

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»
(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии
и биотехнологии
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА **(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Совершенствование технологии переработки отходов мебельного производства с
получением активного угля

Студент

Е. О. Харитонова

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Руководитель

к.х.н. К. В. Беспалова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Тема бакалаврской работы: «Совершенствование технологии переработки отходов мебельного производства с получением активного угля».

Объём работы 81 страница, на которых размещены 15 рисунков и 33 таблицы. При написании выпускной квалификационной работы использовалось 46 источников литературы.

В выпускную квалификационную работу входит введение, 3 раздела, заключение и список используемой литературы и используемых источников.

Во введении раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, обозначается основная цель и задачи исследования.

В первом разделе рассматриваются основной состав и компоненты образования отходов.

Во втором разделе описывается технология процесса переработки отходов, предлагается установка по переработке отходов.

В третьем разделе производится расчет материального баланса установки, расчет установки и ее эффективность.

Заключение посвящено основным выводам и предложениям по внедрению предложенной технологии переработки отходов.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ отходов мебельного производства и существующих методов утилизации и переработки отходов плитной продукции ДСП, МДФ, ДВП, фанеры	6
2 Технология, процессы и аппаратное обеспечение термической деструкции древесных отходов с получением активных углей.....	27
3 Разработка технологической схемы совершенствования производства на базе существующего производственного цикла.....	41
3.1 Материальный баланс установки для получения древесного активного угля	40
3.2 Расчет установки для получения древесного активного угля...	60
Заключение.....	74
Список используемой литературы и используемых источников.....	75

Введение

По данным Федеральной службы государственной статистики и Федеральной службы по надзору в сфере природопользования отходы производства мебели по состоянию на 2020г. составляют 147, 5 тысяч тонн в год. Большая часть этих отходов представлена древесными плитами ДСП, ДВП, МДФ, фанеры с содержанием формальдегида и других опасных веществ в своем составе. В России практически весь объем таких отходов попадает на мусорные полигоны, где, под воздействием атмосферных осадков, кислорода воздуха, и других внешних воздействий уже через 4 года такого хранения древесная масса начинает выделять фенолы в атмосферу.

Чистые древесные отходы мебельного производства в Европе успешно перерабатываются в топливные гранулы, которые служат сырьем для выработки тепловой энергии в котлах и применяются не только в частном секторе, но и на коммунальном уровне, а также на предприятиях и электростанциях достаточно большой мощности. Практика использования топливных гранул постепенно набирает популярность и в России, за счет привлекательной стоимости одного киловатта выделяемого тепла, которая уступает только природному газу. Отходы плитной продукции в свою очередь менее привлекательны с точки зрения вторичного сырья, из-за содержания в составе токсичных связующих, что ограничивает их использование в качестве сырья для топливных гранул. На основании анализа доступной научно-технической информации установлено, что такие отходы возможно использовать в качестве вторичного сырья для производства активных углей.

Углеродные адсорбенты на древесной основе представляют собой конкурентоспособный и востребованный товар на российском и мировом рынках. Активные угли широко применяются в разных отраслях промышленности за счет универсальности их использования. Различные фракции активных углей могут использоваться для очистки водных и

газовых сред. Целесообразность внедрения замкнутого цикла производства с полной переработкой древесных отходов на мебельном предприятии обусловлена не только снижением крупной статьи расходов, связанной с утилизацией и вывозом больших объемов образующихся отходов, и с очевидными выгодами от реализации конкурентоспособного и востребованного на рынке конечного продукта.

Основной целью работы является усовершенствование существующего производственного цикла по переработке отходов мебельного производства путем включения в него отходов плитной продукции в виде ДСП, ДВП, МДФ, фанеры для получения активных углей.

Основными задачами работы являются:

– проведение литературного обзора существующих технологий утилизации отходов мебельного производства в виде плит ДСП, МДФ, ДВП, фанеры, а также подбор оптимального варианта их переработки с учетом сложного многокомпонентного состава исходного сырья, с использованием существующего на предприятии оборудования, с учетом его мощностей и технических возможностей.

– переход расходной части баланса предприятия по утилизации отходов мебельного производства в доходную часть за счет организации безотходного процесса переработки путем включения в существующий цикл отходов плит ДСП, МДФ, ДВП и фанеры с получением прибыли от реализации конечных продуктов процесса переработки.

– расчет возможного выхода конечных продуктов переработки отходов плитной продукции, исходя из объема их образования на мебельном предприятии в течение года.

– предложения по оснащению оборудованием существующей линии переработки отходов для реализации предложенной технологии с учетом проведенных расчетов, а также оценка рентабельности организации такого производства.

1 Анализ отходов мебельного производства и существующих методов утилизации и переработки отходов плитной продукции ДСП, МДФ, ДВП, фанеры

В качестве объекта исследования мною был рассмотрен цех по производству топливных гранул на предприятии, основным видом деятельности которого является производство корпусной мебели из массива дерева, древесно-стружечных плит ДСП, древесноволокнистых плит средней (МДФ) и низкой плотности (ДВП), согласно ОКВЕД коды 31.01, 31.09.2. Общая площадь помещения составляет 2000 м², из которых 150 м² приходится на цех по производству топливных гранул и склад для хранения отходов производства. На производстве занято 32 человека, 5 из которых осуществляет работу на оборудовании производственного цеха.

Причинами организации цеха по производству топливных гранул были: производство мебельной продукции является высокоотходным - доля отходов составляет порядка 50% от общего объема исходного сырья; высокие расходы на вывоз и утилизацию образующихся отходов в большом объеме; возможность трансформировать расходы в доходы, учитывая 2 предыдущих пункта [8, 13].

В рамках прохождения практики были подробно исследованы цех по производству топливных гранул, отходы мебельного производства, выступающие в качестве сырья для производства таких гранул, а также были изучены основные параметры исходного сырья для их производства. В ходе работы установлено, что для производства топливных гранул, с целью поддержания стандартов качества и теплотворных характеристик готовой продукции, допустимо использовать только отходы мебельного производства из чистой древесины, не загрязненной ЛКМ. Также для производства топливных гранул не допускается использование плит ДСП, ДВП, МДФ и фанеры.

По данным Федеральной службы государственной статистики и Федеральной службы по надзору в сфере природопользования отходы производства мебели по состоянию на 2020г. составляют 147, 5 тысяч тонн в год. Учитывая тот факт, что плитная продукция и изделия из нее гораздо дешевле продукции из натурального дерева, рост этого показателя отходов будет только расти. Стоит отметить, что на рост этого показателя также влияют фактор морального устаревания мебели при сохранении ее утилитарных свойств и высокоразвитая культура потребления, принятая в современном обществе. После окончания срока эксплуатации мебели из различных плит, либо ее морального устаревания, она попадает на свалки и мусорные полигоны, где под влиянием атмосферных явлений начинает выделять в окружающую среду вредные вещества, а с учетом объемов образования отходов, в достаточно больших количествах. Эмиссия вредных веществ в окружающую среду напрямую зависит от состава и свойств плит ДСП, ДВП и МДФ.

Основными загрязняющими и опасными веществами плитной продукции являются формальдегид и фенол, входящие в состав связующих смол, а также стирол, входящий в состав полиэфирных ненасыщенных смол [7, 9].

Формальдегид представляет собой бесцветный газ с резким неприятным запахом, хорошо растворимый в воде, спиртах и полярных растворителях. Химическая формула CH_2O представлена на рисунке 1.

