность теплового потока проходящего через изделие, Вт/см²;

ΔT – разность температур между противоположными гранями изделия, °С.

Электрическую прочность изделия определяли по формуле (3.15) [107]

$$E_{\text{пр}} = \frac{V}{\delta} \quad (3.15)$$

где δ – толщина изделия полимерного композита, мм;

V – пробивное напряжение, кВ.

3.3 Выводы по разделу 3

3.1 Для подтверждения теоретических предпосылок и выполнения намеченной программы экспериментальных исследований приняты объекты исследований, позволяющие обобщить и перенести полученные экспериментальные данные на объекты, которые широко применяются в Донецкой Народной Республике, Российской Федерации и других странах для производства композиционных строительных материалов из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины. Используемые методы позволяют решить научную прикладную задачу сформулированную в цели и задачах исследования, а также оптимизировать оптимальный расход вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины при их подготовке, изучить их атмосферостойкость и эффективные способы повышения долговечности древесно-полимерного композита.

3.2 В качестве объектов исследований приняты: древесно-растительный наполнитель в виде смеси отходов промышленной переработки (опилки, стружка) или специально получаемой для производства ДСП и ДВП, а также среди частиц измельчённых растительных отходов сельскохозяйственного и промышленного производства с фракцией 0,1-5 мм, отвечающие требованиям ГОСТ 16361-87 (дата актуализации 06.04.2015), ГОСТ 23246-78 (дата актуализации 13.09.2019), ГОСТ 5244-79 (дата актуализации 15.03.2008), ГОСТ 15815-83 (дата актуализации 06.04.2015); в качестве термопластичного связующего материала использован вторичный полиэтилен высокого давления марки 15803-020 в виде порошка и гранул, отвечающий требованиям ГОСТ 16337-77 (дата актуализации 06.04.2015). Гранулы измельчены на полимерной дробилке и просеяны через сита № 0,33, 0,63, 1,25, 2,5, 5 мм; в качестве модифицирующей добавки использовался воск марки П-1, отвечающий требованиям ГОСТ 23683-2021 (дата актуализации 01.01.2022). Воск белого цвета с температурой плавления 55,0 °С, а также суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 и антипирен российской фирмы «ЭкоПирен»

РАЗДЕЛ 4

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

4.1 Обоснование и определение оптимального фракционного состава композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

4.1.1 Оптимизация состава термопластичного древесно-полимерного композита

Для вторичных полимеров полиэтилена высокого давления характерно наличие в их составе реакционноспособных групп, которые играют немаловажную роль при формировании структуры смесей и всего комплекса присущих им свойств - прочностных, реологических, адгезионных [23, 118]. Изучение особенностей поведения вторичного полиэтилена высокого давления на границе раздела фаз позволило выяснить механизм явлений происходящих в граничных слоях компонентов при формировании структуры композиций и предопределило выбор направлений и подходов в изучении процессов формирования структуры полимерных композиций при введении в них древесного наполнителя.

Для обоснования выбора вида используемого древесного наполнителя выполнены исследования и проанализированы данные, полученные при экспериментальных исследованиях, определяющих зависимость физико-механических свойств изделия от вида и количественного содержания в нем древесных частиц [122, 130].

Для определения наиболее эффективного компонента, используемого в качестве наполнителя, исследовали два вида древесных частиц, это древесный

наполнитель с размерами частиц 0,1-1,25 мм и древесный наполнитель с размерами частиц 2-5 мм. В качестве термопластичного связующего материала использован вторичный полиэтилен высокого давления марки 15803-020.

На рисунке 4.1 приведены значения предела прочности при изгибе от концентрации и вида древесного наполнителя.

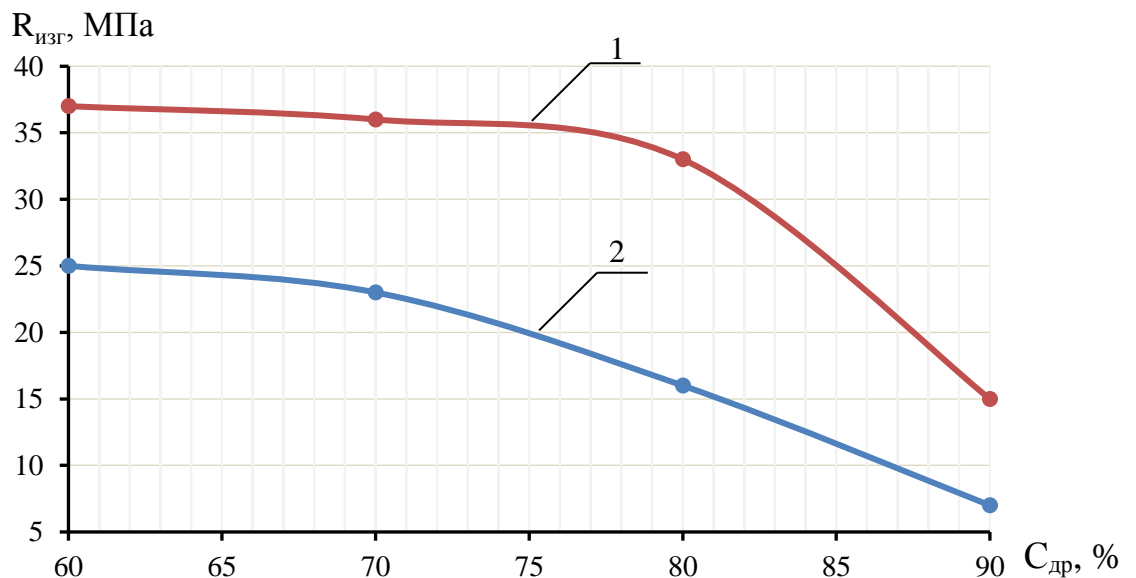


Рисунок 4.1 – Зависимость предела прочности при изгибе ($R_{изг}$) от концентрации древесного наполнителя ($C_{др}$)

- 1 – древесный наполнитель фракции 0,1-1,25 мм;
- 2 – древесный наполнитель фракции 2-5 мм.

Образцы древесно-полимерного композита с древесным наполнителем фракции 0,1-1,25 мм характеризуются значением предела прочности при изгибе в 1,5 раза выше, чем ДПК, наполненного частицами фракции 2-5 мм, так как при использовании таких частиц фракции увеличивается площадь поверхности сцепления наполнителя с матрицей. Это повышает адгезию между древесными частицами и полимером. Как следствие получается более однородная и более прочная композиция.

Древесно-полимерные композиты с составом древесного наполнителя фракции 0,1-1,25 мм характеризуются более высокими значениями предела

твердости в сравнении с композитом, изготовленным с использованием древесного наполнителя фракции 2-5 мм (рисунок 4.2).

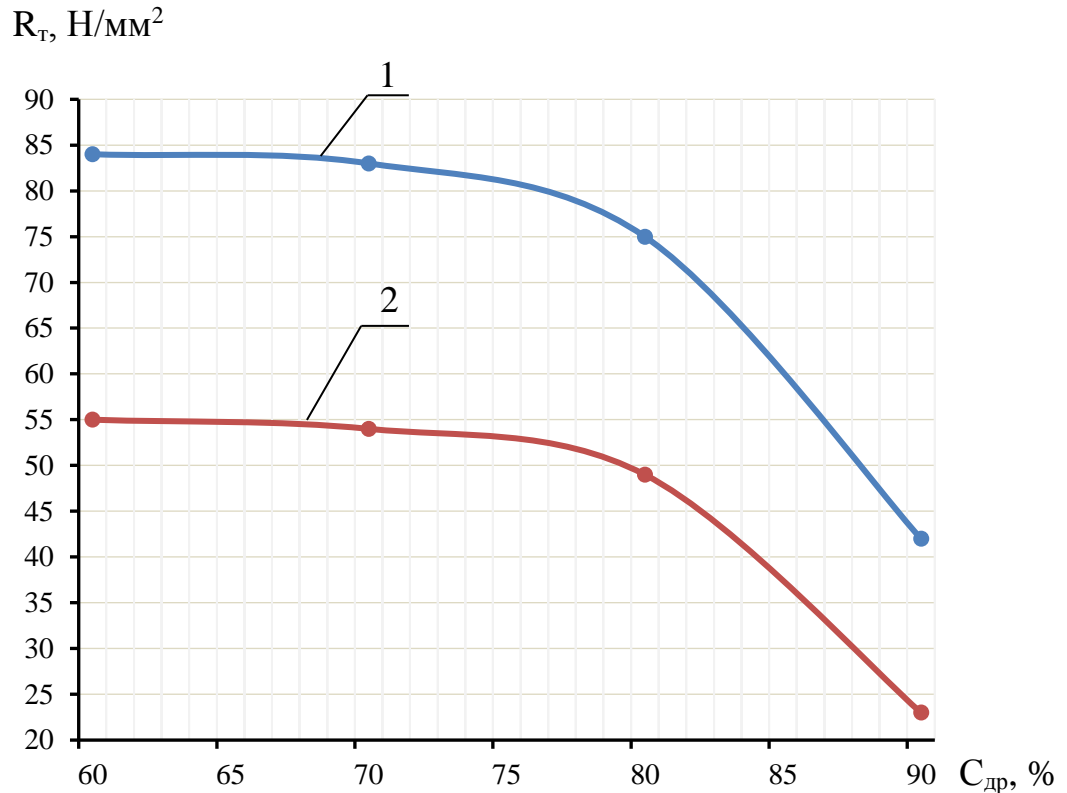


Рисунок 4.2 – Зависимость предела твердости (R_T) древесно-полимерного композита от концентрации древесного наполнителя ($C_{др}$)

- 1 – древесный наполнитель фракции 0,1-1,25 мм;
- 2 – древесный наполнитель фракции 2-5 мм.

На рисунках 4.3, 4.4 приведены зависимости водопоглощения и истираемости от концентрации и вида древесного наполнителя в термопластичном древесно-полимерном композите.

Таким образом, образцы ДПК, изготовленные с использованием древесного наполнителя фракции 0,1-1,25 мм, в среднем на 30% меньше поглощают воду, чем образцы с использованием древесного наполнителя фракции 2-5 мм. В качестве полимерной матрицы при производстве образцов использовался вторичный полиэтилен высокого давления.

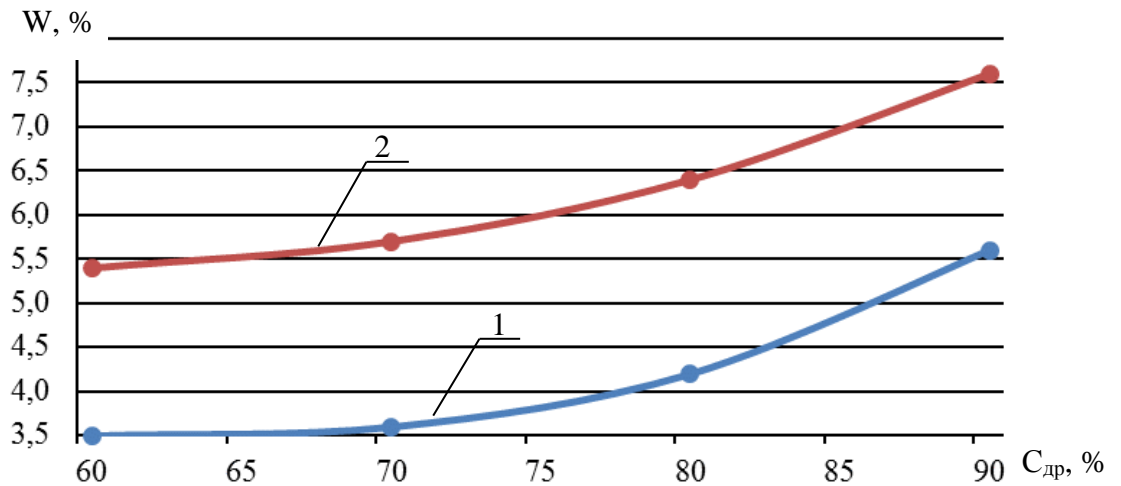


Рисунок 4.3 – Зависимость водопоглощения (W) древесно-полимерного композита от концентрации древесного наполнителя ($C_{др}$)

1 – древесный наполнитель фракции 0,1-1,25 мм;

2 – древесный наполнитель фракции 2-5 мм.

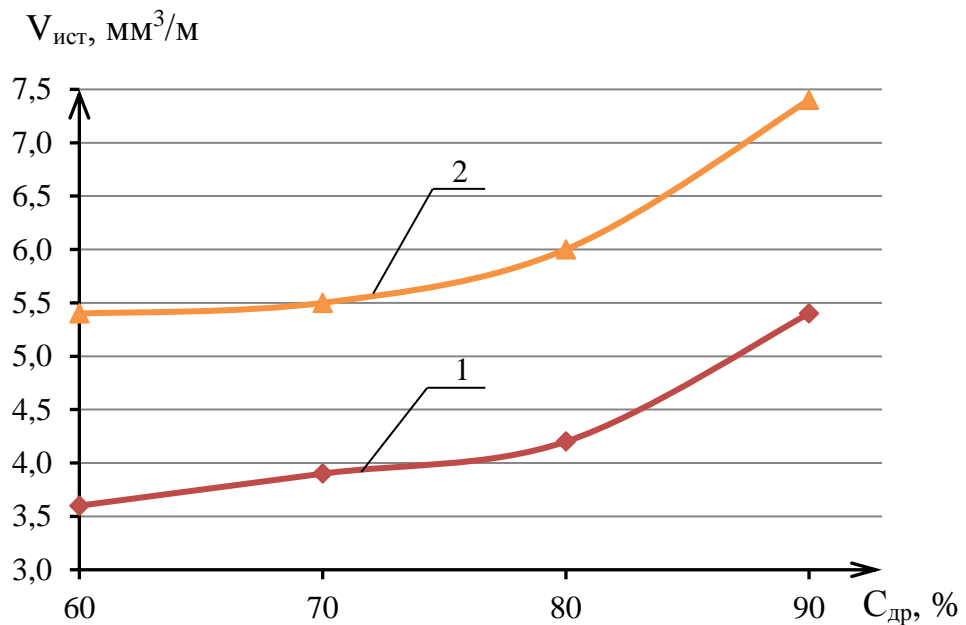


Рисунок 4.4 – Зависимость истираемости ($V_{ист}$) от концентрации древесного наполнителя ($C_{др}$)

1 – древесный наполнитель фракции 0,1-1,25 мм;

2 – древесный наполнитель фракции 2-5 мм.

Для оценки стоимости изделий древесно-полимерного композита были выполнены экономические расчеты, результаты которых приведены на рисунке 4.5.

Стоимость композитов рассчитывается по формулам 4.1 и 4.2

$$E = P_{\text{впвд}} Q_{\text{впвд}} + P_{\text{др}} Q_{\text{др}} \quad (4.1)$$

где E – стоимость изделия, руб.;

P – стоимость сырья за 1 кг, руб.;

Q – количественное содержание сырья в изделии, г.

$$Q = mC/100 \quad (4.2)$$

где m – масса изделия, г;

C – концентрация сырья в изделии, %.

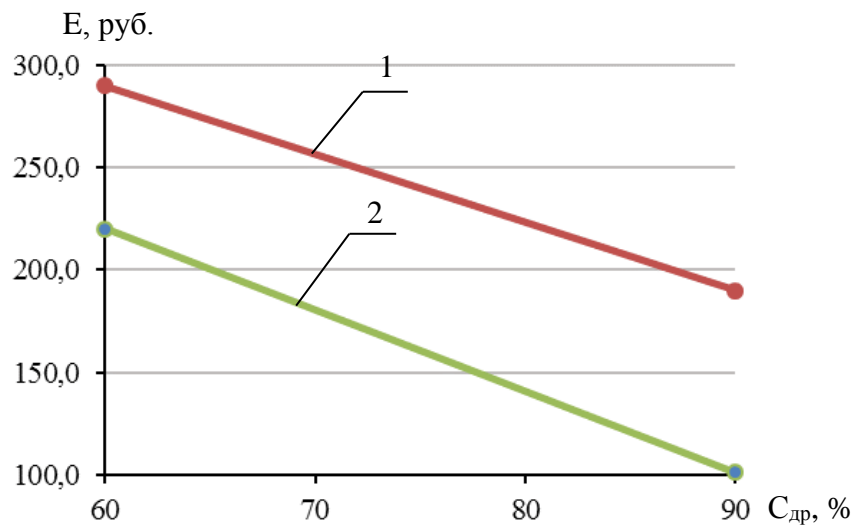


Рисунок 4.5 – Зависимость стоимости древесно-полимерного композита (E) от концентрации древесного наполнителя ($C_{\text{др}}$) с использованием вторичного полиэтилена высокого давления

1 – древесный наполнитель фракции 0,1-1,25 мм;

2 – древесный наполнитель фракции 2-5 мм.