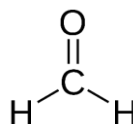


Рисунок 1 - Графическое изображение формулы формальдегида

Формальдегид обладает высокой химической, биологической и канцерогенной активностью. По токсичности формальдегид относится ко II классу опасности согласно ГОСТ 12.1.005 [1, 4, 33]. Классы опасности представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Классы опасности отходов

Класс опасности	Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды
I класс чрезвычайно опасные	Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует.
II класс высоко опасные	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия.
III класс умеренно опасные	Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после полного устранения источника вредного воздействия.
IV класс малоопасные	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3 лет.
V класс практически неопасные	Экологическая система практически не нарушена.

На исследуемом мебельном производстве преимущественно используются плиты классов E1, E2. Эмиссия формальдегида по классам, соответствующее классу содержание формальдегида в плите и предельно допустимые нормы выделения его из плиты в воздух представлены в таблице 2. Рекомендуемые предельно допустимые нормы содержания формальдегида в плитах класса эмиссии E 0,5 и E 1 за полугодовой период проверки не должны превышать среднего значения 3,3 мг/100 г абсолютно сухой плиты и 6,5 мг/100 г абсолютно сухой плиты соответственно [29, 39].

Таблица 2 - Класс эмиссии формальдегида древесно-стружечных плит

Класс эмиссии плит по выделению формальдегида	Предельно допустимые нормы содержания формальдегида в плите, установленные перфораторным методом, мг/100 г абсолютно сухой плиты	Предельно допустимые нормы выделения формальдегида из плиты в воздух, установленные методом испытания в климатической камере, мг/м ³ воздуха
Е 0,5	До 4,0 включительно	До 0,08 включительно
Е 1	Свыше 4,0 до 8,0 включительно	Свыше 0,08 до 0,124 включительно
Е 2	Свыше 8,0 до 20,0 включительно	Свыше 0,124 до 0,5 включительно

Фенол представляет собой бесцветные игольчатые кристаллы, со специфическим запахом, умеренно растворим в воде, в растворах щелочей, в спирте, в бензоле, в ацетоне. Химическая формула C_6H_6O представлена на рисунке 2. По токсичности фенол относится ко II классу опасности. Предельно допустимая концентрация фенола составляет 1 мг/м³.

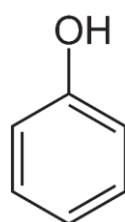


Рисунок 2 - Графическое изображение формулы фенола

Стирол представляет собой бесцветную ядовитую жидкость со специфическим неприятным запахом, практически нерастворим в воде, хорошо растворим в органических растворителях. Химическая формула C_8H_8 представлена на рисунке 3.

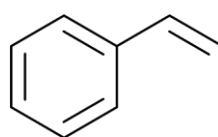


Рисунок 3 - Графическое изображение формулы стирола

Стирол представляет собой яд общетоксического действия. Он обладает раздражающим, мутагенным и канцерогенным эффектом. По токсичности стирол относится к III классу опасности. Предельно допустимая концентрация стирила составляет 30 мг/м³.

В отдельную категорию стоит отнести изделия, обработанные ЛКМ. На исследуемом предприятии используются преимущественно акриловые краски и лаки на основе различных растворителей. Перечень вредных веществ различается в зависимости от состава конкретного продукта. В таблице представлен перечень основных видов продуктов, входящие в состав вредных вещества, их класс токсичности, а также предельно допустимые уровни этих веществ [12, 28, 44].

Таблица 3 - Характеристики ЛКМ по токсичным веществам

Наименование ЛКМ	Вредное вещество в составе	Допустимый уровень миграции в воздушную среду, мг/м ³	Класс опасности
Полиакриловые	Формальдегид	0,01	II
	Уксусная кислота	0,01	III
	Ксилол	0,1	III
Стирольно-акриловые	Формальдегид	0,01	II
	Метилметакрилат	0,01	III
	Стирол	0,002	III
Алкидно-акриловые	Формальдегид	0,01	II
	Метилметакрилат	0,01	III
	Стирол	0,002	III
	Фталиевый ангидрид	0,02	III
	Ксилол	0,1	III

В процессе производства мебельной продукции на предприятии образуются кусковые отходы древесины. Чистая древесина, незагрязненная ЛКМ, пластиковой кромкой и другими элементами постобработки изделий поступает на переработку в цех по производству топливных гранул. Для производства мебели из дерева в год закупается около 4920м³ материала, который включает в себя хвойные и твердолиственные породы. На

основании произведенных расчетов по исследуемому предприятию во время производственной практики по методике, разработанной инженерно-техническим центром «Компьютерный Экологический Сервис», было установлено, что объем вторичного сырья, поступающего на переработку в цех по производству топливных гранул составляет 807,1 м³/год, количество образующихся кусковых отходов составляет 304,5 т/год, количество древесных стружек и опилок составляет 22,7 т/год, объём образующихся опилок и стружек 175,5 м³/год [6, 10, 46].

Кусковые отходы, образующиеся после обработки древесины покрытиями различного состава и ЛКМ в том числе, а также отходы плитной продукции ДСП, ДВП, МДФ, фанеры, непригодны для переработки в топливные гранулы. Если топливные гранулы изготовить из отходов, загрязненных вредными веществами, то при температурном воздействии, в том числе в процессе горения, в зависимости от состава гранулы могут выделять вредные вещества в атмосферу. Также наличие примесей в исходном сырье может отрицательно сказаться на оборудовании линии производства топливных гранул и снизить качество готового продукта.

Плита древесно-стружечная (ДСП) представляет собой композиционный материал, состоящий из предварительно высушенной древесной стружки различных фракций и пород древесины, смешанной со связующим веществом неминерального происхождения с введением при необходимости специальных добавок, изготавливаемый методом горячего прессования [18]. Для производства мебельной продукции используются древесно-стружечные плиты, облицованные пленками на основе терморезистивных полимеров (ЛДСП). В соответствии с ГОСТ 10632-2014 и ГОСТ 32289-2013 существует несколько классификаций плит ДСП [20, 30, 42]. В рамках данной работы наиболее интересны такие показатели плит ДСП, как плотность и влажность. Данные по этим показателям представлены в таблице 4. В качестве древесного сырья для изготовления плит

используется преимущественно ольха, береза, сосна, осина, ель, тополь и другие породы древесины.

Таблица 4 - Физические показатели древесно-стружечных плит

Показатель	Норма для плит ДСП
Влажность, %	-
Тн - нижний предел показателя	5
Тв - верхний предел показателя	13
Плотность, кг/м ³	550-820

В качестве связующего используются преимущественно карбамидоформальдегидные связующие (КФС) марок КФ-МТ-15 и КФ-НФП в соответствии с ГОСТ 14231-88 [33, 40, 43]. Карбамидоформальдегидные смолы представляют собой продукт поликонденсации карбамида с формальдегидом. Состав смолы представлен в таблице 5.

Таблица 5 - Состав карбамидоформальдегидной смолы

Наименование показателя	Норма
Массовая доля нелетучих веществ (сухой остаток), %	67
Массовая доля свободного формальдегида, % не более	0,12

Реже используются фенолформальдегидные связующие (ФФС) марки СФЖ-3014 в соответствии с ГОСТ 20907-2016 [15, 34, 41]. Фенолформальдегидные смолы представляют собой продукт поликонденсации фенола и формальдегида в присутствии катализатора с добавкой модифицирующих и стабилизирующих веществ или без них.