Анализ данных (рисунок 4.5) показывает, что композит с использованием древесного наполнителя фракции 2-5 мм на 25% дешевле, чем композит с

использованием древесного наполнителя фракции 0,1-1,25 мм. Для производства композитов на их основе требуются меньшие финансовые вложения, от которых напрямую зависит конечная себестоимость изделий. Вторичный полиэтилен высокого давления является недорогим связующим полимером, что также дает возможность изготовить изделия с низкой конечной стоимостью.

4.1.2 Определение оптимального фракционного состава мелкодисперсного древесного наполнителя

Древесные наполнители, образующие при переработки отходов древесины имеют различный фракционный состав. Частицы древесного наполнителя отличаются размерами, формой, удельной поверхностью, фракционным составом. Эти параметры в значительной степени влияют на свойства древесно-полимерного композита, поэтому, к ним предъявляются определенные требования по этим показателям.

Весьма важным является дисперсионный анализ наполнителя, потому что использование древесного наполнителя с заданными размерами частиц и распределением их по размерам, можно использовать для расчета состава композиционного материала и обеспечить оптимальные технологические и эксплуатационные свойства древесно-полимерного композита.

На основании анализа литературных данных [7, 121] в качестве основных, выбраны следующие параметры древесных частиц: удельная поверхность $S_{уд}$, характеризующая степень измельчения древесины; приведенная длина, ширина и толщина $L_{пр}$, $b_{пр}$, $h_{пр}$. Дисперсионный анализ выполнен методом ситового анализа.

Использован стандартный набор сит с размерами ячеек № 0,33, 0,63, 1,25, 2,5, 5 мм. Масса древесного наполнителя составляла 1000 г. При определении оптимального фракционного состава мелкодисперсного древесного наполнителя выполнен дисперсионный анализ (таблица 4.1).

Геометрические размеры частиц древесного наполнителя различных фракций определяли микроскопическим методом [124]. Приведённые параметры частиц $L_{пр}$, $b_{пр}$, $h_{пр}$ определяются по формуле (4.3)

$$\left. \begin{aligned} L_{пр} &= \frac{\sum m_i}{\alpha \cdot (\sum b_i \cdot h_i)} \\ b_{пр} &= \frac{\sum m_i}{L_i \cdot (\sum \alpha \cdot h_i)} \\ h_{пр} &= \frac{\sum m_i}{L_i \cdot (\sum \alpha \cdot b_{пр})} \end{aligned} \right\} (4.3)$$

где $L_{пр}$, $b_{пр}$, $h_{пр}$ – приведенная длина, ширина, толщина частиц, мм;

L_i , b_i , h_i – длина, ширина, толщина i -й частицы, мм;

α – плотность древесины, г/см³;

m_i – масса i -й частицы, мм;

n – число частиц.

Таблица 4.1

Массовое распределение древесного наполнителя по фракционному составу

Фракция наполнителя, L, мм	0,33	0,63	1,25	2,5	5
Масса фракции, прошедшей через сито, P, г	115	179	499	322	24
Удельное содержание фракции, m, %	11,5	17,9	49,9	32,2	2,4
Насыпная плотность фракции, ρ , г/см ³	0,271	0,263	0,258	0,247	0,235

Расчетные значения удельной поверхности частиц древесного наполнителя, с учетом кривой распределения определяются по формуле (4.4) [123]

$$S_{уд} = \frac{K}{\alpha} \cdot \left(\sum \frac{dW}{L_{пр}} \right) \quad (4.4)$$

где α – плотность материала, г/см³;

K – коэффициент пропорциональности, учитывающий форму частиц. Для кубических частиц $K = 6$, для частиц параллелепипедной формы $K = 4$;

dW – доля частиц данной фракции;

$L_{\text{пр}}$ – среднее значение размера частиц, соответствующей фракции, мм.

Выполненные измерения геометрических параметров частиц и их удельной поверхности показывают, что все три параметра L , b , h частиц существенно отличаются между собой и частицы с такими размерами напоминают мелкие пластинки. Для таких пластинчатых частиц коэффициент пропорциональности $K = 2$, а удельная поверхность частиц определяется по формуле (4.5)

$$S_{\text{уд}} = \frac{2}{\alpha} \cdot \left(\sum \frac{dW}{L_{\text{пр}}} \right) \quad (4.5)$$

где 2 – коэффициент пропорциональности, учитывающий форму пластинчатых частиц;

α – плотность материала, г/см³;

dW – доля частиц данной фракции;

$L_{\text{пр}}$ – среднее значение размера частиц, соответствующей фракции, мм.

Полученные значения геометрических параметров частиц древесного наполнителя по формулам 4.3 и 4.5 и их удельной поверхности приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

**Основные геометрические параметры мелкодисперсного
древесного наполнителя**

Фракция наполнителя, L , мм	Среднестатистический размер частиц, мм			Удельная поверхность, $S_{\text{уд}}$, м ² /Г
	$L_{\text{пр}}$	$b_{\text{пр}}$	$h_{\text{пр}}$	
1	2	3	4	5
0,33	0,25	0,06	0,26	0,55
0,63	0,56	0,20	0,23	0,28

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5
1,25	1,16	0,50	0,23	0,91
2,5	2,1	0,79	0,22	0,83
5	4,1	2,47	0,19	0,011

По результатам ситового анализа построена дифференциальная кривая распределения древесной фракции по массе (рисунок 4.6). Она характеризует долю данной фракции размером, L и выражается для массового распределения частиц функцией, $m = f(L)$ [124].

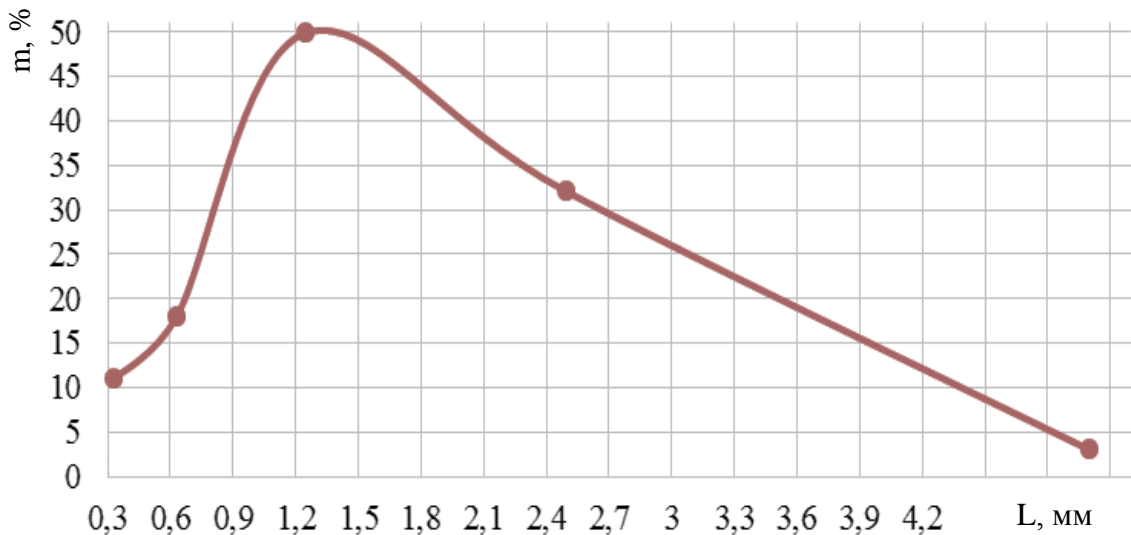


Рисунок 4.6 – Массовое распределение древесного наполнителя по фракционному составу (m) от линейных размеров (L)

Распределение используемого наполнителя по массе и размерам свидетельствует, что наибольшую массу, прошедшую через сито, имеют фракции 0,1-1,25 мм - 49,9%.

Насыпная плотность всех фракций примерно одинаковая и в среднем равна $0,26 \text{ г/см}^3$ до фракции 1,25 мм включительно. Для фракции 2,5 и 5 мм насыпная плотность снижается, так как частицы фракции агрегируют и занимают больший объем, а также характеризуются более высоким значением пустотности.

Таким образом, за оптимальный размер древесного наполнителя принята фракция частиц, прошедших через ячейки сита, не более 1,25 мм.

4.1.3 Определение оптимального фракционного состава вторичного полиэтилена высокого давления

В диссертационной работе использован вторичный полиэтилен высокого давления в виде порошка, однако данные по гранулометрическому составу полимерных компонентов не обосновываются или полностью отсутствуют. Знание гранулометрического состава вторичного полиэтилена высокого давления необходимо для качественного и количественного определения параметров наполнения древесно-полимерных систем, которое также влияет на свойства и технологические параметры изготавливаемых изделий, как и древесный наполнитель.

Для оценки параметров вяжущего вещества в качестве основных характеристик были приняты: удельная поверхность $S_{уд}$, приведенная длина, ширина и толщина, $L_{пр}$, $b_{пр}$, $h_{пр}$.

Дисперсионный анализ выполнен ситовым анализом. Масса полимерного компонента, отобранная для ситового анализа, составляла 1000 г. Использован стандартный набор сит с размерами ячеек № 0,33, 0,63, 1,25, 2,5, 5 мм. Результаты фракционного состава исследуемого вторичного полиэтилена высокого давления приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Массовое распределение вторичного полиэтилена высокого давления по фракционному составу

Размер ячейки сита, мм	0,33	0,63	1,25	2,5	5
1	2	3	4	5	6
Масса фракции, прошедшей через сито, Р, г	218,6	335,4	185,7	162,3	89,2

Продолжение таблицы 4.3

Удельное содержание фракции, т, %	21,86	33,54	18,57	16,23	8,92
-----------------------------------	-------	-------	-------	-------	------

Определение геометрических размеров вторичного полиэтилена высокого давления различных фракций выполнено микроскопическим методом на цифровом микроскопе Bresser biolux LCD 50x-2000x. Приведенные геометрические параметры частиц, $L_{пр}$, $b_{пр}$, $h_{пр}$ определены по формулам 4.3 и 4.5 (таблица 4.4).

Таблица 4.4

**Основные геометрические параметры вторичного полиэтилена
высокого давления**

Фракция полимерного компонента, L, мм	Среднестатистический размер частиц, мм			Удельная поверхность, $S_{уд}$, м ² /г
	$L_{пр}$	$b_{пр}$	$h_{пр}$	
0,33	0,25	0,16	0,03	0,945
0,63	0,39	0,20	0,05	0,895
1,25	0,8	0,50	0,07	0,819
2,5	1,73	0,79	0,08	0,867
5	4,1	2,47	0,15	0,319

По результатам ситового анализа построена кривая распределения вторичного полиэтилена высокого давления по массе (рисунок 4.7).

Таким образом, распределение используемого полимерного компонента по массе и размерам показало, что наибольшая масса, прошедшая через сито, характерна для фракции 0,33-0,63 мм – 33,54%. За оптимальный фракционный состав частиц вторичного полиэтилена высокого давления по массе принято фракцию частиц, не более 0,63 мм.

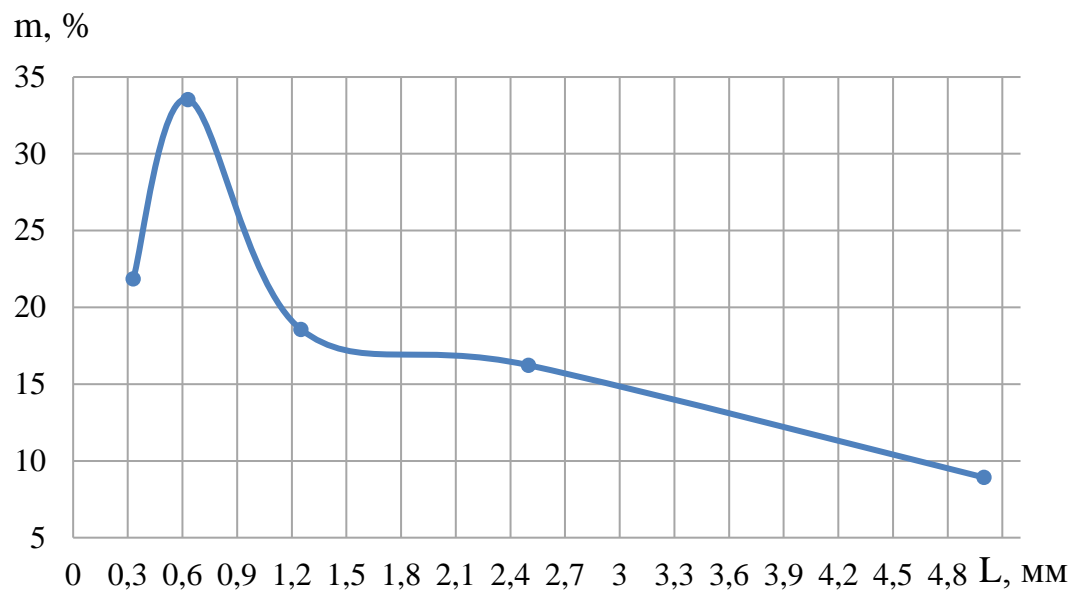


Рисунок 4.7 – Зависимость массы вяжущего вещества (m) от линейных размеров частиц вторичного полиэтилена (L)

Полученные результаты дисперсионного анализа используемого вторичного полиэтилена высокого давления дают возможность регулировать процесс производства термопластичного древесно-полимерного композита с комплексом заданных свойств.

4.1.4 Спектроскопические исследования вторичного полиэтилена высокого давления и древесного наполнителя

Спектроскопические исследования вторичного полиэтилена высокого давления и древесного наполнителя выполнены на приборе ИК-Фурье спектрометр IROS P01. Спектроскопические исследования вторичного полиэтилена высокого давления показали, что в полимере содержатся реакционноспособные группы. Во вторичном ПЭВД характерно наличие ненасыщенных связей винильного типа, карбоксильные группы, простые эфирные группы, сложноэфирные группы.

Спектроскопическими исследованиями вторичного полиэтилена высокого давления установлено, что во вторичном ПЭВД характерно наличие ненасыщен-

ных связей винильного типа, карбоксильные группы, простые эфирные группы, сложноэфирные группы.

Древесный наполнитель также содержит полярные активные группы.

В частности, полоса 1500 см^{-1} характеризует колебания бензольных колец лигнина. Рост относительной интенсивности полосы кетонов (1720 см^{-1}) свидетельствует о трансформации и образовании альдегидов. Содержание этих групп уменьшается в результате взаимодействия с функциональными группами целлюлозы. Полоса 1740 см^{-1} - карбонильное поглощение. Между реакционноспособными группами, например карбоксильными, содержащимися в полимере-матрице, с гидроксильными группами целлюлозы возможны реакции химического взаимодействия с образованием сложноэфирной связи.

Возможно и физическое взаимодействие за счет образования водородных связей между полярными эфирными группами полимерной матрицы и полярными группами древесины. На рисунке 4.8 показано образование переходной области вокруг частицы древесного наполнителя, которая имеет более темную окраску, что может свидетельствовать о химическом взаимодействии, диффузии низкомолекулярных продуктов и происходящих химических реакциях в полимер-матрицу.

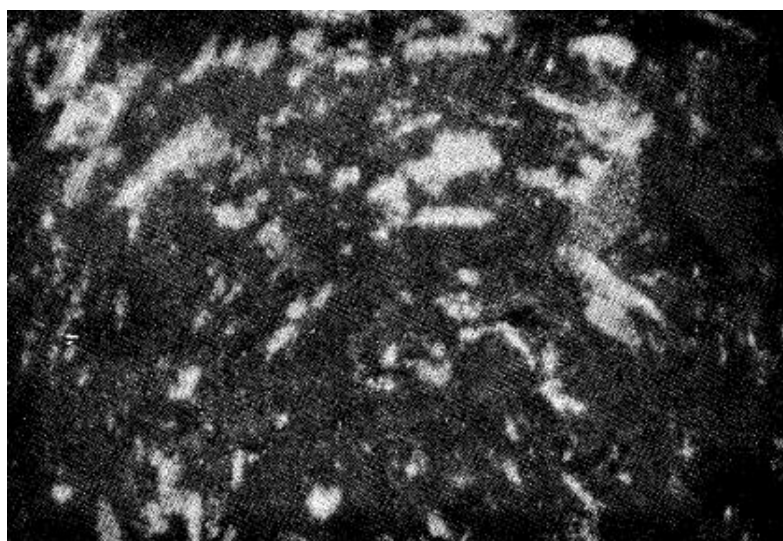


Рисунок 4.8 – Древесно-полимерный композит на основе вторичного полиэтилена высокого давления при пластическом деформировании расплава

Наличие реакционноспособных групп в компонентах древесно-полимерного композита предполагает возможность образования химических и водородных связей.

Характерно, что структурообразование древесно-полимерных материалов определяется процессами взаимодействия на поверхности раздела фаз, значительное влияние на которые оказывает характер распределения частиц наполнителя, а наличие реакционноспособных групп полимера приводит к химическому взаимодействию его с функционально-активными группами древесины.