Состав смолы представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Состав фенолформальдегидной смолы

Наименование показателя	Норма
Массовая доля нелетучих веществ (сухой остаток), %	46-52
Массовая доля щелочи, %	6,0-7,5
Массовая доля свободного формальдегида, %, не более	0,10
Массовая доля свободного фенола, % не более	0,10

Древесноволокнистая плита (ДВП) представляет собой листовой материал, изготовленный различными способами прессования или сушки ковra из древесных волокон различных фракций и пород древесины с добавлением связующих веществ неминерального происхождения с введением при необходимости специальных добавок. Под сокращенным наименованием ДВП имеются ввиду древесноволокнистые плиты низкой плотности, а под МДФ плиты средней плотности. На мебельном производстве используются в основном ДВП в соответствии с ГОСТ 4598-2018 и МДФ марок ПСП-А и ПСП-Б в соответствии с ГОСТ 32274-2013, облицованные пленками на основе термореактивных полимеров, и без облицовки [31,32]. В качестве древесного сырья для изготовления плит используется хвойные и лиственные породы дерева. Физические показатели плит ДВП и МДФ представлены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 - Физические показатели ДВП

Показатель	Норма для плит ДВП
Влажность, %	-
T _н - нижний предел показателя	4
T _в - верхний предел показателя	10
Плотность, кг/м ³	850-1100

Таблица 8 - Физические показатели МДФ

Показатель	Норма для плит ДВП
Влажность, %	-
Тн - нижний предел показателя	10
Тв - верхний предел показателя	12
Плотность, кг/м ³	600-850

В качестве связующего также используются преимущественно фенолформальдегидные смолы (ФФС) марки СФЖ-3014, описанные выше.

Фанера или древесно-слоистая плита представляет собой многослойный материал, изготавливаемый путём склеивания специально подготовленного шпона. В соответствии с ГОСТ 3916.1-2018 для изготовления фанеры применяют шпон лущеный листовых пород (березы, ольхи, клена, ильма, бука, осины, тополя, липы) для наружных слоев; для внутренних слоев, кроме названных, также применяют шпон хвойных пород (сосны, ели, пихты, лиственницы и кедра) [16,35]. Фанеру изготавливают из древесины одной или различных пород. Для склеивания шпона между собой используют карбамидоформальдегидные смолы марки КФ-МТ-15, описанные выше. Физические показатели фанеры представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Физические показатели фанеры

Показатель	Норма для плит ДВП
Влажность, %	-
Тн - нижний предел показателя	5
Тв - верхний предел показателя	10
Плотность, кг/м ³	650-750

В небольшом количестве на производстве используются влагостойкие ДСП. В состав таких плит вводятся специальные гидрофобные добавки, состав которых представлен в таблице 10.

Таблица 10 - Состав гидрофобной эмульсии

Компонент	Состав эмульсии, м.ч.	
	Парафино-олеиновой	Парафино-стеариновой
Парафин	31,2	28,15
Олеиновая кислота	3,8	-
Аммиачная вода 25%-ной концентрации	2,0	-
Стеарин	-	3,1
Триэтаноламин	-	6,25
Вода	63,0	62,5

Для придания мебельной продукции привлекательного эстетического вида производители мебели используют плиты с покрытием облицовочными пленками и кромками различных видов, а также изделия окрашиваются ЛКМ. Облицовочные пленки для плит на бумажной основе в соответствии с ГОСТ 32716-2014 изготавливаются нескольких типов, представленных в таблице 11 [21,22, 26, 27].

Таблица 11 - Типы облицовочного материала для плитной продукции

Тип	Описание
А	Пленки на основе бумаг, пропитанных в КФС или КМВС, предназначенные для облицовывания щитовых деталей мебели с последующей отделкой лаками
В	Пленки на основе бумаг, пропитанных в КФС, модифицированных полиэфирными эмульсиями, предназначенные для облицовывания щитовых деталей мебели с последующей отделкой полиэфирными лаками
С	Пленки на основе бумаг, пропитанных в клеевой КФС, предназначенные для облицовывания щитовых деталей мебели с последующей отделкой нитроцеллюлозными лаками и эмалями
Д	Пленки на основе бумаг, пропитанных в КВС или КМФС, предназначенные для облицовывания внутренних поверхностей изделий мебели, за исключением кухонной мебели, без последующей отделки

Карбамидомеламинформальдегидная (КМФС) смола, применяемая при изготовлении пленки типа А, представляют собой продукт поликонденсации карбамида и меламина с формальдегидом. Состав смолы представлен в таблице 12.

Таблица 12 - Состав карбамидомеламинформальдегидной смолы

Наименование показателя	Норма
Массовая доля нелетучих веществ (сухой остаток), %	54-67,5
Массовая доля свободного формальдегида, %, не более	0,06

Для получения полиэфирной эмульсии, применяемой при изготовлении пленки типа В, используются ненасыщенные полиэфирные смолы марок ПН-35, ПН-3С в соответствии с ГОСТ 27952-2017, смачиватель НЕ (некаль) в соответствии с ГОСТ 6867 [17,19,20]. Полиэфирные ненасыщенные смолы представляют собой раствор полидиэтиленгликольмалеинатфталата в стироле. Состав полиэфирной ненасыщенной смолы представлен в таблице 13.

Таблица 13 - Состав полиэфирной ненасыщенной смолы

Наименование показателя	Норма
Массовая доля стирола, %	30-33

Смачиватель НБ представляет собой продукт, получаемый методом конденсации сульфокислот нафталина с бутанолом с последующей нейтрализацией раствором гидроокиси натрия. Состав смачивателя НБ представлен в таблице 14.

Таблица 14 - Состав смачивателя НБ

Наименование показателя	Норма
Массовая доля активного вещества, %, не менее	51
Массовая доля щелочи в пересчете на гидроокись натрия, %, не более	0,55
Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более	0,14

Облицовочные пленки для плит из полимерных материалов используются из нескольких видов пластика. Также для декоративного оформления торцов изделий используется кромочный материал, который изготавливается на бумажной основе или из полимерных материалов. Кромочный материал на бумажной основе схож по составу и свойствам с облицовочной пленкой на бумажной основе. В таблице 15 представлены основные виды пластика для кромочного материала, которые используются для облицовки плит.

Таблица 15 - Виды пластика для кромочного материала и облицовки плит

Вид пластика и аббревиатура	Кромочный материал	Облицовочная пленка
Поливинилхлорид ПВХ	+	+
Полиэтилентерефталат ПЭТ	-	+
Акрилонитрил-бутадиен-стирол АБС	+	+
Полипропилен ПП	+	+

Для определения объема отходов плитной продукции, образующихся на предприятии по производству мебели, необходимо провести специфические расчеты, используя методику, разработанную инженерно-техническим центром «Компьютерный Экологический Сервис» [10,45].

Количество кусковых отходов древесины, т/год, образующихся в процессе деревообработки, определяется по формуле (1):

$$M_k = \frac{Q \times p \times C}{100}, \quad (1)$$

где Q – количество обрабатываемой древесины, м³/год;

p - плотность древесины, в зависимости от вида древесины, т/м³;

C - количество кусковых отходов древесины от расхода сырья, %, принимается в зависимости от вида продукции.

Объем образующихся кусковых отходов древесины, м³/год, определяется по формуле (2):

$$V = M_k / \rho / k, \quad (2)$$

где M_k - количество образующихся кусковых отходов, т/год;

k - коэффициент полндревесности кусковых отходов (отрезков пиломатериалов), равный 0,57;

Количество стружек и опилок древесных, т/год при отсутствии местных отсосов и пылеулавливающего оборудования определяется по формуле (3):

$$M_{ст. оп} = M_{ст} + M_{оп} = \frac{Q \times \rho \times C_{ст}}{100} + \frac{Q \times \rho \times C_{оп}}{100}, \quad (3)$$

где $M_{ст}$ - количество отходов стружки, т/год;

$M_{оп}$ - количество отходов опилок, т/год;

Q - количество обрабатываемой древесины, м³/год;

ρ - плотность древесины в зависимости от вида древесины, т/м³;

$C_{ст}$ - количество отходов стружек от расхода сырья в зависимости от вида продукции, %;

$C_{оп}$ - количество отходов опилок от расхода сырья в зависимости от вида продукции.