4.1.5 Реологические свойства древесно-полимерного композита

Важными параметрами структуры, определяющими реологические свойства расплавов полимеров, являются молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение и ветвление. Рост молекулярной массы приводит к повышению вязкости, изменению молекулярно-массового распределения и ветвлению, что влияет на упругость расплава. На зависимость от времени влияют оба фактора. Реологические исследования выполнены с помощью ротационного реометра RS-CPS Plus с рабочим узлом конус-плоскость. Композиция содержит компоненты: вторичный полиэтилен высокого давления 26-28% мас. фракции 0,33-0,63 мм, 69-71% мас. фракции древесного наполнителя размером 0,1-1,25 мм, модифицирующие добавки: (воск – 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 – 0,3% мас., антипирен российской фирмы «ЭкоПирен» – 0,2% мас.)

Скорость сдвига определяли по формуле (4.6)

$$\dot{\gamma} = \frac{6.28f}{\operatorname{tg}\alpha} \quad (4.6)$$

где f – частота вращения конуса, цикл/с;

α – угол конуса, град.

Напряжения сдвига определяли по формуле (4.7)

$$\tau = \frac{3M}{2\pi R^3} \quad (4.7)$$

где M – момент вращения конуса, Н·мм;

R – радиус конуса, мм.

Нормальные напряжения определяли по формуле (4.8)

$$\sigma = \frac{2F}{\pi R^2} \quad (4.8)$$

где F – нормальная сила, кгс/мм²;

R – радиус конуса, мм.

Кривая сдвиговых напряжений древесно-полимерного композита приведена на рисунке 4.9.

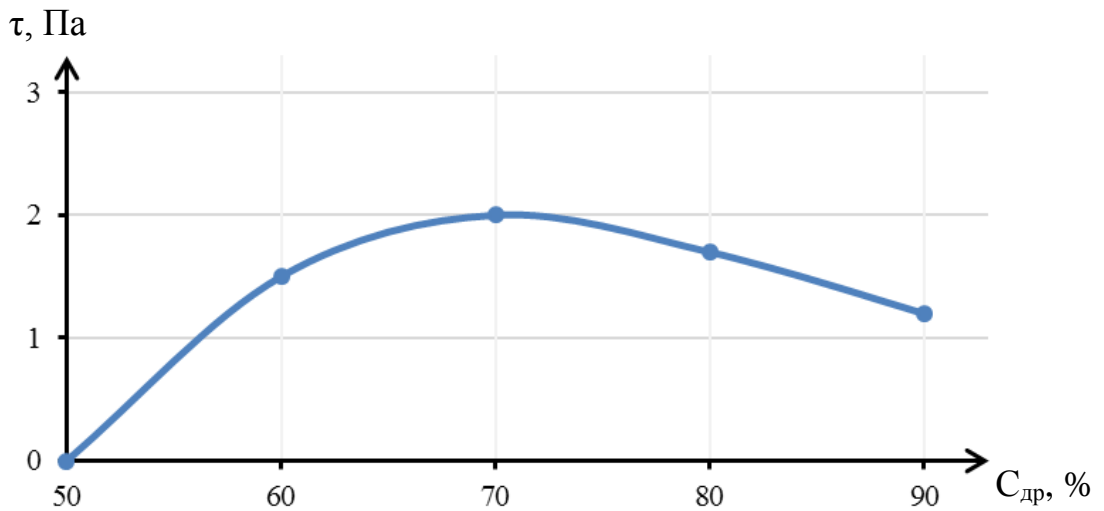


Рисунок 4.9 – Зависимость напряжения сдвига древесно-полимерного композита (τ) от концентрации древесного наполнителя ($C_{др}$)

В области низких скоростей сдвига (область 50-60%) характер кривой при пластическом деформировании композиции с большим содержанием

наполнителя резко меняется – крутизна кривой пластического деформирования растет. Причиной появления участка с большой крутизной, является резкий рост вязкости в узком диапазоне напряжения сдвига при уменьшении пластического деформирования вследствие образования структурной полимерной матрицы из частиц наполнителя. Вид кривой пластического деформирования характерен для структурной полимерной матрицы со слабым взаимодействием частиц между собой, когда прочность структурных связей распределена в некотором диапазоне значений.

Образование структурной полимерной матрицы наполнителя возможно при малой толщине прослоек полимера между частицами наполнителя.

Если за меру скорости сдвига принять значение нормального напряжения (σ) при $\dot{\gamma} = \text{const}$ то зависимость напряжения от концентрации наполнителя будет иметь вид (рисунок 4.10).

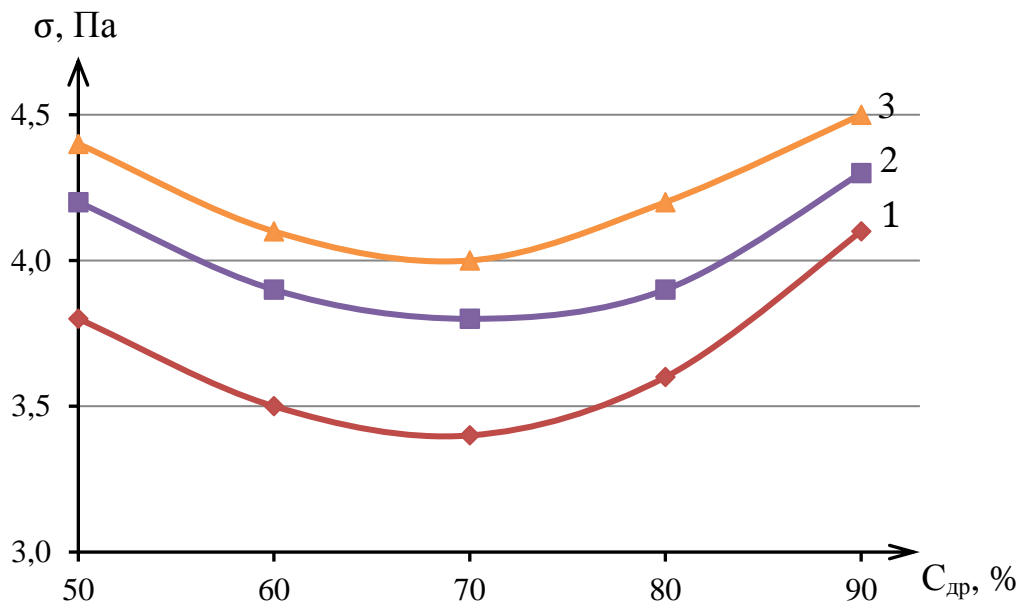


Рисунок 4.10 – Зависимость нормального напряжения древесно-полимерного композита (σ) от концентрации древесного наполнителя ($C_{др}$) при постоянной скорости сдвига

1 – $0,3 \text{ с}^{-1}$;

2 – $1,0 \text{ с}^{-1}$;

3 – $3,0 \text{ с}^{-1}$.

В древесно-полимерном композите, при массовой концентрации древесного наполнителя менее 69-71% мас., скорость сдвига снижается вследствие ограничения конформационного набора макромолекул расплава вторичного полиэтилена высокого давления из-за их взаимодействия с поверхностью наполнителя. При дальнейшем увеличении концентрации древесного наполнителя начинает преобладать его вклад в упругую энергию, запасаемую расплавом в процессе пластической деформации.

Характерно, что вязкость расплава вторичного полиэтилена высокого давления увеличивается при введении его в пресс-массу. По мере увеличения концентрации наполнителя в системе не только растет вязкость, но и их упругие характеристики. Характерно, что оптимальной концентрацией древесного наполнителя является значение, соответствующее 69-71 % мас., при превышении которого упругие свойства расплава полимера возрастают настолько, что это сопровождается значительным снижением перерабатываемости композиции и деформационно-прочностных показателей их.

4.2 Влияние фракционного состава на физико-механические свойства композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

Древесные частицы при любой степени измельчения, в основном, сохраняют волокнистую структуру и анизотропию свойств цельной древесины, и представляют собой органический наполнитель сложного химического и морфологического строения с хорошо развитой капиллярной системой (рисунок 4.11).

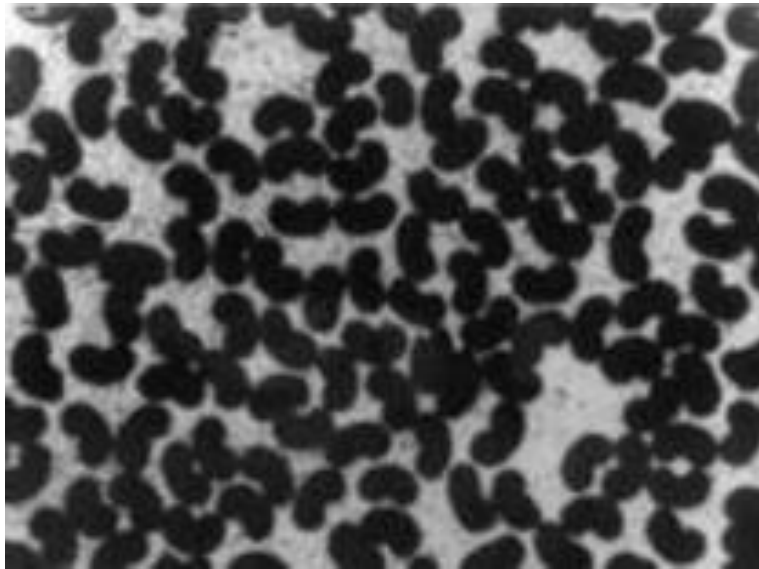


Рисунок 4.11 – Структура частиц древесного наполнителя

Свойства полимерных композиций во многом определяются условиями формирования контакта полимер-древесина, который в свою очередь, зависит от химической природы полимера, наличия в нем полярных групп, возможности возникновения специфических взаимодействий на границе раздела фаз.

Для определения влияния состава древесно-полимерного композита на его физико-механические свойства выполнены исследования свойств композиций на основе полимерной матрицы. Определена зависимость свойств древесно-полимерного композита от фракционного состава связующего вещества. Характерно, что с увеличением дисперсности полимеров, возрастает и плотность материала (рисунок 4.12).

Во время исследований выявлены физико-механические свойства древесно-полимерного композита с использованием вторичного полиэтилена высокого давления в зависимости от его плотности и характеристик композиций. Анализ свойств древесно-полимерного композита показывает, что определяющее влияние на его характеристики оказывает отношение полимерного и древесного компонента.

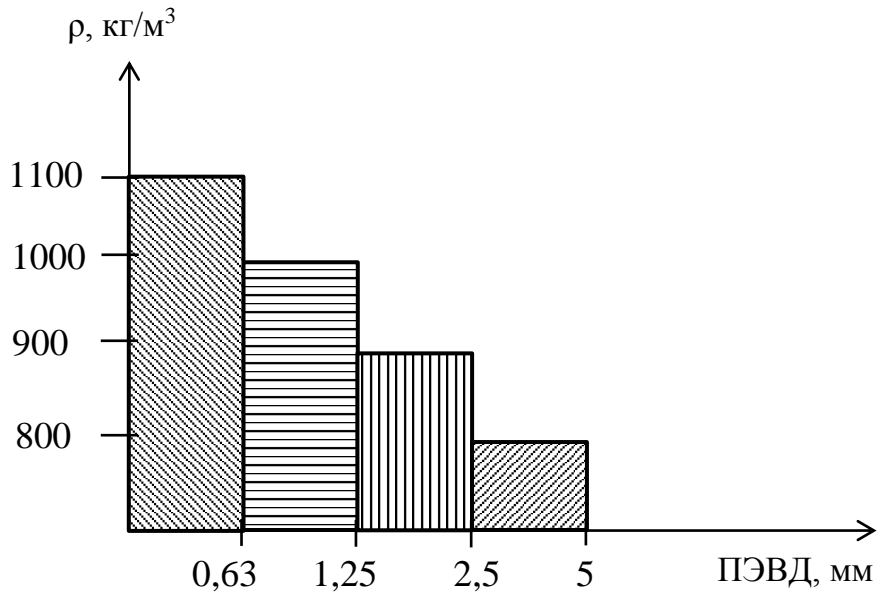


Рисунок 4.12 – Зависимость плотности древесно-полимерного композита (ρ) от фракционного состава связующего вещества

Анализ данных (рисунок 4.12) показывает, что с ростом дисперсности полимеров, возрастает и плотность материала, которая носит линейный характер.

С увеличением плотности от 800 до 1100 кг/м³ прочность материала с частицами фракции 0,63-1,25 мм возрастает в 1,5 раза для вторичного полиэтилена высокого давления (рисунок 4.13), при этом наблюдается линейная зависимость между пределом прочности при изгибе ($R_{изг}$) и плотностью (ρ).

Таким образом, зависимость, приведенная на рисунке 4.13 показывает, что максимум предела прочности при изгибе ($R_{изг}$) для древесно-полимерного композита с использованием фракции менее 0,63 мм находится в области низких концентраций 27-29% мас.

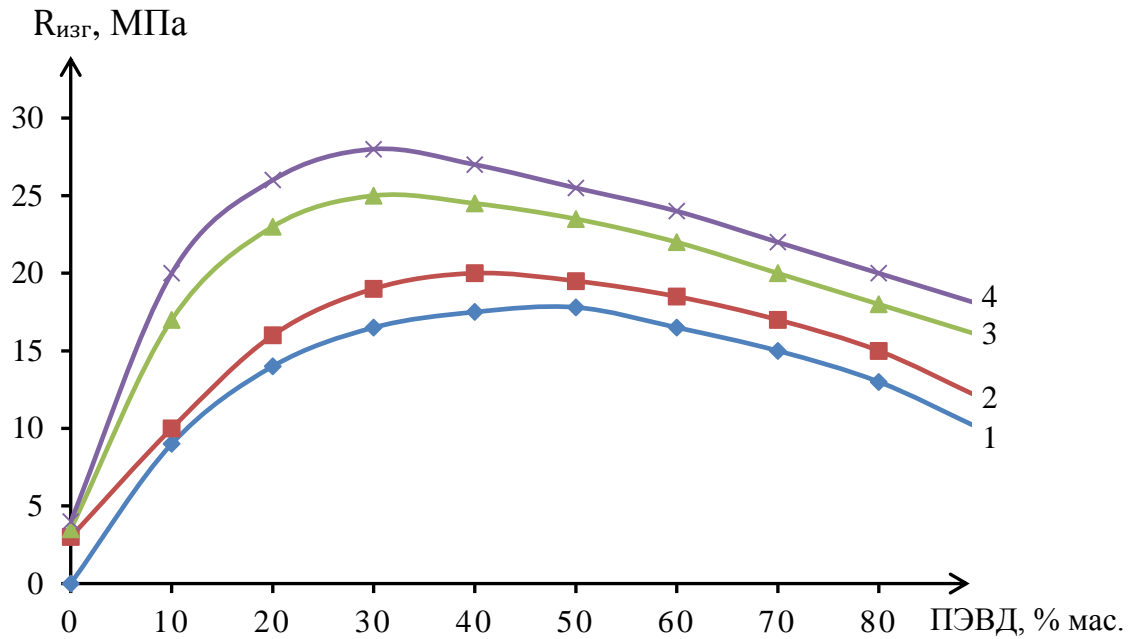


Рисунок 4.13 – Зависимость предела прочности при статическом изгибе термопластичного древесно-полимерного композита ($R_{изг}$) от концентрации вторичного полиэтилена высокого давления в композиции (ПЭВД)

- 1 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №5;
- 2 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №2,5;
- 3 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №1,25;
- 4 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №0,63.

При увеличении размера фракции полимерных компонентов максимум $R_{изг}$ для древесно-полимерного композита смещается в сторону более высоких концентраций содержания полимерных компонентов в древесно-полимерном композите. Для фракции 0,63-1,25 мм максимум $R_{изг}$ находится при 30-32% мас. содержания вторичного полиэтилена высокого давления, а для фракции 2,5-5 мм – 45-55% мас. его содержания.

При увеличении плотности до 1100 кг/м^3 водопоглощение и набухание материала уменьшается в 1,7 раза в зависимости от концентрации вторичного полиэтилена высокого давления в композиции (рисунок 4.14, 4.15). Снижение концентрации частиц древесины в композиции от 85 до 20% приводит к

монотонному снижению водопоглощения и набухания материала, что является следствием увеличения на поверхности древесных частиц толщины слоя полимера, препятствующего проникновению воды внутрь древесного компонента, имеющего капиллярно-пористую структуру и высокую сорбционную способность.

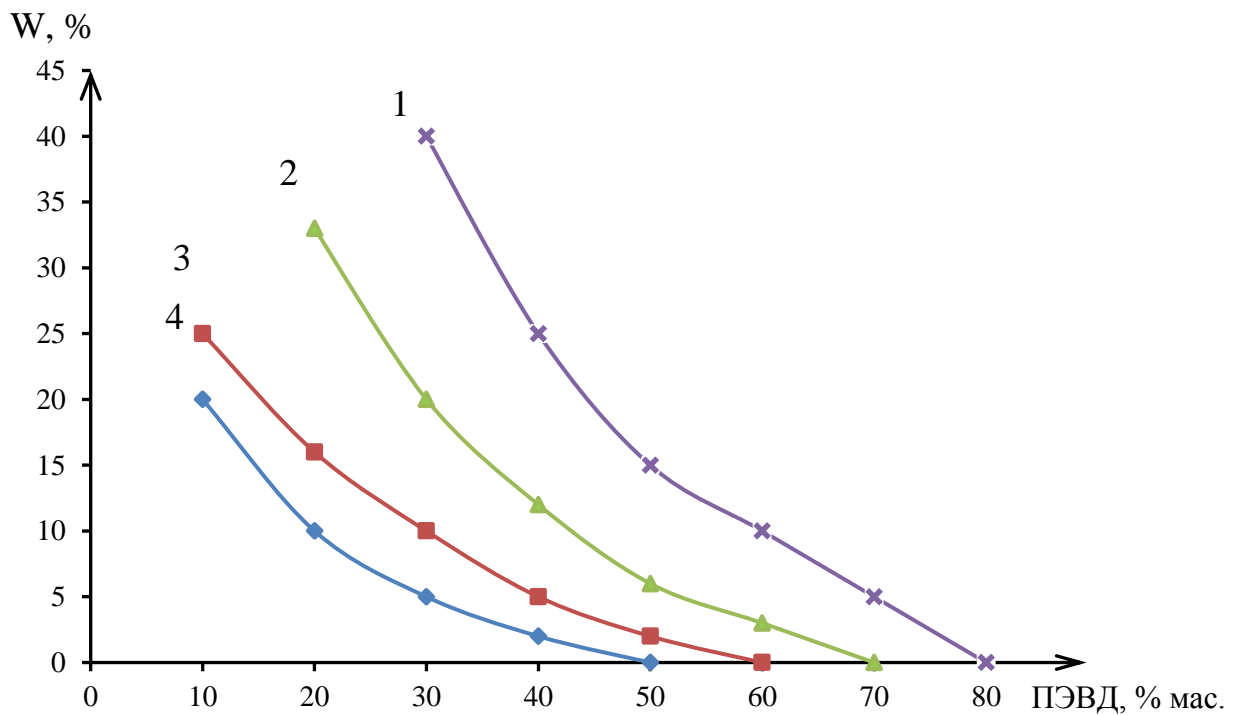


Рисунок 4.14 – Зависимость водопоглощения по массе (W) термопластичного древесно-полимерного композита от концентрации вторичного полиэтилена высокого давления в композиции (ПЭВД)

- 1 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №5;
- 2 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №2,5;
- 3 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №1,25;
- 4 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №0,63.

Зависимость предела прочности при изгибе ($R_{изг}$) и разрушающего напряжения (σ_p) от концентрации древесного наполнителя имеет экстремальный

характер и достигает максимума при плотности древесно-полимерного композита 1100 кг/м^3 и полимерного наполнителя 22-32% мас. (рисунок 4.13, 4.16).

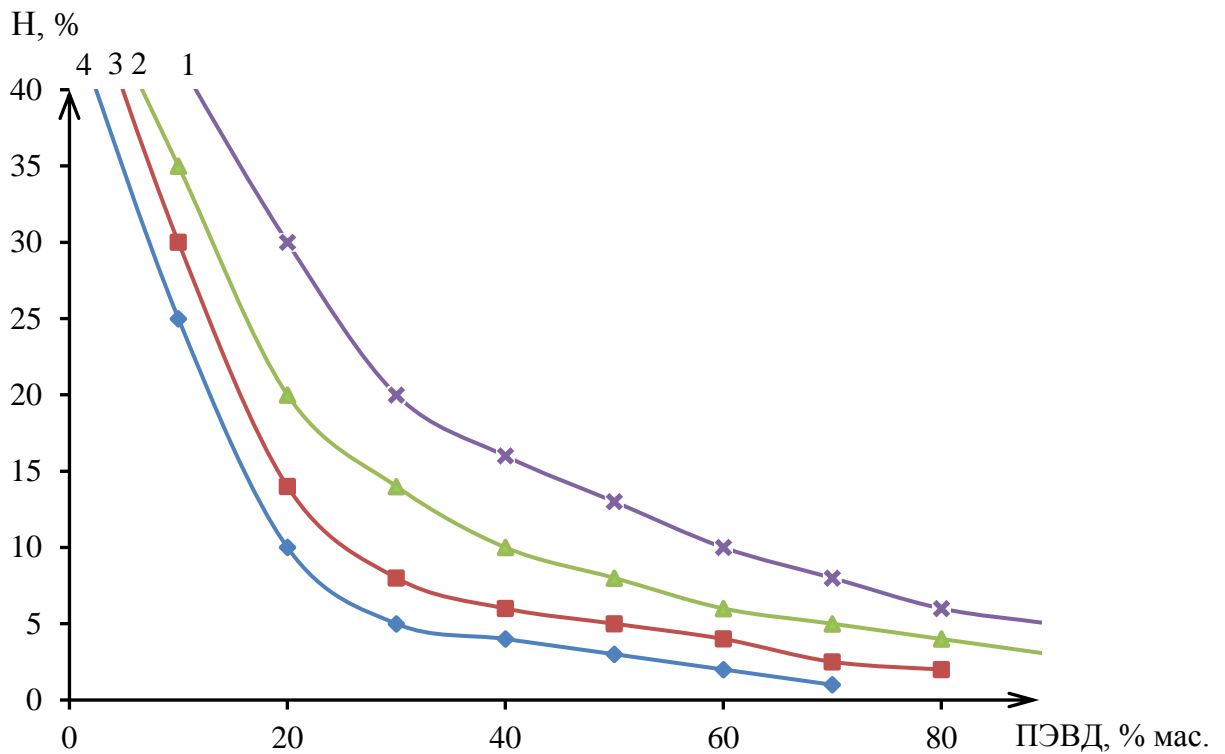


Рисунок 4.15 – Зависимость набухания (Н) термопластичного древесно-полимерного композита от концентрации вторичного полиэтилена высокого давления в композиции (ПЭВД)

- 1 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №5;
- 2 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №2,5;
- 3 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №1,25;
- 4 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №0,63.

Снижение предела прочности при изгибе, $R_{изг}$ от концентрации частиц наполнителя обусловлено тем, что снижается толщина прослоек полимера между частицами древесины, становится не сплошной, снижается проявление армирующего эффекта каркаса, образованного анзодиаметричными частицами древесного наполнителя при их плотном контакте, а рост концентрации

наполнителя приводит к нарушению сплошности прослоек полимера между древесными частицами.. Вероятно, в структуре древесно-полимерного композита появляются дефекты в виде раковин, несмоченных участков в агрегатах из частиц, что и ведет к снижению прочности материала.

Уменьшение массовой концентрации наполнителя снижает разрушающее напряжение (σ_p) ДПК из-за увеличения толщины слоев полимера между частицами вследствие постепенного снижения прочности древесного каркаса в полимерной матрице и естественного снижения его армирующего действия.

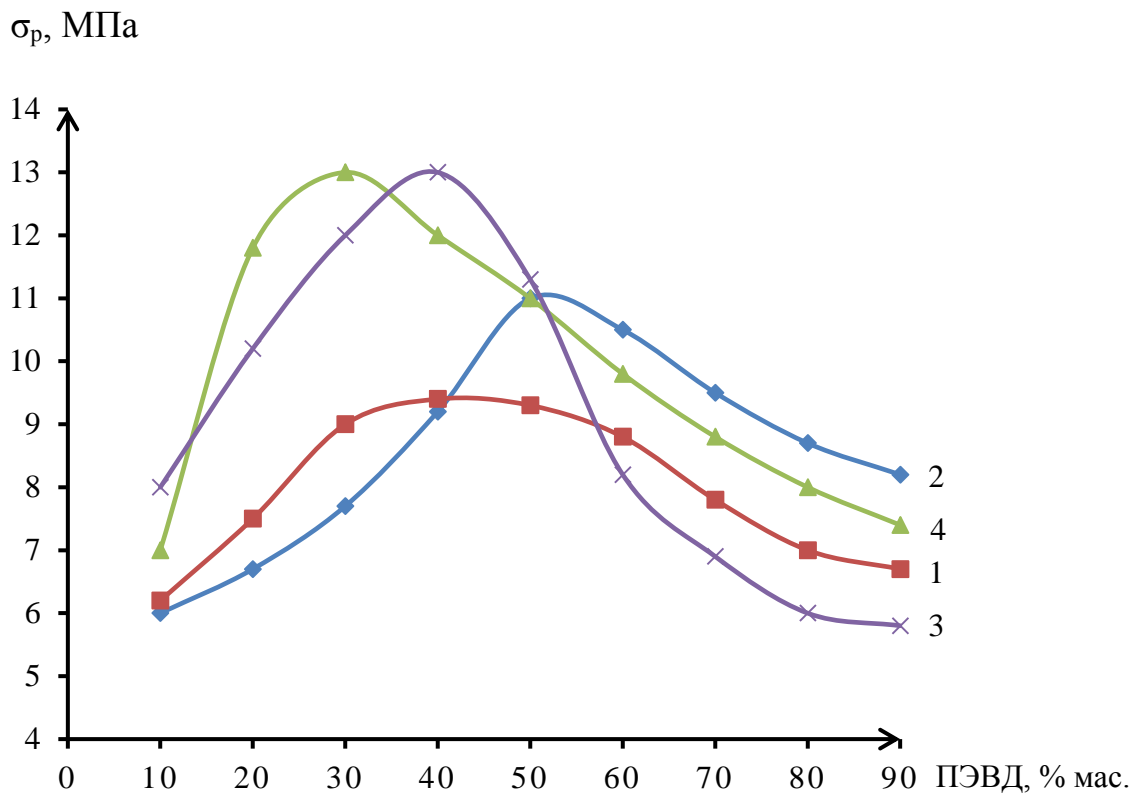


Рисунок 4.16 – Зависимость разрушающего напряжения при разрыве древесно-полимерного композита (σ_p) от концентрации вторичного полиэтилена высокого давления в композиции (ПЭВД)

- 1 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №5;
- 2 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №2,5;
- 3 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №1,25;
- 4 – фракция полимера, прошедшая через ячейки сита №0,63.

Смещение максимумов прочности древесно-полимерного композита в область низких концентраций содержания полимерных компонентов, для мелких гранулометрических фракций и наоборот - в область высоких концентраций, для более крупных гранулометрических фракций, можно объяснить структурными особенностями древесно-полимерного композита.

Выполненные исследования зависимости физико-механических свойств древесно-полимерного композита от состава и размера фракции полимерных компонентов показывают, что изменение прочностных показателей от размера частиц фракции носит экстремальный характер, при этом положение максимума зависит от размера фракции и его концентрации.

Характерно, что максимум предела прочности при изгибе ($R_{изг}$) и разрушающего напряжения (σ_p) достигается при 22-32% мас. концентрации полимерного вяжущего в композиции. Показатели водостойкости этого состава высокие. За оптимальную массовую концентрацию следует принять древесного наполнителя 69-71% мас. и вяжущего вещества 26-28% мас. в древесно-полимерном композите, при плотности материала не менее 1000 кг/м³. Композиты при данной концентрации наполнителя обладают высокими показателями устойчивости к истиранию. При увеличении концентрации древесного наполнителя более 80% мас. резко снижается истираемость, а снижение массовой концентрации менее 70% мас. приводит к незначительному улучшению стойкости к истиранию.

4.3 Эксплуатационные свойства термопластичного древесно-полимерного композита

Для оценки и изучения эксплуатационных характеристик древесно-полимерного композита выполнены экспериментальные исследования.

4.3.1 Стойкость древесно-полимерного композита к ударному воздействию

Определена стойкость древесно-полимерного композита к ударному воздействию, в зависимости от фракции древесного наполнителя (таблица 4.5).

Таблица 4.5

Показатели ударной прочности древесно-полимерного композита

Фракция древесного наполнителя, мм	Тип полимера	Концентрация наполнителя, %	Высота падения стального шарика, мм	Степень разрушения, балл
1	2	3	4	5
0,33 - 1,25	Вторичный полиэтилен высокого давления	60	1500	1
		70	1500	1
		80	1250	2
2,5 - 5	Вторичный полиэтилен высокого давления	60	1500	2
		70	1500	2
		80	1250	3

Показатель ударной прочности образца снижается при массовой концентрации древесного наполнителя менее 70% мас. Наиболее высокие показатели достигаются при формировании древесно-полимерного композита с использованием древесного наполнителя фракции 0,1-1,25 мм с массовой концентрацией 69-71% мас. Согласно полученным экспериментальным данным, разработанный древесно-полимерный композит обладает высокими механическими свойствами.

4.3.2 Термические и теплофизические свойства древесно-полимерного композита

Огнестойкость имеет большое значение для строительных и отделочных материалов внутреннего и наружного применения. В связи с этим выполнены исследования по изучению огнестойкости древесно-полимерного композита, позволяющие выявить группу горючести и поведение материала в условиях горения. Оптимальная концентрация компонентов поверхностного слоя образцов выглядит следующим образом: 69-71% мас. древесной муки, 26-28% мас. полиэтилена высокого давления низкой плотности и 3% мас. модифицирующих добавок (воск - 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 - 0,3% мас., российской фирмы «ЭкоПирен» - 0,2% мас.). Зависимость, полученная при обработке результатов экспериментальных данных, приведена на рисунке 4.17.

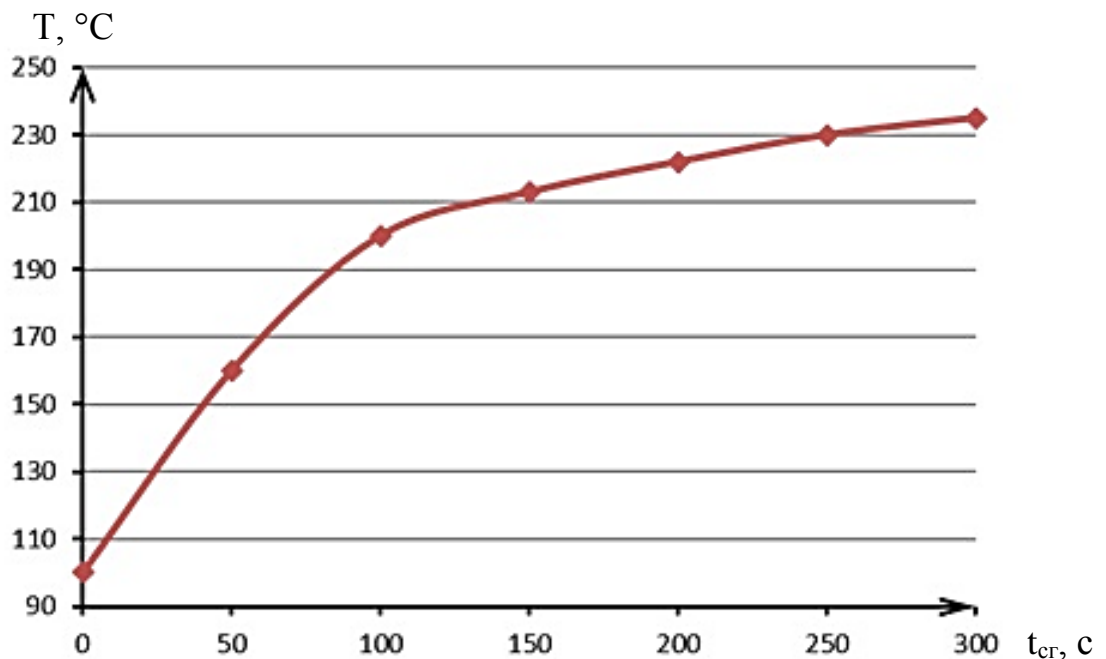


Рисунок 4.17 – Зависимость температуры выделяемого дыма, (T) от времени горения древесно-полимерного композита ($t_{гр}$) на основе вторичного полиэтилена высокого давления

В ходе экспериментальных испытаний установлена группа горючести испытуемого материала Г 2 (таблица 4.6), которая определена по ГОСТ 30244-94 (дата актуализации 06.04.2015) [125]. Древесно-полимерный композит является средней воспламеняемости.

Во время испытаний характерно, что опытный образец с использованием вторичного полиэтилена высокого давления средней быстроты достигал максимальной температуры, и при этом становился более гибким и не терял своей целостности. После снятия воздействия открытого пламени образец не горит и быстро прекращает тлеть.

Таблица 4.6

Показатель огнестойкости изделия

Связующее вещество	Группа горючести	Температура выделяемого дыма, T, °C	Степень повреждения по массе, П _м , %	Продолжительность самостоятельного горения, t _{сг} , с
Вторичный полиэтилен высокого давления	Г 2	220	49	205

Исследована зависимость коэффициента теплопроводности от концентрации древесных частиц (древесный наполнитель фракции частиц до 1,25 мм – 69-71% мас.) и типа связующего вещества (вторичный полиэтилен высокого давления фракции частиц 0,33-0,63 мм – 26-28% мас.) древесно-полимерного композита на рисунке 4.18.