Объем образующихся опилок и стружек, м³/год, определяется по формуле (4):

$$V = M_{ст} / \rho / k_{ст} + M_{оп} / \rho / k_{оп}, \quad (4)$$

где $k_{ст}$ - коэффициент полндревесности стружек, равный 0,11;

$k_{оп}$ - коэффициент полндревесности опилок, равный 0,28.

Количество стружек и опилок древесных при наличии местных отсосов и пылеулавливающего оборудования, т/год, определяется по формуле (5):

$$M_{ст, оп} = (Q \times p \times (C_{ст} + C_{оп}) \times 10^{-2}) \times (1 - 0,9 \times K_{п} \times 10^{-2} \times (1 - n)), \quad (5)$$

где 0,9 - коэффициент эффективности местных отсосов;

$K_{п}$ - коэффициент содержания пыли в отходах в зависимости от способа механической обработки древесины (пиление, строгание, шлифовка и т.п.), %;

n - коэффициент эффективности пылеулавливающего оборудования, в долях 1.

Данные по объему материала, закупаемого для производства мебели в год представлены в таблице 16. Исходные данные для расчетов представлены в таблицах 17, 18, 19, 20, 21.

Таблица 16 - Объем закупки материала для производства мебели

Наименование материала	Объем закупки материала в год, м ³
ДСП	18640
ДВП	11670
МДФ	14320
Фанера	13240
Итого	57870
Кромочный материал	4800

При расчёте веса плитных материалов возьмем среднегодовую транспортную влажность пиломатериалов равную 22%. Основным

оборудованием на производстве являются ленточный, фуговальный, рейсмусовый и фрезерный станки [36].

Следует также указать, что на производстве имеется пылеулавливающее оборудование, представленное местными аспирационными установками. Для упрощения расчета возьмем за основную единицу продукции древесные плиты и фанеру. По всем используемым показателям возьмем среднюю арифметическую величину. Тогда, подставив в формулы (1, 2, 4, 5) все величины получим:

$$M_k = \frac{57870 \times 0,8 \times 15}{100} = 6944,4 \text{ т/год}$$

$$V = 6944,4 / 0,8 / 0,57 = 15229 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$M_{\text{ст, оп}} = (578870 \times 0,8 \times 1,5 \times 10^{-2}) \times (1 - 0,9 \times 15,25 \times 10^{-2} \times 1 - 0,8) = 2,12 \text{ т/год}$$

$$V = 2,12 / 0,8 / 0,28 = 9,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

Из полученных величин наглядно видно, что количество отходов производства достаточно велико и вывоз этих объемов на утилизацию представляет значительные затраты, не говоря уже об экологической проблеме длительного процесса разложения такого объема отходов на полигонах.

Данные таблицы отражают объем накопления отходов в процентном соотношении от общего число образования отходов на мебельном предприятии. Норматив для плитной продукции ДСП, МДФ, ДВП и фанеры по данным таблицы 17 составляет 10-15% от общего объема плит, закупаемых на предприятии в год.

Таблица 17 - Отходы производства мебели

Наименование материала	Объем отходов, %
Обрезки пиломатериалов	25-35% от объема исходных пиломатериалов
Стружка древесная	8-18% от объема исходных пиломатериалов
Опилки древесные	14-16% от объема исходных пиломатериалов
Обрезки столярных древесных плит ДСП	10-15% от объема плит
Опилки, стружка от плит	3,8-8,0% от объема плит
Обрезки фанеры	10-15% от объема фанеры
Опилки от раскроя фанеры	0,5-1,5% от объема фанеры
Пыль шлифовальная	0,5 – 1,0% от объема всех видов сырья
Обрезки облицовочных материалов	10-20% от объема исходных материалов
Обрезки шпона	30-55% от объема исходного шпона

Среднегодовая влажность пиломатериалов, представленная в таблице 18 для плитной продукции ДСП, МДФ, ДВП и фанеры ввиду своей плотности принимается равной 22 %. Это обусловлено высокой плотностью продукции, условиями хранения в соответствии с нормативами готовой плитной продукции.

Таблица 18 - Среднегодовая влажность пиломатериалов

Тип материала	Среднегодовая влажность пиломатериалов, %
Сухие материалы	15
Полусухие материалы:	
Хвойные и мягколиственные породы	40
Твердолиственные породы	30
Сырые материалы:	
Хвойные породы	90
Мягколиственные породы	80
Твердолиственные породы	60
Транспортная влажность всех пород	22

Таблица 19 - Показатели плотности древесины

Вид древесины	Плотность древесины, ρ , т/м ³			
	сухой	транспортной влажности	полусухой	сырой
Фанера и ДСП	0,8	0,8	-	-
Береза	0,65	0,67	0,69	0,88
Бук	0,65	0,67	0,69	0,88
Дуб	0,72	0,75	0,78	0,99
Ель	0,45	0,47	0,52	0,71
Кедр	0,44	0,46	0,51	0,70
Лиственница	0,67	0,69	0,77	1,04
Липа	0,50	0,52	0,58	0,75
Ольха	0,52	0,54	0,61	0,78
Осина	0,50	0,52	0,58	0,75
Пихта европейская	0,45	0,47	0,52	0,71
Пихта сибирская	0,37	0,38	0,43	0,59
Сосна	0,51	0,53	0,59	0,81
Ясень	0,70	0,73	0,76	0,96

Таблица 20 - Отходы деревообработки

Вид производства	Вид сырья	Количество отходов, % от объемов сырья		
		кусковые, С	стружки, обрезки шпона, Стс	опилки, Соп
Черновые мебельные заготовки (ЧМЗ)	Пиломатериалы, заготовки	30	17	6,5
	Пиломатериалы хвойных пород	25	-	9
	Пиломатериалы твердолиственных пород и березы	41	-	7
Чистые мебельные заготовки	ЧМЗ хвойных пород	8,2	22	0,6
	ЧМЗ твердолиственных пород	10,5	28,8	1,2
	Пиломатериалы хвойных пород	28,5	15	9,5
	Пиломатериалы твердолиственных пород и березы	46,5	15	7,5
Детали и заготовки	Древесные плиты, фанера	15	-	1,5
	Строганный шпон	-	43	1
	Лущеный шпон	-	48	1
	Круглый лес	15	32	4

Таблица 21 - Коэффициент содержания пыли в отходах

Наименование станков	Коэффициент, %, Кп
Ленточнопильные станки	
Ленточнопильный делитель ЛД-140	34
Ленточнопильный столярный ЛД-80	34
Строгальные станки	
Фуговальный с ручной подачей СФ-3	12,5
Фуговальный с механической подачей СФА-6	12,5
Рейсмусовые односторонние	
СР-3	12,5
Сверлильные долбежные станки	
Сверлильный вертикальный с автоподачей СВА	18
Сверлильный горизонтальный СВПА	18
Цепнодолбежный ДЦА-2	18
Шлифовальные станки	
Со сводной лентой ШлСП	90
Фрезерные станки	
Ф4	12
Ф5	12
Ф6	12
Фрезерный с автоподачей ФА-4	12
Карусельно-фрезерный Ф1К	12

Проанализировав данные по образованию отходов плит ДСП, ДВП, МДФ и фанеры установлено, что в год на мебельном предприятии образуется около 7 тысяч тонн отходов плитной продукции, которая не подлежит переработке в топливные гранулы. На сегодняшний день существует несколько способов утилизации и переработки древесных отходов. Древесные отходы могут утилизироваться путем вывоза на мусорные полигоны, и в настоящее время это самый распространённый в России способ утилизации. Однако, стоит сказать также, что этот способ относится к весомой статье расходов мебельных предприятий, поскольку объемы производства таких отходов достаточно велики, поскольку известно, что мебельная промышленность является высокоотходной, с более чем 50% отходов от общего объема производства [3].

Первый способ переработки древесных отходов предполагает повторное использование путем измельчения сырья и включения его в цикл

производства плит. Однако этот способ затратный в вопросе очистки древесных плит от облицовочных пленок, пластика, ЛКМ, и подходит скорее для необработанных плит, которые в производстве мебели практически не используются. Измельченное сырье также может использоваться в качестве добавок к строительным материалам, как, например, добавка в теплоизоляционный бетон, либо отсыпка опилками и стружкой пустот между стенами при монолитном строительстве. Стоит отметить, что такая технология строительства предусматривает чистую древесину, без токсичных примесей, что снова исключает отходы плитных материалов. Второй способ переработки предполагает вторичное использование древесных отходов в качестве сырья для производства топливных гранул или брикетов. Этот способ переработки древесины успешно используется на исследуемом предприятии, но требования к сырью для изготовления топливных гранул и брикетов еще более жесткие, что полностью исключает возможность использования в производственном процессе отходов плитной продукции.

Третий и наиболее перспективный способ для переработки отходов плитной продукции - это ее пиролизическое сжигание и последующая активация древесного угля. Таким способом переработки отходов решится сразу несколько задач. Это выработка энергии, не только на нужды самого процесса сжигания, но и для других процессов на предприятии, а также возможного накопления излишков энергии.

Трансформация расходной части предприятия в доходную - древесные отходы не будут вывозиться на полигоны, а будут перерабатываться в полезный и рентабельный продукт. Конечный продукт производства - активные угли - можно реализовывать и получать дополнительную прибыль.

При достаточном масштабировании и отлаженной технологии предприятие сможет расширить вид деятельности и получить лицензию на переработку древесных отходов других производственных предприятий, либо принимать в переработку древесные отходы предприятий ЖКХ, что благотворно повлияет на экологическую обстановку региона и возможно

станет положительным примером для других мебельных предприятий в области переработки отходов собственного производства [2].

Активные угли представляют собой адсорбенты, которые получают путем пиролиза углеродосодержащих веществ.

Эффективность применения активных углей для очистки газовых смесей, сточных вод, для рекуперации растворителей и др. обусловлена пористостью поверхности. По своей структуре активный уголь представлен порами различных размеров, представленных в таблице 22 [24].

Таблица 22 - Размеры пор активных углей

Наименование пор	Размеры, м
Макропоры	Не более 2×10^{-7}
Переходные поры	от 15×10^{-10} до 2×10^{-7}
Микропоры	от 5×10^{-10} до 15×10^{-10}

Как и все адсорбенты, активные угли характеризуются активностью адсорбата, так называемой поглотительной способностью, которая определяется количеством поглощённого вещества на единицу массы или объема адсорбента.

Активные угли для производства в промышленных масштабах должны быть прочными, иметь высокую адсорбционную емкость при малом времени контакта с водой, обладать высокой селективностью и иметь способность подвергаться регенерации [37].

В соответствии с ГОСТ 6217-74 активный древесный дробленый уголь изготавливается нескольких марок, физико-химические показатели которых представлены в таблице 23 [25].

Таблица 23 - Физико-химические показатели марок активного древесного дробленого угля

Наименование показателя	Норма для марки			
	БАУ-А	БАУ-Ац	ДАК	БАУ-МФ
	ОКП 21 6239 0100	ОКП 21 6239 0200	ОКП 21 6239 0300	ОКП 21 6239 0400
Внешний вид	Зерна черного цвета без механических включений			
Адсорбционная активность по йоду, %, не менее	60	60	30	70
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г, не менее	1,6	1,7	1,4	Не нормируется
Насыпная плотность, г/дм ³ , не более	240	240	Не нормируется	
Фракционный состав, массовая доля остатка на сите с полотном:				
N 36, %, не более	2,5	2,5	2,5	-
N 10, %, не менее	95,5	95,5	95,5	-
на поддоне, %, не более	2,0	2,0	2,0	-
N 15, %, не более	-	-	-	25
N 5, %, не менее	-	-	-	70
на поддоне, %, не более	-	-	-	5
Массовая доля золы, %, не более	6	7	6	10
Массовая доля влаги, % не более	10	10	10	10
Прочность, %, не менее	-	60	-	-

Уголь марки БАУ-А используется в ликёро-водочном производстве и для адсорбции из растворов и водных сред; БАУ-Ац - для наполнения ацетиленовых баллонов; ДАК - для очистки парового конденсата от масла и других примесей; БАУ-МФ - для адсорбции из водных сред в фильтровальных установках.

2 Технология, процессы и аппаратное обеспечение термической деструкции древесных отходов с получением активных углей

Основной задачей исследования стало включение в существующий цикл переработки древесных отходов плитной продукции ДСП, ДВП, МДФ, фанеры. Для производства топливных гранул, с целью поддержания стандартов качества и теплотворных характеристик готовой продукции, допустимо использовать только отходы мебельного производства из чистой древесины, не загрязненной ЛКМ, полимерными связующими и отделочными пластиками. Соответственно отходы плитной продукции не подлежат переработке в топливные гранулы. Для переработки таких отходов предложена технология получения на их основе активных древесных углей, представленная на рисунке 4. Конечными продуктами этой технологии переработки являются пиролизные газы, жидкая пиролизная фракция (так называемая жижка) и активный уголь.

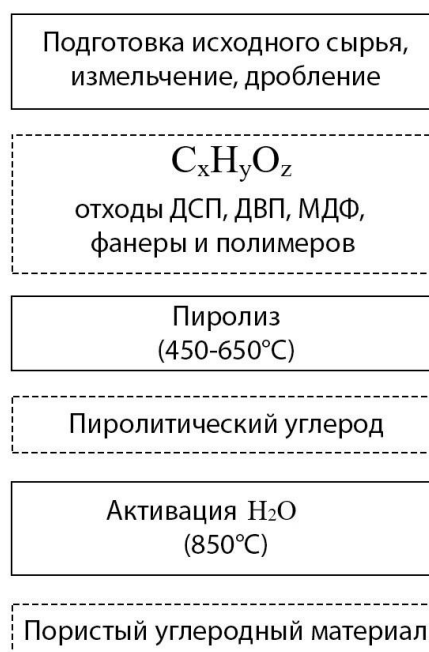


Рисунок 4 - Технология получения активных углей

Технология получения активных углей включает в себя ряд операций: предварительное измельчение сырья до фракций размером не более 40 мм; сушку сырья до требуемой влажности не более 20%; удаление смолистых веществ термической обработкой в диапазоне температур от 450 до 650°C; обработку угля водяным паром при температуре 850°C для его активирования [23, 38].

Подготовительным этапом производства является предварительное измельчение сырья, которое может осуществляться на имеющемся на предприятии оборудовании в составе линии переработки топливных гранул. Предварительное измельчение крупных фракций размером более 50 см происходит на рубильной машине, представленной на рисунке 5.