Полученные данные показывают снижение теплопроводности материала с ростом концентрации древесного наполнителя. Характерно, что образцы с использованием вторичного полиэтилена высокого давления в качестве связующего вещества с концентрацией древесного наполнителя 69-71% мас.

имеют коэффициент теплопроводности $K_T = 0,177$ Вт/(м·град), что соответствует теплоизоляционным материалам по теплопроводности.

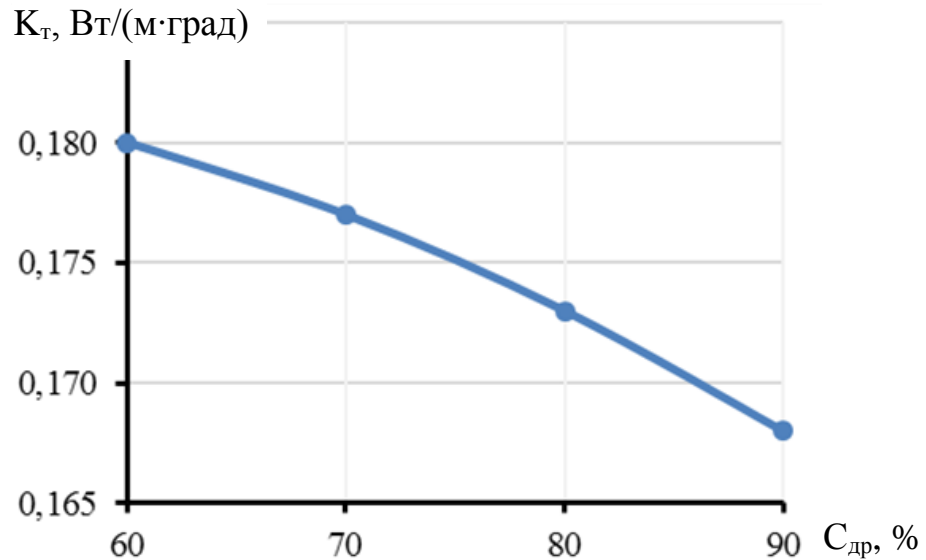


Рисунок 4.18 – Зависимость коэффициента теплопроводности (K_T) ДПК от концентрации древесного наполнителя на основе вторичного полиэтилена высокого давления ($C_{др}$)

4.3.3 Климатические исследования древесно-полимерного композита

Принимая во внимание, что изделия из термопластичного древесно-полимерного композита эксплуатируются в большей части вне помещений и учитывая климатические особенности региона эксплуатации, выполнены исследования, направленные на изучение стойкости к воздействию морозостойкости. Морозостойкость определяли по изменению твердости материала после определенного количества циклов замораживания-оттаивания. Образцы имели состав: древесный наполнитель фракции частиц до 1,25 мм – 69-71% мас., вторичный полиэтилен высокого давления фракции 0,33-0,63 мм – 26-28% мас. и модификаторы 3% мас. (воск – 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 – 0,3% мас., антипирен российской фирмы «ЭкоПирен» –

0,2% мас.). Древесно-полимерный композит характеризуется морозостойкостью $F=30$ (рисунок 4.19).

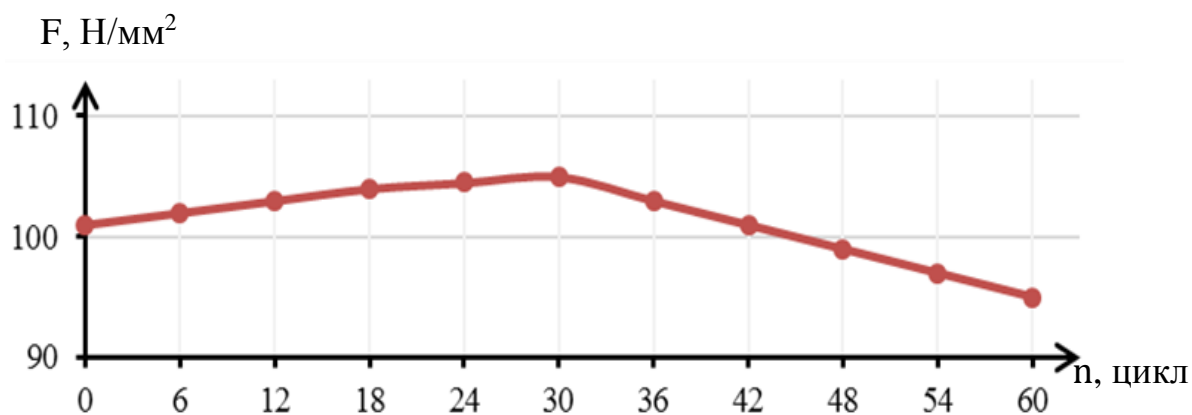


Рисунок 4.19 – Зависимость твердости композита на основе вторичного полиэтилена высокого давления, (F) от количества циклов замораживания-оттаивания, (n)

Связующим веществом при формировании структуры предлагаемых композитов является вторичный полиэтилен высокого давления, который неблагоприятно переносит воздействие солнечных лучей, поэтому изучена стойкость к свету испытуемых изделий. Исследование заключается в измерении прочностных показателей после выдержки опытных образцов под ультрафиолетовыми лучами (УФ) в течение 24 часов. На рисунке 4.20 приведена зависимость изменения показателя истираемости в результате выполнения испытания.

Данные по истираемости после выдержки опытных образцов под ультрафиолетовыми лучами (УФ) в течение 24 часов показывают высокую устойчивость древесно-полимерного композита к воздействию УФ лучей. У образцов с использованием вторичного полиэтилена высокого давления показатель истираемости остался неизменным. При производстве образцов в качестве наполнителя использовали древесный наполнитель фракции 0,1-1,25 мм.

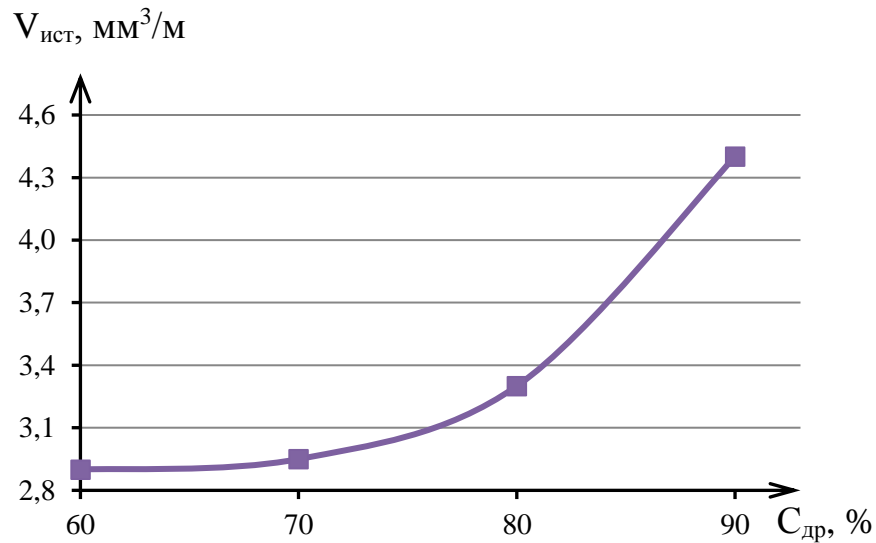


Рисунок 4.20 – Зависимость истираемости композита ($V_{ист}$) от воздействия УФ лучей на основе вторичного полиэтилена высокого давления ($C_{др}$)

При эксплуатации изделия из древесно-полимерного композита необходимо учитывать изменение линейных размеров изделий, обусловленных расширением полимерной матрицы при нагревании. Принимая во внимание этот факт, были выполнены исследования для установления изменения линейных размеров материала при нагревании до 60 °С в зависимости от вида и концентрации наполнителя в материале.

Как следует из данных рис. 4.21 образцы, изготовленные с использованием вторичного полиэтилена высокого давления в среднем на 32% подвержены изменению линейных размеров. Рост содержания полимерного связующего вне зависимости от типа, ведёт к увеличению изменения линейных размеров материала. Вид древесного наполнителя не имеет существенного влияния на изучаемый показатель.

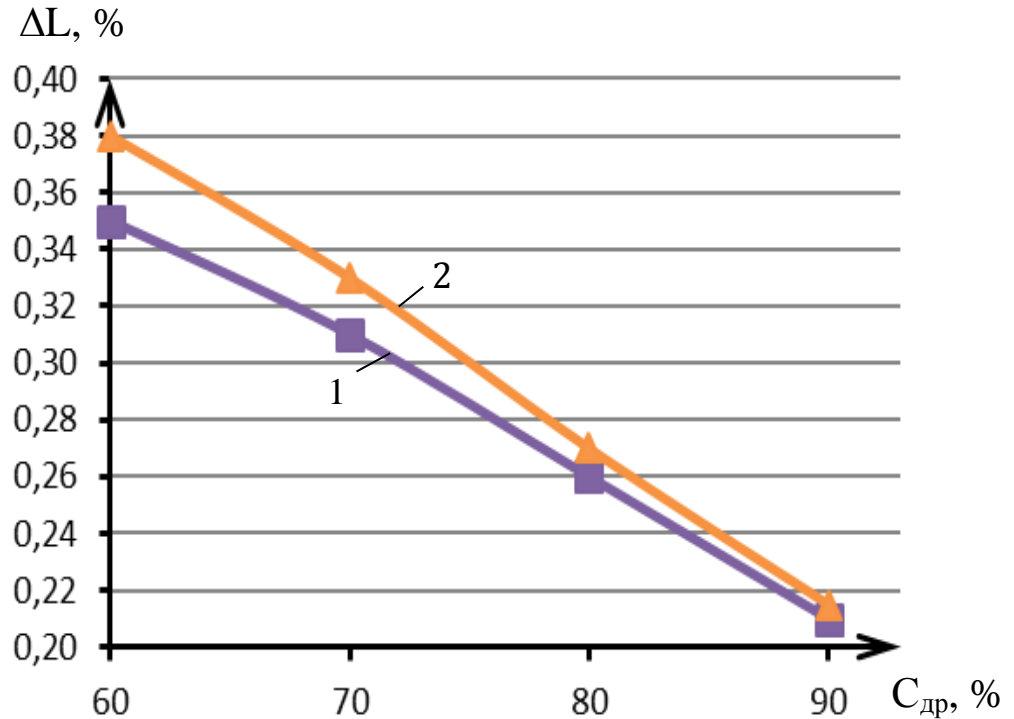


Рисунок 4.21 – Изменение линейных размеров изделия (ΔL) от концентрации наполнителя в поверхностном слое ($C_{др}$)

1 – с использованием вторичного полиэтилена высокого давления и древесного наполнителя фракции 0,1-1,25 мм;

2 – с использованием вторичного полиэтилена высокого давления и древесного наполнителя фракции 2,5-5 мм.

Таким образом, оптимальная концентрация вторичного полиэтилена высокого давления марки 15803-020 фракции частиц 0,33-0,63 мм составляет 26-28% мас., мелкодисперсных отходов переработки древесины фракции частиц до 1,25 мм – 69-71% мас., при объединении с модифицирующими добавками: воск – 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 – 0,3% мас., антипирен российской фирмы «ЭкоПирен» – 0,2% мас.

4.4 Выводы по разделу 4

4.1 Обоснован вид используемого древесного наполнителя. Выполнены исследования, определяющие зависимость физико-механических свойств изделия от вида и количественного содержания в нем древесных частиц.

4.2 Экспериментально установлены оптимальные концентрации компонентов в изделии, которое варьируется в следующем диапазоне: древесный наполнитель фракции частиц до 1,25 мм – 69-71% мас., вторичный полиэтилен высокого давления фракции частиц 0,33-0,63 мм – 26-28% мас., модифицирующие добавки 3% мас. (воск - 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 - 0,3% мас., антипирен фирмы «ЭкоПирен». - 0,2% мас.).

4.3 Исследована зависимость плотности древесно-полимерного композита (ρ) от фракционного состава связующего вещества. Характерно, что с ростом дисперсности полимеров, возрастает и плотность материала, которая носит линейный характер. С увеличением плотности до 1100 кг/м³ прочность материала в области мелкодисперсных составов возрастает в 1,5 раза для вторичного полиэтилена высокого давления.

4.4 Характерно, что при увеличении плотности до 1100 кг/м³ водопоглощение (W) и набухание (H) уменьшается в 1,8 раза в зависимости от состава композиции.

4.5 Исследована зависимость между напряжением при изгибе и разрушающего напряжения ($\sigma_{и}$ и $\sigma_{р}$) древесно-полимерного композита от концентрации древесного наполнителя. Характерно, что концентрация древесного наполнителя имеет экстремальный характер и достигает максимума при плотности древесно-полимерного композита 1100 кг/м³ и массовой доле полимерного наполнителя 22-32%.

4.6 Исследована усталостная долговечность древесно-полимерного композита в различных средах (водной среды, попеременного замораживания-оттаивания).

Характерно, что наиболее стойким к воздействию агрессивных сред является модифицированный древесно-полимерный композит с концентрацией древесного наполнителя фракции частиц до 1,25 мм – 69-71% мас., вторичного полиэтилена высокого давления фракции частиц 0,33-0,63 мм – 26-28% мас., содержащий модификаторы 3% (воск - 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 - 0,3% мас., антипирен российской фирмы «ЭкоПирен» - 0,2% мас.).

РАЗДЕЛ 5**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

5.1 Рекомендации по производству композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
И АРХИТЕКТУРЫ

СОГЛАСОВАНО:

Председатель правления
ПАО «Облдорремстрой»

С. В. Григалашвили

« » _____ 20__ г.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
ДОННАСА, д.т.н., профессор

В. Ф. Муцанов

« » _____ 20__ г.

РЕКОМЕНДАЦИИ

по производству композиционного строительного материала из вторичного
полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки
древесины

РАЗРАБОТАНО:

Научный руководитель:
д.т.н., профессор

В. И. Братчун

« » _____ 20__ г.

Аспирант кафедры «Автомобильные
дороги и аэродромы» ДОННАСА

В.В. Юрченко

« » _____ 20__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	100
5.1.1 Общие положения	102
5.1.2 Технология производства композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.....	103
5.1.3 Технические требования и область применения композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.....	106
5.1.4 Технический контроль.....	106
5.1.5 Требования по технике безопасности	107

ПРЕДИСЛОВИЕ

При переработке древесных материалов отходы составляют до 55% перерабатываемой древесины. Использование отходов древесины является важнейшим источником удовлетворения потребностей строительства в эффективных строительных материалах. Однако большая часть отходов сжигается или вывозится в отвалы. В связи с этим ведётся разработка новых строительных материалов с использованием отходов древесины, которые должны удовлетворять современным техническим, экономическим и экологическим требованиям. В последнее время натуральная древесина в строительных материалах все чаще заменяется композиционными материалами с использованием древесины, таких как: древесно-слоистый пластик, ориентированно-стружечная плита, древесно-волокнистая плита и плита из мелкодисперсной фракции древесины, в которых в качестве вяжущего используются экологически опасные феноло-, мочевино- и меламиноформальдегидные терморезактивные олигомеры.

Одним из эффективных способов повысить экологическую безопасность композиционных материалов с использованием отходов древесины является использование в качестве вяжущего вещества вторичного полиэтилена высокого давления и, таким образом, производить термопластичные древесно-полимерные композиционные материалы (ТДПК).

Проблема использования вторичного полиэтилена высокого давления имеет экономический и экологический аспект, так как связана с возрастающим разрывом между использованием и производством полимерных материалов, а также с защитой окружающей среды. С ростом бытовых отходов полимерных материалов перед перерабатывающей промышленностью стоит проблема утилизации смесей с целью получения отдельных полимеров для переработки их в изделия.

Разработанные составы из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины характеризуются более

высокой атмосферостойкостью, экологичностью, и усталостной прочностью, чем с использованием в качестве связующего феноло-, мочевино- и меламиноформальдегидные терморезистивных олигомеров.

В «Рекомендациях» изложены требования к материалам, параметрам режимов технологического процесса производства строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.

5.1.1 Общие положения

– Термопластичный древесно-полимерный композит – это искусственный строительный материал, получаемый уплотнением с помощью пресса. Равномерность распределения древесных частиц в вяжущем веществе достигается качественным смешиванием компонентов вторичного полиэтилена высокого давления и предварительно рассеянного на ситовом анализаторе мелкодисперсных отходов древесины, и помещается в печь для предварительного нагрева при температуре 200°C. После оптимального времени температурного нагрева пресс-форма направляется на формование методом прессования. Для обеспечения изделий с заданными показателями качества, целесообразно обеспечить рациональные концентрационные соотношения в смеси древесно-полимерного композита: вторичный полиэтилен высокого давления 26-28% мас., мелкодисперсные отходы древесины 69-71% мас. и модификаторы 3% мас.;

– для производства композиционного строительного материала использован вторичный полиэтилен высокого давления марки 15803-020 в виде порошка и гранул 26-28% мас., и модификаторы 3% мас. (воск - 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 - 0,3% мас., антипирен российской фирмы «ЭкоПирен» – 0,2% мас.). Гранулы, измельчённые на дробилке и просеянные через сита № 0,33, 0,63, 1,25, 2,5, 5, должны отвечать требованиям ГОСТ 16337-77 (дата актуализации 06.04.2015). Температура предварительного нагрева должна не превышать процессы деструкции 270°C, его пиролиза с образованием воскоподобного вещества 475°C;

– древесный наполнитель, предназначенный для производства полимерного композита, должен соответствовать требованиям ГОСТ 16361-87 (дата актуализации 06.04.2015), ГОСТ 23246-78 (дата актуализации 13.09.2019). Температура предварительного нагрева должна не превышать процессов деструкции, горения опилок, которое состоит в распаде гемицеллюлозы 200-260°C, целлюлозы 240-350°C, лигнина 280-500°C;

– в качестве модифицирующей добавки использовался воск марки П-1, отвечающий требованиям ГОСТ 23683-2021 (дата актуализации 01.01.2022). Воск

белого цвета с температурой плавления 55 °С, а также суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 и антипирен российской фирмы «ЭкоПирен».

5.1.2 Технология производства композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

Для производства композиционного строительного материала применяется технологическая линия по производству термопластичного композита из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины (рисунок 5.1).

Предварительно измельченные крупнокусковые отходы и мелкодисперсные отходы переработки древесины из деревообрабатывающих цехов автотранспортом транспортируются к цеху в накопитель 1. Из накопителя скребковым конвейером 2 отход древесины подается в бункер 3, оттуда вибрационным дозатором 4, пройдя зону действия магнитного сепаратора 5, равномерно засыпается в дезинтегратор 6, где измельчается до дисперсности не более 3 мм. Древесное сырье не прошедшее зону вибросита 7 подается на повторное измельчение. Из мельницы кондиционный отход древесины с помощью циклона 8 поступает в бункер 9, откуда порционным дозатором 10 подается в приемную зону скребкового конвейера 11 и транспортируется в барабанную сушилку 12, где сушильным агентом являются топочные газы. Высушенная древесная смесь из бункера 13 с помощью вентилятора 14 и циклона 15 подается в бункер 16. В процессе сушки и пневмотранспортирования образуется большое количество мелкодисперсной древесной пыли. Эта пыль осаждается в циклоне 15 и через разгрузочный шибер с помощью вентилятора подается в бункер 16.

Отходы термопластичных полимеров (шприцы медицинские, парфюмерные флаконы, упаковка и тара) из накопителя 17 скребковым конвейером 18 поступают в бункер 19 и пройдя зону магнитного сепаратора 20 подаются в дробилку-гильотину 21. Измельченное термопластичное сырье при помощи скребкового конвейера поступает в зону очистки. Зона очистки состоит из серии промывочных ванн 22, оснащенных мешалками.

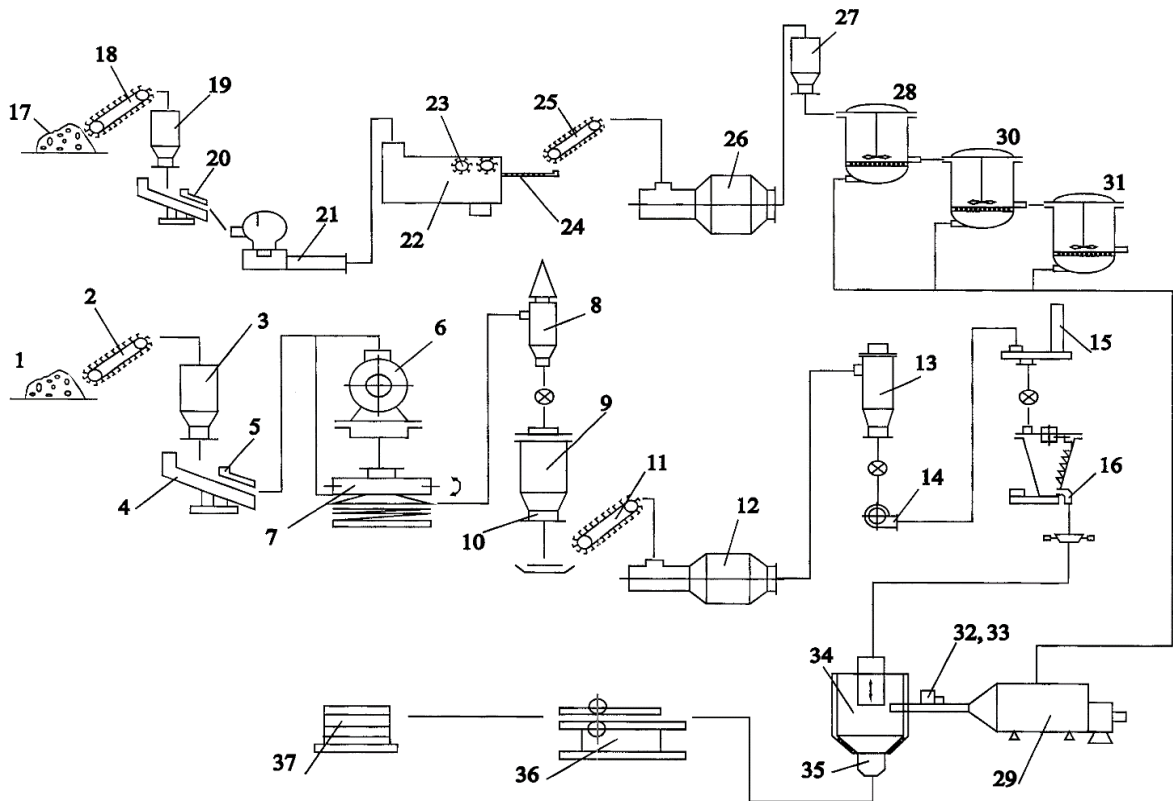


Рисунок 5.1 – Принципиальная технологическая схема производства термопластичных древесно-полимерных композитов из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

1 – накопитель; 2 – скребковый конвейер; 3 – бункер; 4 – вибрационный дозатор; 5 – магнитный сепаратор; 6 – дезинтегратор; 7 – вибросито; 8 – циклон; 9 – бункер; 10 – порционный дозатор; 11 – скребковый конвейер; 12 – барабанная сушилка; 13 – бункер; 14 – вентилятор; 15 – циклон; 16 – бункер; 17 – накопитель; 18 – скребковый конвейер; 19 – бункер; 20 – магнитный сепаратор; 21 – дробилка-гильотина; 22 – промывочные ванны оснащенные мешалками; 23 – скребковый конвейер; 24 – лоток выгрузки; 25 – скребковый конвейер; 26 – сушилка; 27 – приемный бункер; 28 – реактор (температура 60-100°C); 29 – роторно-пульсационный смеситель; 30 – реактор (температура 100-200°C); 31 – реактор (температура 200-250°C); 32 – объемный дозатор; 33 – вентилятор; 34 – пресс; 35 – формующая головка; 36 – форматно-обрезной станок; 37 – склад хранения готовых изделий.

Смешанное термопластичное сырьё поступает в ванны, предварительно наполненные водой. Термопласты, имеющую плотность меньше плотности воды (900-920 кг/м³) остаются на поверхности. Двигаясь поступательно, лопасти скребкового конвейера 23, захватывают материал и транспортируют его к лотку выгрузки 24. Загрязненная вода удаляется вместе с осадком через отводящий патрубок.

При достаточном загрязнении сырья предусмотрено добавление в промывочные ванны моющих средств. Лоток выгрузки оснащен отводящими воду отверстиями. Подсушенное сырьё подается конвейером 25 в сушилку 26 и оттуда в приемный бункер 27. Из приёмного бункера термопластичное сырьё поступает в зону приготовления расплава.

Зона приготовления расплава состоит из реакторов с различными температурами обработки для перевода полимерного сырья, с широким диапазоном плотностей, в вязкотекучее состояние. В реакторе 28 температура варьируется в пределах 60-100°C и позволяет перевести в расплав полимеры низкой плотности. Полученный расплав полимеров подается в смеситель 29. Нерасплавленные полимеры поступают в реактор 30 с температурой обработки 100-200°C и затем в реактор 31 с температурой обработки 200-250°C. Температурный интервал обработки может варьироваться, в зависимости от вида полимера. В каждый реактор подается воск. Из каждого реактора расплав термопластов через отводящий патрубок подается в роторно-пульсационный смеситель 29 с сужающимся выходным отверстием оснащенный объемным дозатором 32 и вентилятором 33.

Древесное сырьё из бункера 16, с определенной скоростью засыпается во входную зону пресса 34. Одновременно из смесителя 29 в ту же зону под давлением распыляется расплав полимеров. Смесь поступает в пресс 34. На выходе пресс оснащен формующей головкой 35 необходимого профиля для производства изделий требуемой конфигурации. Пресс 29 так же оснащен отверстиями для удаления избытка воска. Избыток воска возвращается в производство. Изделия обрезаются на форматно-обрезном станке 36, шлифуются и отправляются на склад хранения готовых изделий 37.

По указанной схеме изготавливаются строительные материалы различного назначения, в зависимости от спроса и условий эксплуатации.

5.1.3 Технические требования и область применения композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины

– Термопластичный древесно-полимерный композит возможно применить для устройства напольных покрытий;

– температура предварительного нагрева вяжущего вещества 200°C; и должна не превышать процессы деструкции: вторичного полиэтилена высокого давления 270°C, его пиролиза с образованием воскоподобного вещества 475°C, горение опилок, которое состоит в распаде гемицеллюлозы 200-260°C, целлюлозы 240-350°C, лигнина 280-500°C;

– после полного уплотнения термопластичного пресс-материала осуществляется выдержка под давлением, в это же время происходит охлаждение изделия.

5.1.4 Технический контроль

– Транспортирование и хранение мелкодисперсных отходов переработки древесины должны соответствовать требованиям ГОСТ 18320-78 (дата актуализации 06.04.2015);

– качество мелкодисперсных отходов древесины должно соответствовать требованиям ГОСТ 16361-87 (дата актуализации 06.04.2015), ГОСТ 12431-72 (дата актуализации 06.04.2015);

– термопластичный связующий материал вторичный полиэтилен высокого давления марки 15803-020 должен соответствовать требованиям ГОСТ 16337-77 (дата актуализации 06.04.2015);

– модифицирующая добавка - воск марки П-1, отвечающий требованиям ГОСТ 23683-2021 (дата актуализации 01.01.2022);

– процесс производства древесно-полимерного композита ведётся с осуществлением контроля за температурно-временным режимом производства и концентрационными соотношениями «вторичный полимер – мелкодисперсные отходы древесины – воск»;

– в процессе производства композиционного строительного материала из вторичного полимера высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины контролируют: предварительный нагрев; выдержку пресс-материала под давлением и охлаждение его.

5.1.5 Требования по технике безопасности

При производстве и применении строительного материала из вторичного полимера высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины должны соблюдаться требования, предусмотренные ГОСТ 16337-77 (дата актуализации 06.04.2015), ГОСТ 12.4.011-89 (дата актуализации 06.04.2015).

5.2 Выводы по разделу 5

5.1 По результатам исследования разработаны «Рекомендации по производству композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины».

5.2 Определен предполагаемый экономический эффект от внедрения процесса производства изделия на годовой объём выпуска в 10000 м³ из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины и модифицирующими добавками составляет с вычетом налогов на прибыль 5,02 млн. рублей при годовом объеме производства ДПК 10000 м³ в год. (см. Приложения А, Б).

ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснованы и экспериментально запроектированы составы, и разработана технология производства термопластичных древесно-полимерных композитов, включающие мелкодисперсные отходы переработки древесины, вторичный полиэтилен высокого давления и модифицирующие добавки.

2. Определены оптимальные параметры технологических режимов изготовления древесно-полимерного композита, а именно: температура предварительного нагрева компонентов ДПК 200°C, которая не превышает температуру деструкции вторичного полиэтилена высокого давления и горения древесного наполнителя; выдержка под давлением 20 МПа в течении 10 минут с одновременным охлаждением изделия.

3. Установлено, что введение в состав полимерного связующего модифицирующей добавки воска не только улучшает реологические и технологические свойства перерабатываемых полимеров, но и оказывает существенное влияние на физико-механическое и химическое взаимодействие древесной матрицы с полимерным наполнителем.

4. Определены оптимальные концентрационные соотношения в системе вторичный полиэтилен высокого давления марки 15803-020 фракции частиц 0,33-0,63 мм – 26-28 % мас., мелкодисперсный отход переработки древесины фракции частиц до 1,25 мм – 69-71 % мас. и модифицирующие добавки: (воск – 2,5% мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 – 0,3% мас., антипирен российской фирмы «ЭкоПирен» – 0,2% мас.).

5. Установлено, что при предварительном нагреве пресс-массы, выделяющиеся продукты горения не превышают предельно допустимую концентрацию вредных веществ и соответствуют нормативным требованиям ГОСТ 30244-94 (дата актуализации 15.03.2008).

6. Термопластичные древесно-полимерные композиты с использованием: древесного наполнителя фракции 0,33-1,25 мм (69-71 % мас.), вторичного полиэтилена высокого давления фракции 0,33-0,63 мм (26-28 % мас.),

характеризуются повышенной прочностью при изгибе $R_{\text{изг}} = 37$ МПа против $R_{\text{изг}} = 23$ МПа для композита с древесным наполнителем фракции 2-5 мм (69-71 % мас.); предел твердости $R_T = 80,5$ Н/мм² против $R_T = 52,0$ Н/мм²; истираемость $V_{\text{ист}} = 3,8$ мм³/м против $V_{\text{ист}} = 5,5$ мм³/м. Водопоглощение после 30 суток равно 3,6% против 5,7%. Плотность связующего вещества $\rho = 1100$ кг/м³. Это соответствует нормам ГОСТ 59555-2021 (дата актуализации 01.01.2022).

7. Предполагаемый экономический эффект производства изделия на годовой объём выпуска в 10000 м³ из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины составляет 5,02 млн. руб. в год.

8. По результатам исследований для ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины». Результаты исследований внедрены в учебный процесс при подготовке специалистов по специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» в ГБОУ ВО «Донецкий институт железнодорожного транспорта» в дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» в разделе «Полимерные материалы».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гузеев В.В. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования [Текст] / Гузеев В.В. и др. // Пластические массы, 2001. – № 2. – С. 46 – 47.
2. Юрченко В.В. Анализ возможности производства и применения композиционных материалов на основе древесины и термопластичных полимеров [Текст] / В.В. Юрченко, Н.Н. Партала., А.А. Плугин, Э.С. Геворкян // Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 130. – С. 84 – 90.
3. Крыжановский В.В. Производство изделий из полимерных материалов [Текст] / В.В. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2008. – 460 с.
4. Refinitiv Russia Oil Research & Pricing. Вторичная переработка ПЭТ в условиях трансформации сферы обращения с отходами пластмасс [Текст] // Полимерные материалы, 2021. – № 3. – С. 42 – 46.
5. Мамуня Е. П. Влияние взаимодействия компонентов на свойства полимер-древесных композиций на основе вторичных термопластов [Текст] В. Д. Мишак, Г. М. Семенович, Е. В. Лебедев // Высокомолекулярные соединения. Серия А, 1994. – Том 36. – № 8. – С. 1358 – 1361.
6. Романов Н. М. Экологически чистые древесно наполненные пластмассы [Текст] / Романов Н. М. и др. // Строительные материалы, 1997. – № 5. – С. 8 – 10.
7. Brischke C. Resistance of different wood-based materials against mould fungi: a comparison of methods [Текст] / Imken, A.A., Kögel, S. et al. // Eur. J. Wood Prod, 2020. – № 78. P. 661 – 671.
8. Kobori H. The Influence of Filler Characteristics on the Physical and Mechanical Properties of Wood Plastic Composite [Текст] / Delviawan, A., Suzuki, S., Kojima, Y. // Reviews in Agricultural Science, 2019. – № 7. P. 1 – 9.
9. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Р.-на-Д.: Феникс, 2007. – 368 с.

10. Швайгер М. Древесно-полимерные материалы: современные технологии и варианты применения от «Полич Кунстштоффтехник ГМБХ» [Текст] // Окна и двери, 2009. – № 6 (141). – С. 36 – 38.

11. Шаповалов В.М. Композиционные материалы на основе вторичных полимеров и модифицированных отходов переработки древесины для получения профильно-погонажных изделий и листовых материалов [Текст] / Баленков А. М., Таврогинская М. Г. и др. // WasteEco. – Харьков: 6-я Международная конференция, 2009. [Электронный ресурс: <https://waste.ua/eco/2009/industrial-waste/wood/>].

12. Купчинов Б.И. Переработка экструзией композиционных материалов на основе измельченной древесины и термопластов [Текст] / Купчинов Б.И. и др. // Пластические массы, 1987. – № 11. – С. 42.

13. Kobori H. Mechanical and physical properties of wood plastic composites containing cellulose nanofibers added to wood flour [Текст] / K. Murayama, Shigehiko S. // Forest Products Journal, 2018. – Vol. 68. – № 4. – P. 398 – 404.