Рисунок 5 – Рубильная машина

Оператор рубильной машины производит ручную загрузку сырья со склада хранения вторичного сырья. Перед загрузкой производится визуальный осмотр исходного сырья на предмет наличия металлических предметов и их устранение при наличии. На выходе из машины получается сырье, измельченное до фракции 40 мм.

Далее сырье по транспортной ленте, представленной на рисунке 6, поступает в механизированный бункер накопитель. Габаритные размеры транспортера 6,3 м, рабочая ширина скребка 300 мм, высота 60 мм, мощность

привода 2,2 кВт, максимальная скорость движения цепного полотна 18 м/мин (0,3 м/с). Конструкция представляет собой закрытый короб с тремя секциями: приводную, натяжную и промежуточную. Сырье перемещается при помощи скребков. Скорость перемещения и производительность зависит от угла наклона транспортера.



Рисунок 6 - Транспортер скребковый двухцепной крутонаклонный 6,3м

Механизированный бункер, представленный на рисунке 7, предназначен для приема, накопления, кратковременного хранения сырья, фракцией не более 40 мм, любой влажности, исключая слипание сырья. По своей конструкции бункер представляет цилиндрическую емкость с плоским дном, в центре которого располагается вращающийся побудитель с одной лопастью и приводом мотор-редуктора с частотой вращения 8,3 об/мин. В конструкции предусмотрены два смотровых окна и небольшая дверца для инспекции и прочистки. Выходной патрубком смещен относительно центра. По этому патрубку сырье далее поступает во второй транспортер, изображенный на рисунке 3. Механизированный бункер создает постоянный небольшой подпор сырья в приемном окне транспортера.

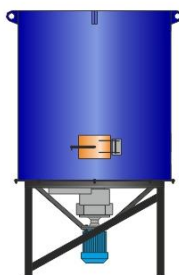


Рисунок 7 – Механизированный загрузочный бункер объемом 2,3м³

Далее сырье поступает на основную производственную линию, представленную установкой для получения древесного активного угля в соответствии с патентом 73871 [14]. Принципиальная схема установки для получения древесного активного угля изображена на рисунке 8.

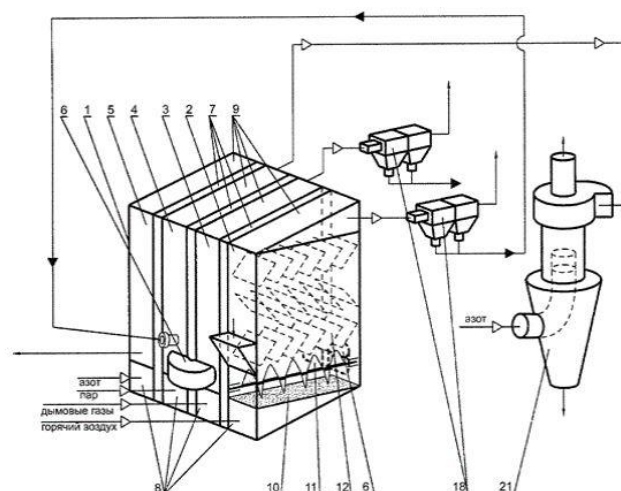


Рисунок 8 - Принципиальная схема установки для получения древесного активного угля

Все камеры в установке 1 разделены между собой теплоизоляционными газонепроницаемыми перегородками 7. Для равномерной подачи теплоносителя днища 8 и крышки 9 камер 2-5 выполнены под углом 55-65°. Для создания организованного псевдооживленного слоя крупных частиц в нижней части всех камер 2-5 размещены газораспределительные решетки 10 и шнеки 11, по которым перемещаются крупные частицы и дробятся газовые пузыри. Вставки-активаторы в виде металлических пластин 12 размещены между внутренними боковыми стенками камер 2 - 4, с целью увеличения времени пребывания в этих камерах мелких и средних частиц.

На первом этапе предварительно измельченное сырье поступает на сушку через окно загрузки в камеру 2. Размеры частиц измельченной массы должны соответствовать размерам, указанным в таблице 24 [23].

Таблица 24 - Оптимальные размеры частиц древесного сырья

Фракции частиц	Размер, мм
Крупные частицы	25-40
Средние частицы	1-5
Мелкие частицы	0,3-1

В зоне шнека 11 над газораспределительной решеткой 10 происходит сушка крупных и средних частиц практически в изотермических условиях, где частицы, обдуваемые потоками горячего воздуха, образуют пузырьковый псевдооживленный слой. Подача сушильного агента с температурой 105-150°C осуществляется через газоход теплообменника из теплогенератора, изображенного на рисунке 9, мощностью не менее 1МВт. Этот теплогенератор входит в комплект существующей линии по производству топливных гранул и обеспечивает ее сушильным агентом.

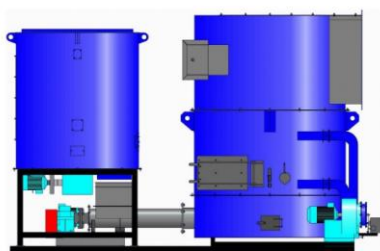
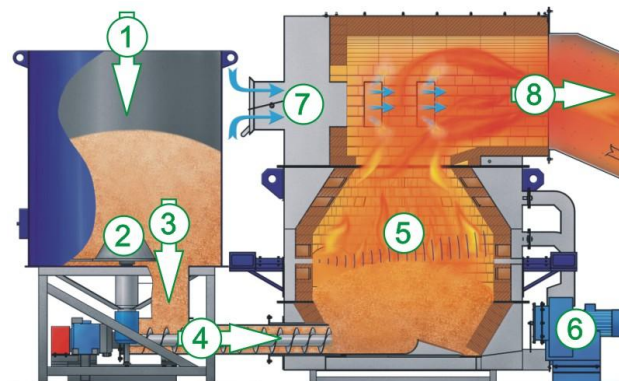


Рисунок 9 – Теплогенератор мощностью 1,5 МВт

Для работы теплогенератора требуется топливо в виде щепы, опилок, стружки естественной влажности. На выходе из теплогенератора получается сушильный агент с температурой от 150 до 700°C, давлением от 50 до 150 Па, в количестве от 3 000 м³/ч до 13 000 м³/ч, и регулируется в зависимости от потребностей производственной линии [5]. Внутреннее устройство и принцип работы теплогенератора изображены на рисунке 10.

Теплогенератор состоит из: топки и устройства смешения, которые футерованы огнеупорным кирпичом; шнековой топливоподачи, системы

воздушного дутья и оперативного механизированного бункера, которые выполнены из жаростойкой стали. В комплектацию входит блок управления с комплектом датчиков для автоматизации процессов.



1 - топливо подается в бункер; 2 - в бункере вращается мешалка, которая не дает топливу зависать; 3 - из бункера топливо подается на вход шнекового механизма подачи; 4 - шнековый механизм подачи подает топливо в топку, и мешалка и механизм подачи включаются по сигналу датчика уровня топлива в топке; 5 - в топке происходит горение топлива, температура образующихся газов 1000 - 1200°C; 6 - вентилятор подает воздух необходимый для горения топлива; 7 - через окно с шибером подается воздух, который разбавляет топочные газы до нужной температуры в 150 - 900 °С; 8 - сушильный агент с заданной температурой подается в сушильный агрегат

Рисунок 10 – Внутреннее устройство теплогенератора

В процессе сушки исходное древесное сырье продвигается по пневмотранспорту, где мелкие и средние частицы высушиваются до влажности 13-20% поступающим в камеру 2 горячим воздухом. Непрерывно движущийся шнек 11, обеспечивает неразрушающую транспортировку частиц, сохраняет пузырьковое псевдооживление. Движущийся шнек продвигает сырье к переходному трубопроводу 6, который выполнен в виде U-образных труб с внутренней спиралью. Такая форма труб позволяет материалу равномерно передвигаться из камеры в камеру. По переходному трубопроводу сырье поступает на следующий этап обработки сырья - в камеру карбонизации 3. Отработанный сушильный агент проходит через фильтр 18, где мелкие и средние частицы отделяются от воздуха и далее также поступают в камеру карбонизации 3.