14. Бархатов В. И. Отходы производств и потребления – резерв строительных материалов [Текст] / И. П. Добровольский, Ю. Ш. Капкаев // Монография. – Челябинск: 2017. – 478 с.

15. Darmawan W. Selected properties of compregnated wood using low molecular weight phenol formaldehyde and succinic anhydride [Текст] / Jamaludin Malik, Imam Wahyudi, K. Murayama // Wood Research, 2021. – Vol. 66. – № 5. – P. 762 – 776.

16. Колосова А.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение [Текст] / Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С. Пикалов Е.С. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2018. – № 5 (1). – С. 245 – 256.

17. Большаков В.А. Исследование трещиностойкости полимерных композиционных материалов, изготовленных методом инфузии с использованием различных концентратов на основе модифицированных УНТ / В.И. Солодилов, Р.А. Корохин и др. // Труды ВИАМ, 2017. № 7 (55). – С. 79 – 89.

18. Аскадский А.А. Влияние агрессивных сред на механические свойства древесно-полимерных композитов [Текст] / Т.В. Жданова, Е.М. Чайка, Т.А. Мацеевич, Е.С. Афанасьев // Пластические массы, 2020. – № 7 – 8. – С. 16 – 20.

19. Шайбакова В.И. Эффективные связующие агенты для производства древесно-полимерных композитов на основе поливинилхлорида [Текст] / Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. // Полимеры в строительстве, 2017. – № 1 (5). – С. 46 – 52.

20. Разиньков Е.М. Пути решения проблемы снижения токсичности композиционных древесных материалов на карбамидо-, фенолоформальдегидных олигомерах [Текст] / К.А. Королева, Я.В. Безносное // Пластические массы, 2020. – № 7 – 8. – С. 61 – 64.

21. Мусаева А.Ю. Влияние наполнителя на свойства композиций на основе эпоксидного олигомера [Текст] // Пластические массы, 2019. – № 9 – 10. – С. 39 – 40.

22. Kobori H. Flat-pressed wood plastic composites from community forest wood bark and recycled polypropylene: the effect of pressing temperature on the physical, mechanical, and morphological properties [Текст] / Sutrisno, Eka Mulya A., Atmawi D., Alia Salima A., Shigehiko S. // Journal of southwest jiaotong university, 2021. – Vol. 56. – № 4. – P. 869 – 878.

23. Stanaszek E. Recycling of Wood-Polymer Composites in Relation to Substrates and Finished Products [Текст] // IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2020.

24. Ф. Ла Мантия. Вторичная переработка пластмасс [Текст] / Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. – СПб.: Профессия, 2006. – 400 с.

25. Любешкина Е.Г. Вторичное использование полимерных материалов [Текст]. – М: Химия, 1985. – С. 40.

26. Бледзки А.К. Способы предварительной обработки [Текст] / В.Е. Шпербер, С. Вольф // Вторичная переработка пластмасс. – СПб.: «Профессия», 2006. – 400 с.

27. Аскадский А.А. Применение вторичных полимеров для производства древесно-полимерных композитов [Текст] / П.А. Мороз, Ал.А. Аскадский, Т.А. Мацеевич, Е.В. Соловьева // Пластические массы, 2017. – № 9 – 10. – С. 56 – 60.
28. Портненко В.С. Переработка отходов термопластов [Текст] // Пластические массы, 1985. – № 9. – С. 42 – 43.
29. Калашников С.А. Повышение эффективности заготовки, обработки, переработки и использования вторичных полимерных материалов [Текст] / Диденко С.В., Генин Н.Н. и др. // Обзорная информация. Рациональное использование материальных ресурсов. – М.: ЦНИИТЭМС, 1979. – Вып. 9. – С. 52.
30. Володина Д. А. Рециклинг отходов пластмасс [Текст] / С. В. Азарова, Е. В. Перегудина // Молодой ученый, 2015. – № 11 (91). – С. 535 – 537.
31. Юрченко В.В. Анализ модифицирующих добавок применяемых в термопластичных древесно-полимерных композитах [Текст] / В.В. Юрченко // Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2012. – Вип. 30. – С. 135 – 141.
32. Глухих В.В. Полимеры - химия и жизнь [Текст] / В.В. Глухих, А.И. Матерн. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1996. – 162 с.
33. Кондращенко В.И. Биопластики – древесные композиционные материалы, получаемые методами биотехнологии [Текст] / Е.В. Тарарушкин, Е.С. Горшина, А.Г. Кесарийский // Сборник научных трудов ДОННАСА. – Макеевка: ДОННАСА, 2012. – Вып. 93. – С. 17 – 24.
34. Баштаник П.И. Регулирование свойств вторичного полиэтилена в процессе экструзии [Текст] / Баштаник П.И., и др. // Экономия материальных ресурсов и улучшение качества изделий и конструкций на основе применения новых полимерных материалов. – К.: 1985. – С. 40 – 41.
35. Любешкина Е.Г. Реологические свойства и структура смесей на основе ВПЭВД [Текст] // Пластические массы, 1986. – № 4. – С. 4.
36. Генельс С.В. Модифицирование полимеров кремнийорганическими соединениями [Текст] / Генельс С.В. и др. // Пластические массы, 1981. – № 9. – С. 20 – 21.

37. Кондратов А.П. Патент РФ №2005605, публикация патента 15.01.1994 [Текст]. Классы МПК: В29В17/00 Регенерация или переработка пластиков или других составляющих использованных материалов, содержащих пластики.

38. Рудольф Н. Рециклинг пластмасс. Экономика, экология и технологии переработки пластмассовых отходов [Текст] / Р. Кизель, Ш. Аумнате. – СПб.: Профессия, 2018. – 176 с.

39. Клинков А.С. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов [Текст] / П.С. Беляев, В.К. Скуратов, М.В. Соколов, В.Г. Однолько. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 105 с.

40. Левин В.С. Композиции с улучшенными эксплуатационными свойствами на основе полиэтилена и полистирола смешанных отходов потребления пластмасс [Текст] / Ушакова О.Б. и др. // Использование отходов производства и потребления полимерных материалов в народном хозяйстве. – М.: ЦНИИТЭМС, 1988. – С. 35 – 36.

41. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров и их роль в повышении эффективности использования вторичных полимеров [Текст] // Пути повышения эффективности использования вторичных полимерных ресурсов. – Кишинев, 1985. – С. 31 – 34.

42. Скотт Дж. Деструкция и стабилизация полимеров [Текст] / – М.: Мир, 1988. – 246 с.

43. Переработка пластических масс [Текст] / Энциклопедия полимеров. – М.: "С. Э", 1974. – Т. 2. – 583 с.

44. Хватов А.В. Биоразлагаемые материалы на основе полиэтилена и растительного сырья [Текст] / Ю.К. Луканина, Н.Н. Колесникова и др. // Химия и полная переработка биомассы леса, 2010. – С. 140 – 141.

45. Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов [Текст] / ИОНЦ «Экология природопользования», 2008. – 126 с.

46. Машков Ю.К. Развитие методов формирования эффективных структурно-фазовых состояний полимерных композитов на основе ПТФЭ [Текст] / Л.Ф. Калистратов, О.В. Кропотин // Пластические массы, 2017. № 3 – 4. – С. 12 – 14.
47. Кондрашов С.В. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения с функциональными свойствами [Текст] // Авиационные материалы и технологии, 2017. – С. 405 – 419.
48. Патент РФ №2133255; Классы МПК: C08 L97/02 [Текст].
49. Лузина Н.Ю. Композиционные полимерные материалы, получаемые методом горячего прессования [Текст] / Лузина Н.Ю., Чмыхова Т.Г. // Пластические массы, 1999. – № 6. – С. 35.
50. Пономарев В.Е. Ресурсосберегающая технология изготовления погонажных изделий [Текст] // Строительные материалы, 1987. – № 8. – С. 5.
51. Патент ФРГ №2743873; Классы МПК: B29J5/00 [Текст].
52. Патент Франции №2472461; Классы МПК: B29J5/00 [Текст].
53. Способ подготовки термопластичных полимеров для изготовления формованных деталей из смеси древесины и пластика [Текст] //Экспресс-информ. – М.: ВНИПИЭ Илеспром., 1988. – №. 11. – С. 10 – 11.
54. Юрченко В.В. Методика експериментальних досліджень з розробки складу і технології композиційного матеріалу із термопластичних полімерів і відходів деревини [Текст] / В.В. Юрченко, А.А. Плугін, Л.А. Тимофеева // Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. – 138. – С. 65 – 70.
55. Искович-Лотоцький Р.Д. Сучасні технології та обладнання формоутворення деталей з деревинно-полімерних композитних матеріалів [Текст] / Мовчанок М.О. // Вібрації в техніці та технологіях, 2008. – № 1 (50). – С. 37 – 40.
56. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Текст] / В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.
57. Бабаева В.Н. Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города [Текст] / И.В. Коринько, Л.Н. Шутенко. – Харьков: ХНАГХ, 2004. – 375 с.

58. Власов С.В. Основные технологии переработки пластмасс [Текст] / Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др. – М.: Химия, 2004. – 600 с.

59. ООО «АНИОН». Ротационное формование изделий из полимерных материалов [Текст] // Полимерные материалы, 2001. – Вып. № 11, 12. – С. 8 – 10.

60. Аскадский А.А. Влияние агрессивных сред на механические свойства древесно-полимерных композитов [Текст] / Т.В. Жданова, Е.М. Чайка, Т.А. Мацеевич, Е.С. Афанасьев // Пластические массы, 2020. – № 7 – 8. – С. 16 – 20.

61. Глухих В.В. Получение и применение изделий из древесно-полимерных композитов с термопластичными полимерными матрицами [Текст] / Мухин Н.М., Шкуро А.Е., Бурындин В.Г. – Екатеринбург: УГЛестехн. ун-т, 2014. – 85 с.

62. Батаев А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение [Текст] / Батаев В.А. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.

63. Юрченко В.В. Анализ оборудования для изготовления композиционных материалов на основе термопластичного полимерного вяжущего вещества и мелкодисперсных отходов древесины [Текст] / В.В. Юрченко // Сборник научных трудов. – Донецк: ДОНИЖТ, 2021. Вып. – 63. – С. 48 – 54.

64. Энциклопедия полимеров [Текст] / Под ред. В.А. Кабанов [и др.]. – М.: Советская Энциклопедия, 1977. – Т. 3. – 1152 с.

65. Кузьмина К.Ю. Малеинирование докозана (модели полиэтилена) в присутствии пероксида дибензоила и нитроксильного радикала темро [Текст] / Э. А. Хайбрахманова, Т. В. Тюмкина, Э. М. Зайнутдинова, И. Ю. Понеделькина // Башкирский химический журнал. УфимГНТУ, 2020. – Том 27. – № 4. – С. 8 – 14.

66. Юрченко В.В. Целесообразность производства композиционного материала на основе отходов древесины и термопластичных полимеров / В.В. Юрченко // Вестник ДОННАСА. – Макеевка: 2020. – Вып. – 1(141). – С. 34 – 39.

67. Баранов А.В. Производство продукции из древесно-полимерного композита как альтернативный способ утилизации отходов деревообрабатывающих предприятий [Текст] // Оборудование и инструмент, 2020. – № 1. – С. 46 – 50.

68. Клёсов А. А. Древесно-полимерные композиты [Текст]. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 736 с.

69. Захаров В.П. Влияние влаги на физико-механические свойства древесно-полимерных композитов на основе вторичного полипропилена [Текст] / Р.К. Фахретдинов, Л.Р. Галиев, А.Р. Мингазова // Пластические массы, 2018. № 5 – 6. – С. 56 – 58.

70. Распопов Л. Н. Водостойкость композитов, включающих дисперсную древесину и полиэтилен [Текст] / Л. Н. Руссиян, Ю. И. Злобинский, П. Е. Матковский // Высокомолекулярные соединения. Серия Б, 2008. – Т. 50. – № 3. – С. 547 – 552.

71. Вольфсон С.И. Модифицированные древесно-полимерные композиты [Текст] / Мусин И.Н., Файзуллин И.З., Лыгина Т.З., Трофимова Ф.А. // Пластические массы, 2014. – № 1 – 2. – С. 41 – 44.

72. Аскадский А. А. Расчетная схема для оценки водопроницаемости нанокompозитов [Текст] / Е. С. Афанасьев, Т. А. Мацевич [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия А, 2016. – Т. 58. – № 2. – С. 152 – 168.

73. Кац Г.С. Наполнители для полимерных композиционных материалов [Текст] / Под ред., Д.В. Милевски. – М.: Химия, 1981. – 471 с.

74. Энциклопедия полимеров [Текст] / Под ред. В.А. Каргина [и др.]. – М.: Советская Энциклопедия, 1972. – Т. 1. – 1224 с.

75. Абушенко А.В. Экструзия древесно-полимерных композитов [Текст] / Абушенко А.В. // Мебельщик, 2005. – № 2 (26). – С. 1 – 5.

76. Наполнители для полимерных композиционных материалов [Текст]: Справочное пособие / Пер. с англ. под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1981. – 736 с.

77. Михайлов В.И. К вопросу о модификации вторичного полиэтилена высокомолекулярной фосфорсодержащей огнезамедлительной системой [Текст] / В.И. Кодолов, С.Г. Быстров, Ю.П. Гомза, В.Н. Близнюк, Н.В. Симакина, Г.П. Садакова // Композитные полимерный материалы, 1990. – Вып. 46. – С. 49 – 52.

78. Варанкина Г.С. Технология процесса склеивания древесины: учебное пособие по дисциплине «Технология клеёных материалов и плит» для слушателей факультета повышения квалификации, обучающихся по направлению «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» [Текст] / Г.С. Варанкина, А.Н. Чубинский. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 53 с.

79. Соловьянчик Л.В. Новый подход для придания ПКМ функциональных свойств [Текст] / С.В. Кондрашов, К.А. Шашкеев и др. // Труды ВИАМ, 2017. – № 4 (52). – С. 42 – 52.

80. Екименко Н.А. Композиционный материал на основе отходов ППС [Текст] // Пластические массы, 1984. – № 11. – С. 39 – 40.

81. ГОСТ 16361-87. Мука древесная. Технические условия [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1987. – 7 с.

82. ГОСТ 23246-78. Древесина измельченная. Термины и определения [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1978. – 10 с.

83. ГОСТ 16337-77. Полиэтилен высокого давления низкой плотности. Требования и содержание. Технические условия [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1977. – 38 с.

84. Куппер Д. Микромеханические аспекты разрушения [Текст] / Д. Куппер // Композиционные материалы. – М.: Мир, 1978. – Т. 5. – С. 440 – 475.

85. Черкасов В.Д. Вибропоглощающие композиционные материалы [Текст] / В.Д. Черкасов, Н.Е. Фомин. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2001. – 94 с.

86. Авдонин В.В. Прогнозирование демпфирующих свойств композита с учетом свойств межфазного слоя [Текст] / В.В. Авдонин, А.С. Смиркин и др. // Региональная архитектура и строительство, 2018. – № 4 (37). – С. 30 – 37.

87. Аминов Л.И. Расчет средних толщин прослоек связующего в композиционных материалах [Текст] // Международная научно-техническая конференция «Композиционные материалы в авиастроении и народном хозяйстве». – Казань.: 2001. – С. 32 – 39.

88. Липатов, Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров [Текст] / Ю.С. Липатов. – М.: Химия, 1991. – 260 с.

89. Грушко И.М. Дорожно-строительные материалы [Текст] / Королёв И.В. // Учебник для вузов. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 357 с.

90. ГОСТ 25276-82 "Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определенной скорости сдвига" [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1982. – 7 с.

91. Нигматуллина А. И. Результаты изучения гранулометрического состава древесных наполнителей современными методами [Текст] / Л. Ю. Закирова, А. В. Лысянский // Вестник Технологического университета, 2019. – Т. 22. – № 1. – С. 62 – 66.

92. Соловьев Г.П. Основания и фундаменты транспортных сооружений [Текст] / Соловьев Г.П. – М.: Транспорт, 1995. – 336 с.

93. ГОСТ 12019-66. Пластмассы. Изготовление образцов для испытания из термопластов. Общие требования [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1966. – 7 с.

94. Кудрявцев Л.А. Изучение закономерности роста температуры горения древесных опилок [Текст] / Мазуркин П.М. // ГОУ ВПО Марийский государственный технический университет. Современные проблемы науки и образования, 2009. – № 6. – С. 75 – 79.

95. Смольянинов С. И. Изучение механизма термобрикетиrowания торфа методом ЭПР [Текст] / С. И. Смольянинов, С. Г. Маслов, Г. Ф. Морозова // Известия Томского политехнического института, 1974. – Т. 233. – С. 25 – 28.

96. Гильфанов М.Ф. Экспериментально-теоретическое исследование процесса получения топливных брикетов из отходов деревообрабатывающей промышленности [Текст] / М. Ф. Гильфанов, В. Н. Башкиров, Л. Н. Герке, А. Н. Грачёв // Вестник Казанского технологического университета, 2011. – № 6. – С. 218 – 224.