На следующем этапе карбонизации (пиролиза) в камеру 3 через теплообменник вентилятором нагнетаются топочные газы с температурой 450 - 650°C. На этом этапе исходное сырье в камере карбонизации 3 превращается в уголь в процессе движения по шнеку 11, за счет образования пузырькового псевдооживленного слоя из крупных и средних частиц древесины над и под поверхностью шнека. Вместе с топочными газами из камеры карбонизации через фильтр 18 мелкие и средние частицы, карбонизировавшиеся в режиме пневмотранспорта, подаются на следующий этап - в камеру активации 4. Часть потока топочных газов поступает в камеру активации 4 через фильтр 18. Крупные частицы угля из камеры карбонизации 3 транспортируются шнеком 11 и через переходный трубопровод 6 поступают в камеру активации 4.

На этапе активации в камере 4 крупные и средние частицы древесного угля образуют псевдооживленный слой за счет подачи водяного пара, топочных газов и газов после карбонизации. Водяной пар и газы нагнетаются вентилятором в камеру 4 через пароперегреватель низкого давления, оборудованный экономайзером. Активация проходит при температуре 850°C в псевдооживленном слое для крупных и средних частиц, для остальных - в режиме пневмотранспорта. Мелкие частицы уносятся с потоком газов из камеры активации 4 поступают на следующий заключительный этап в аппарат со встречными закрученными потоками 21 (АВЗП), где отделяются и охлаждаются.

На заключительном этапе в аппарате 21 охлаждение происходит за счет подачи воздуходувкой азота. Газ, очищенный от мелких частиц, и азот частично подаются в камеру охлаждения 5, куда поступают по переходному трубопроводу 6 крупные и средние частицы горячего активированного древесного угля, где они охлаждаются этим потоком в псевдооживленном режиме до температуры 45 - 60°C.

Далее охлажденный активный уголь поступает в накопительный бункер объемом 4 м³, изображенный на рисунке 11, для временного хранения и последующей подачи с регулируемой скоростью выгрузки на упаковку.



Рисунок 11 – Бункер накопительный объемом 4 м³

Основной этап переработки сырья представлен процессом термической деструкции (пиролиза). Скорость и температура пиролиза напрямую влияют на выход конечных продуктов. В зависимости от температуры пиролиз подразделяется на: низкотемпературный (450-550°С), среднетемпературный (~800°С) и высокотемпературный (>900°С). По скорости различают пиролиз: медленный (до 60°С/мин), промежуточный (от 1 до 10°С/с), быстрый (от 10 до 200°С/с) и мгновенный (свыше 1000°С/с). Зависимость выхода продуктов от скорости и температуры протекания процесса пиролиза представлена на рисунке 12.

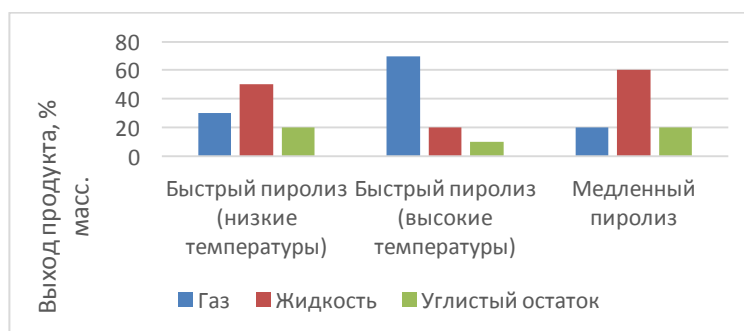


Рисунок 12 - Зависимость выхода продуктов от скорости и температуры протекания процесса пиролиза

Для каждого способа организации пиролиза древесного сырья характерно преобладание выхода одного из продуктов.

С точки зрения ресурсосбережения медленный, а также высокотемпературный способы пиролиза являются высокоэнергетическими. С учетом технических возможностей оборудования предприятия, а также объемом выхода конечных продуктов оптимальным в рамках данного исследования установлен быстрый пиролиз при низких температурах. Как видно из рисунка 12, конечными продуктами такого пиролиза являются 30% газа, 50% жидкой фракции, и 20% древесного угля.

Внутреннее взаиморасположение основных компонентов древесного сырья представлено на рисунке 13. В зависимости от породы дерева состав компонентов различается и отражен в таблице 25.

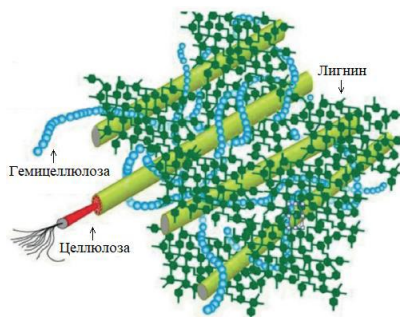


Рисунок 13 - Структура основных компонентов древесного сырья

Таблица 25 - Состав древесины хвойных и лиственных пород

Химическое вещество	Содержание, % мас.	
	Хвойные породы	Лиственные породы
Целлюлоза	40-50	40-50
Гемцеллюлоза	20-25	25-30
Лигнин	28-30	18-26

Составление материального баланса по элементному составу древесной массы представляется сложным ввиду не до конца изученного процесса

разложения основных составляющих древесного сырья: целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина.

– Процесс пиролиза древесной массы представлен следующими стадиями:

– До 150-160°C – десорбция физически адсорбированной воды и медленное разложение компонентов (химический состав сырья практически не изменяется, выходом летучих веществ пренебрегают);

– До 270-280°C – частичная дегидратация наименее устойчивых компонентов древесины: ксилана, гемицеллюлозы и целлюлозы, сопровождающееся выделением CO и CO₂, пирогенетической воды, уксусной кислоты;

– До 400-450°C – деполимеризация структур макромолекул и расщепление связей C-O и C-C с нарушением целостности структур полимеров, сопровождающаяся выделением большого количества тепла и образованием основной части летучих продуктов, а также углеродистого остатка;

– Свыше 450°C – прокалка углеродистого остатка с выделением небольшого количества жидких и газообразных продуктов, что связано с окончанием разложения лигнина и вторичными реакциями взаимодействия между продуктами.

Конечная температура нагрева сырья определяется температурой завершающего этапа распада наиболее термически устойчивого соединения, входящего в состав сырья, то есть лигнина, которая составляет 450 – 480 °C. Однако, для исключения потерь продуктов распада и их полной десорбции с поверхности углистого остатка процесс необходимо проводить до более высокой конечной температуры, порядка 520 – 550 °C. Величина теплоты разложения, выделяемой в ходе пиролиза древесины, равна приблизительно 1,2 МДж/кг.

Конечными продуктами пиролиза древесной массы являются всего более 100 химических продуктов. Получаемый неконденсирующийся газ

содержит в себе диоксид углерода CO_2 (примерно 45-55%) оксид углерода CO (28-32%), водород H_2 (1-2%) метан CH_4 (8-21%) другие углеводороды (1,5-3,0%). Смесь газов может сжигаться в обычных топочных устройствах и выступать в качестве источника энергии для обеспечения собственных нужд процесса или отопления помещений.