97. Kobori H. The effect of wood particle size distribution on the mechanical properties of wood–plastic composite [Текст] / A. Delviawan, Y. Kojima // Journal of Wood Science, 2019. – 65:67. – P. 1 – 11.

98. Швецов Г.А. Технология переработки пластических масс [Текст] / Д.У. Алимова, М.Д. Барышникова. – М.: Химия, 1988. – 512 с.

99. Аскадский А.А. Релаксационные свойства террасных досок, изготовленных из древесно-полимерных композитов (ДПК) [Текст] / К.С. Пиминова, А.В. Мацеевич // Строительные материалы, 2018. – № 6. – С. 45 – 52.

100. Аскадский А.А. Влияние агрессивных сред на релаксационные свойства древесно-полимерных композитов [Текст] / Т.В. Жданова, Е.М. Чайка, Т.А. Мацеевич // Пластические массы, 2021. – № 1 – 2. – С. 22 – 27.

101. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1) [Текст]: учебное пособие / В.Г. Бондалетов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.

102. ГОСТ 4647-2015. Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2017. – 25 с.

103. ГОСТ 11645-73. Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1973. – 12 с.

104. ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002). Пластмассы. Метод испытания на сжатие [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.

105. ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010). Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2016. – 25 с.

106. ГОСТ 11012-2017. Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ [Текст]. – М.: Госстандартинформ, 2017. – 8 с.

107. Миндлин С.С. Технология производства полимеров и пластических масс на их основе [Текст]. – Л.: Химия, 1973. – 352 с.

108. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. Издание 4-е, переработанное и дополненное [Текст]. – М.: Научный мир, 2007. – 576 с.

109. ГОСТ 5244-79. Стружка древесная. Технические условия [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1981. – 6 с.
110. ГОСТ 15815-83. Щепка технологическая. Технические условия [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1983. – 15 с.
111. ГОСТ 16362-86. Мука древесная. Методы испытаний [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1988. – 10 с.
112. ГОСТ 14359-69. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1969. – 21 с.
113. ГОСТ 27736-88 Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения ударной прочности защитно-декоративных покрытий [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Издательство стандартов, 1988. – 7 с.
114. ГОСТ 4670-2015. Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2016. – 7 с.
115. ГОСТ 4650-2014 (ISO 62:2008). Пластмассы. Метод определения водопоглощения [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
116. ГОСТ 15173-70. Пластмассы. Метод определения среднего коэффициента линейного теплового расширения [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Издательство стандартов, 1970. – 7 с.
117. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме [Текст]. – М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве, 2000. – 27 с.
118. Кондращенко В.И. Расчетная схема для оценки реологических свойств полимеров и их смесей [Текст] / Аскадский, А.А., Мацевич Т.А. // Строительные материалы, 2018. – № 10. – С. 64 – 68.
119. ГОСТ Р 57843-2017. Композиты древесно-полимерные. Методы определения механических характеристик при изгибе [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2017. – 16 с.

120. ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

121. Баженов В. А. Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков [Текст] / Карасев Е. П., Мерсов Е. Д. – М.: "Лесная промышленность", 1980. – 357 с.

122. Юрченко В.В. Анализ модифицирующих добавок применяемых в композиционных материалах с наполнителем из отходов древесины и термопластичных полимеров [Текст] / В.В. Юрченко, В.А. Хлебородова // Сборник научных трудов. – Донецк: ДОНИЖТ, 2018. Вып. – 48. – С. 39 – 45.

123. Кац Г.С. Наполнители для полимерных композиционных материалов [Текст]: Справочное пособие / Милевски Д. В.; перевод с английского под ред. Бабаевского, П. Г. – М.: Химия, 1981. – 736 с.

124. Градус Л. Я. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии [Текст]. – М.: Химия, 1981. – 192 с.

125. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть [Текст]. – М.: Стандартиформ, 1996. – 16 с.

126. Аскадский А.А. Введение в физико-химию полимеров [Текст] / Хохлов А.Р. – М.: Научный мир, 2009. – 384 с.

127. ГОСТ 59555-2021. Изделия профильные из древесно-полимерного композита [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2021. – 23 с.

128. Лойтер М.Н. Методика определения экономической эффективности капитальных вложений [Текст] / М.Н. Лойтер. – М.: Наука, 1990. – 24 с.

129. ГОСТ 23683-2021. Парафины нефтяные твердые. Технические условия [Текст]. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 24 с.

130. Юрченко В.В. Анализ возможности производства и применения термопластичных композиционных материалов на основе отходов древесины и вторичных полимеров [Текст] / В.В. Юрченко, В.А. Хлебородова // Сборник научных трудов. – Донецк: ДОНИЖТ, 2019. – Вып. 52. – С. 61 – 67.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ОБЛДОРРЕМСТРОЙ

ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Университетская, 13, код ОКПО 05505963

Диссертационный совет Д 01.006.02 при
ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
Юрченко Виталия Викторовича на тему «Композиционный строительный
материал из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных
отходов переработки древесины», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.23.05 – Строительные материалы и изделия

В ПАО «Облдорремстрой» внедрены «Рекомендации по производству
композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена
высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины».
Предполагаемая экономическая эффективность изготовления напольного
покрытия на годовой объём выпуска в 10000 м³ из вторичного полиэтилена
высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины
составляет 5,02 млн. рублей в год.

Председатель правления
ПАО «Облдорремстрой»



С. В. Григалашвили

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

УТВЕРЖДАЮ:



Председатель правления
ПАО «Облдорремстрой»

Григалашвили С. В.

«__» _____ 20__ г.

РАСЧЕТ

предполагаемой экономической эффективности внедрения производства композиционного строительного изделия, технологии и рекомендациям, разработанным на кафедре автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасской национальной академии строительства и архитектуры» аспирантом Юрченко В. В. под руководством д.т.н., профессора Братчуна В. И.

Технико-экономическая эффективность производства термопластичных древесно-полимерных композитов из вторичного полиэтилена высокого давления, обеспечивается заменой феноло-, мочевино- и меламиноформальдегидных термореактивных олигомеров с одновременным повышением эксплуатационных показателей и улучшением условий производства.

Б.1 Методика расчета годового экономического эффекта.

Производится расчет экономической эффективности, соответствующий соблюдению следующих принципов:

- 1) вложенные средства соизмеряются с предопределенными ими доходами;
- 2) вложенные средства и предопределенные доходы соизмеряются приведением их к одному начальному моменту времени;
- 3) результаты проекта определяются на протяжении расчетного цикла – от предварительных исследований до полного прекращения деятельности по проекту;
- 4) принимаются в расчет только дальнейшие затраты и доходы;
- 5) принимаются в расчет риски, обусловленные неблагоприятными изменениями ожидаемых в будущем результатов;

б) учитываются социальные, экологических и ресурсо-экономические последствия от реализации проекта.

Основные затраты на составляющие изделия рассчитывается по формуле (Б.1)

$$Z = N_{mi} C_{mi} K_{тзр} - M_{во} C_{во}, \quad (\text{Б.1})$$

где N_{mi} – норма расхода i -го материала на изделие, кг;

C_{mi} – цена i -го материала за единицу, руб.;

$K_{тзр}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

$M_{во}$ – масса возвратных отходов, кг;

$C_{во}$ – цена возвратных отходов, руб.

Результаты приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1.

Расчет затрат на составляющие изделия

Наименование материала	Норма расхода, кг	Цена за единицу руб.	Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	Возвратные расходы		Общие затраты, руб.
				Масса, кг	Цена за единицу, руб.	
1	2	3	4	5	6	7
Древесный наполнитель	7,0	12,00	1,1	-	-	92,40
Вторичный полиэтилен высокого давления	2,7	28,00	1,1	-	-	83,20
Модифицирующие добавки	0,3	550	1,1	-	-	181,50
Итого:						357,10

Выполним расчет сырья и материальных ресурсов на годовой объем изготовления изделия, приведен в таблице Б.2.

Таблица Б.2.

Сырье и материальные ресурсы на годовой объем

Составляющие элементы материальных затрат	Сумма, тыс. руб.	
	На единицу изделия	На годовой объем
1	2	3
Сырье, материалы	0,2726	2726,00
Вспомогательные материалы, запасные части для оборудования, работы производственного характера	0,01	100,00
Топливо, свет, вода	0,04795	479,50
Итого:	0,3306	3306,00

Определим первоначальную стоимость технологического оборудования (см. таблицу Б.3.), и цену затрат на строительно-монтажные работы ($K_{см} = 20\%$).

Таблица Б.3.

Стоимость технологического оборудования

Наименование оборудования	Приблизительная стоимость единицы оборудования, тыс. руб.	Затраты на монтаж и транспортные расходы	Строительно-монтажные работы фундаментов	Количество оборудования, шт.	Стоимость оборудования, тыс. руб.
1	2	3	4	5	6
Линия экструзии	3751,00	-	375,10	1	4126,10
Измельчитель	365,20	-	36,52	1	401,72
Дозатор	126,54	-	-	2	253,08
Сушильная камера	770,00	-	77,00	1	847,00
Итого:					5627,80

Результат расчета амортизационных отчислений за год приведены в таблице Б.4.

Таблица Б.4.

Расчет амортизационных отчислений за год

Наименование основных средств	Приблизительная общая сумма основных средств, тыс. руб.	Годовая норма амортизации, %	Годовая сумма амортизационных отчислений, тыс. руб.
1	2	3	4
1. Машины и оборудование:			
а) технологическое оборудование	5627,80	25	1406,95
б) измерительные приборы, регулирующие приборы	277,50	20	55,50
в) электронно-вычислительная техника	83,25	25	20,82
2. Транспорт	55,50	20	11,10
3. Производственный, инвентарь	55,50	20	11,10
4. Другие виды основных средств	100,00	20	20,00
Итого:	6199,55	-	1525,46

Количество персонала и фонд заработной платы персонала в год, приведен в таблице Б.5.

Таблица Б.5.

Численность персонала предприятия, фонд заработной платы персонала в год

Категория персонала	Численность персонала предприятия, чел..	Фонд заработной платы персонала в год, тыс. руб.
1	2	3
Руководитель	1	360,00
Специалист	3	900,00
Иной персонал	6	1296,00
Итого:	10	2556,00

Затраты на изготовление единицы готового изделия и его себестоимость, приведена в таблице Б.6.

Таблица Б.6.

Затраты на изготовление единицы готового изделия и его себестоимость

Элементы затрат	Сумма, тыс. руб.	Себестоимость единицы изделия, руб.
1	2	3
Материальные затраты	3306,00	330,60

Продолжение таблицы Б.6.

1	2	3
Расходы на оплату труда	2556,00	255,60
Отчисление по единому социальному налогу	639,00	63,90
Амортизационные отчисления	1525,46	152,54
Прочие затраты	200,00	20,00
Итого:	8226,46	822,64

Рентабельность изготовления разработанного строительного композиционного изделия складывается из суммы полученных эксплуатационных свойств, прочностных характеристик и экономической стоимости за единицу изделия. Разработанный композиционный материал сопоставим по техническим и эксплуатационным характеристикам по сравнению с изделиями, изготавливаемыми с использованием древесно-полимерной композиции, выпускаемых по стандартам Российской Федерации.

Определяющим является более эффективная себестоимость изделия, состоящая из: вторичного полиэтилена высокого давления; мелкодисперсных отходов переработки древесины при объединении с модифицирующими добавками: воск, суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 и антипирен российской фирмы «ЭкоПирен». Результат расчета подтвердил рациональность внедрения процесса технологии производства изделия в промышленное производство.

Расчёт предполагаемого годового экономического эффекта от внедрения процесса производства изделия на годовой объём выпуска в 10000 м³ определялся по формуле (Б.2):

$$\mathcal{E}_r = (C_2 - C_1) \cdot A_r \quad (\text{Б.2})$$

где \mathcal{E}_r – годовой экономический эффект, руб.;

C_1, C_2 – себестоимость изготовления 1 м³ изделия, предлагаемого и базового вариантов соответственно, руб., где $C_1 = 822,64$ руб.;

A_r – годовой объём выпуска, составляет 10000 м³.

На основании анализа рыночных цен на древесно-стружечную плиту, себестоимость материала принимаем $C_2 = 1450$ руб. Тогда,

$$\mathcal{E}_r = (1450 - 822,64) \cdot 10000 = 6273,60 \text{ тыс. руб.}$$

Результаты определения дохода от внедрения процесса производства изделия из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины приведены в таблице Б.7. Ставка налога на прибыль 20%, принимается по действующему законодательству Донецкой Народной Республики.

Таблица Б.7.

Экономические показатели от внедрения процесса производства изделия

Показатель	Освоение, тыс. руб.
1	2
Выручка от реализации продукции без НДС и акцизов	14500,00
Себестоимость реализованной продукции	8226,46
Предполагаемый годовой экономический эффект	6273,60
Налоги на прибыль (20 %)	1254,71
Чистая прибыль	502,83

Таким образом, изготовление предлагаемого изделия является экономически обоснованным. Доход с вычетом налогов на прибыль (20%) от внедрения процесса производства изделия составляет 5,02 млн. рублей в год.

В таблице Б.8. приведена сравнительная характеристика изделий, изготавливаемых с использованием древесно-полимерной композиции, выпускаемых по стандартам Российской Федерации. Разработанный композиционный материал сопоставим по техническим характеристикам и более эффективен по себестоимости.

Таблица Б.8.

Сравнительная характеристика изделий согласно нормативным документам

Техническая характеристика	ООО «Композит Строй-Сервис», Россия, ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ТУ 22.23.19-001-35775654-2017)	ООО «Поливан-групп», Россия, ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ТУ 16.21.13-001-01295061-017)	Древесно-стружечная плита (ГОСТ 10632-2014)	Нормы в соответствии с требованием ГОСТ Р 59555-2021	Предлагаемое изделие из термопластичного древесно-полимерного композита
1	2	3	4	5	6
Профильное изделие	Лага	Доска	Плита	–	Доска
Геометрические размеры изделия, мм	3000×75×35	3000×140×23	3500×1750×16	–	3000×125×23

Продолжение таблицы Б.8.

1	2	3	4	5	6
Связующее вещество, %	Первичный полиэтилен высокой плотности низкого давления, 37%	Первичный полиэтилен высокой плотности низкого давления, 35%	Формальдегид 8-30 мг/100 г. абс. сухой плиты	–	Вторичный полиэтилен низкой плотности высокого давления, 27%
Содержание древесного наполнителя, %	55,0	58,0	–	–	70,0
Плотность, кг/м ³	1320	1414	600-750	не менее 1000	1100
Предел прочности при изгибе, МПа	41,0	33,0	7-13	30,0	37,0
Предел прочности при растяжении, МПа	17,3	17,6	3,5	12,0	12,5
Набухание по толщине в воде за 24 часа, %	0,35	0,35	22-33	не более 1,0	0,3
Водопоглощение в воде за 24 часа, %	1,22	1,32	5-13	не более 2,0	1,23

Представители Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

Руководитель работы

д.т.н., профессор  В. И. Братчун

**Главный бухгалтер
ПАО «Облдорремстрой»**

 Ю. Ю. Судбин

Аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОННАСА

 В. В. Юрченко

ПРИЛОЖЕНИЕ В

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
 ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
 ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
 ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»
 (ГБОУВО «ДОНИЖТ»)

ул. Горная, 6, г. Донецк 83122, тел./факс (062)319-08-31
 e-mail: institut-transporta@mail.ru Идентификационный код 01116176

от 10.10.2022 № 602/01
 На _____ от _____

Диссертационный совет Д 01.006.02 при
 Донбасской национальной академии
 строительства и архитектуры

СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс результатов исследований
 диссертационной работы Юрченко Виталия Викторовича на тему
 «Композиционный строительный материал из вторичного полиэтилена
 высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины»,
 представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
 по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Комиссия в составе: проректора, к.т.н., доцента Тимохина Ю.В.,
 декана факультета «Инфраструктура и экономика железнодорожного
 транспорта» к.э.н., доцента Ордашевской И.В., заведующего кафедры
 «Строительство и эксплуатация пути и сооружений», к.т.н., доцента Похилко
 С.П. свидетельствует, что при подготовки обучающихся по специальности
 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»
 в ГБОУВО «Донецкий институт железнодорожного транспорта» по
 дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов»
 в разделе «Полимерные материалы» используются теоретические и
 экспериментальные данные, полученные в кандидатской диссертационной
 работе Юрченко Виталия Викторовича «Композиционный строительный
 материал из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных
 отходов переработки древесины».

Члены комиссии:

Проректор
 к.т.н., доцент



Ю.В. Тимохин

Декан факультета
 «Инфраструктура и экономика
 железнодорожного транспорта»
 к.э.н., доцент

И.В. Ордашевская

Заведующий кафедрой
 «Строительство и эксплуатация пути
 и сооружений» к.т.н., доцент

С.П. Похилко