Жидкий дистиллят на разных стадиях при разных температурах может содержать воду, уксусную кислоту и ее гомологи, метиловый спирт, метилацетат, этилацетат и другие сложные эфиры, ацетон и другие кетоны, смолу, состоящую из многих органических соединений, преимущественно фенолов. Состав угля практически не зависит от породы древесины.

Помимо древесной массы плитная продукция поступающая на переработку в качестве сырья включает связующие вещества, представленные в основном фенолформальдегидной (ФФС) и карбамидоформальдегидной (КФС) смолами. Также сырье содержит отделочный материал в виде облицовочной пленки и кромочного материала из различных полимеров. Их количественное содержание в составе плит зависит от вида плиты и представлено в таблице 26.

Таблица 26 - Компонентный состав плит по видам

Состав плиты	Соотношение состава по видам плит, %			
	ДСП	МДФ	Фанера	ДВП
Древесина	89	91,5	97	91,5
Связующее всего:	10	7,5	3	7,5
КФС от общего объема связующего	65	-	30	-
ФФС от общего объема связующего	35	100	70	100
Пленочный и кромочный материал	1	1	-	1

Фенолформальдегидная и карбамидоформальдегидная смолы относятся к терморезистивным смолам. В процессе пиролиза они разлагаются, образуя углеродистый остаток в размере 55% и газы 45%.

Фенолформальдегидная смола, представляет собой продукт поликонденсации фенола с формальдегидом, ее термодеструкция находится в области температур $230 < T < 1100$. ФФС разлагается на 55% углеродистого остатка, 26% H_2 , 6% CO , 6% H_2O и 7% прочие газы.

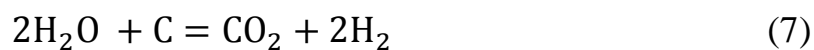
Карбамидоформальдегидная смола представляет собой продукт поликонденсации карбамида с формальдегидом, ее термодеструкция находится в области температур $30 < T < 810$. КФС разлагается на 55% углеродистого остатка, 35% H_2O , 9% H_2 , 1% прочие газы.

Облицовочные материалы представлены в основном четырьмя видами пластиков: поливинилхлоридом (ПВХ), акрилонитрил-бутадиен-стиролом (АБС), полиэтилентерефталатом ПЭТ, полипропиленом ПП. Но поскольку процент содержания в исходной массе сырья не превышает 1 процента, что в пересчете на килограммы в сутки составляет всего 500 грамм. Соответственно данными по выходу продуктов пиролиза пластиков можно пренебречь.

Активация углеродного остатка является ключевым процессом переработки древесного сырья плитной продукции. Целевым продуктом в исследуемом процессе является активированный уголь. В предложенной установке используется процесс парогазовой активации карбонизированного сырья, в качестве активирующего агента применяется перегретый водяной пар с температурой 800-1000. Выбор в пользу водяного пара в качестве активирующего агента обоснован тем, что позволяет получить чистый пористый продукт с высокой удельной поверхностью, при этом отсутствуют вредные стоки и выбросы в атмосферу, сам активирующий агент доступен и дешев в использовании.

При взаимодействии углерода с водяным паром одновременно протекают следующие реакции (6, 7, 8):





Протекающие реакции эндотермические, поэтому требуют подвода тепла. Технология кипящего слоя в установке позволяет поддерживать постоянное движение частиц угля и осуществлять теплообмен между частицами продукта и активирующим газом.

Таблица 27 - Параметры процесса активации

Факторы активации			Выходные параметры		
Температура, °С	Расход пара, кг/кг ДУ	Продолжительность, ч	Выход от ДУ, %	Суммарный объем пор, см ³ /г	Сорбционная активность по йоду, %
850	2	2	60	3,4	78

Указанные в таблице 30 параметры процесса активации были определены с учетом следующих факторов: продолжительность процесса активации должна быть не менее 1,5 ч для раскрытия первичной пористости древесного угля; удельный расход пара должен быть не более 2кг/кг ДУ, с учетом целесообразности с точки зрения экономических показателей; при температуре 750°С активация практически не происходит и до 800°С протекает с недостаточной скоростью, в то же время значительное повышение температуры более 900°С значительно увеличивает потери тепла.

Выход продуктов при соблюдении указанных условий активации составляет: 60% активного угля, 26% конденсата H₂O и 14% неконденсирующихся газов. Состав газов представлен 37% CO₂, по 24% CO и C₂H₄, 14% CH₄, 3% H₂.

Конечный продукт - активированный уголь используется в разных областях промышленности. В рамках данного исследования планируется

выпускать дробленый активный уголь марок ДАК для очистки парового конденсата от масла и других примесей; и БАУ-МФ для адсорбции из водных сред в фильтровальных установках. Это обусловлено требованиями ГОСТ в отношении размера фракции продукта, а поскольку древесные плиты ДСП в основном представлены древесной стружкой размерами 40мм, то и выход конечного продукта не будет превышать указанный показатель. Физико-химические показатели активных углей указаны в таблице 31 в соответствии с ГОСТ 6217-74.

Таблица 28 - Физико-химические показатели активных углей

Наименование показателя	Норма для марки	
	ДАК	БАУ-МФ
Внешний вид	Зерна черного цвета без механических включений	
Адсорбционная активность по йоду, %, не менее	30	70
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г, не менее	1,4	Не нормируется
Насыпная плотность, г/дм ³ , не более	Не нормируется	
Фракционный состав, массовая доля остатка на сите с полотном:		
N 36, %, не более	2,5	-
N 10, %, не менее	95,5	-
на поддоне, %, не более	2,0	-
N 15, %, не более	-	25
N 5, %, не менее	-	70
на поддоне, %, не более	-	5
Массовая доля золы, %, не более	6	10
Массовая доля влаги, % не более	10	10
Прочность, %, не менее	-	-

Проверку на соответствие стандартам ГОСТ необходимо провести после получения первого опытного образца, и при необходимости внести корректировки в технологический процесс производства.

3 Разработка технологической схемы совершенствования производства на базе существующего производственного цикла

3.1 Материальный баланс установки для получения древесного угля

Основной задачей настоящей работы является расчет материального баланса для установки по переработке отходов в виде древесной массы из плит ДСП, ДВП, МДФ, фанеры, образующихся в течение года на предприятии по производству мебели, на котором проходила научно-исследовательская производственная практика. Расчет образования отходов на мебельном предприятии произведен в научно-исследовательской работе в соответствии с методикой, разработанной инженерно-техническим центром «Компьютерный Экологический Сервис». Результаты расчета сведены в таблицу 29, и используются в качестве исходных данных для расчета материального баланса.

Таблица 29 - Объем образования отходов

Наименование материала	Объем образования отходов в год, м ³
ДСП	18640
ДВП	11670
МДФ	14320
Фанера	13240
Итого	57870

Как видно из данных таблицы 5, общий объем образования отходов в год составляет 57870 кг. Чтобы переработать этот объем сырья за год, определим, какое количество сырья требуется перерабатывать в день по формуле (9):

$$G_{\text{день}} = \frac{m_{\text{год}}}{\text{Рабочих дней}} = 263 \text{ кг/день} \quad (9)$$

где $m_{\text{год}}$ - объем сырья для переработки в год, кг.

Рабочие дни рассчитаем по формуле (10):

$$\text{Рабочие дни} = 243 - \text{Ремонтные дни} = 220 \text{ дней} \quad (10)$$

где 243 - среднее число рабочих дней в году;

ремонтные дни - запланируем ремонтные и профилактические работы в количестве 23 дней, когда оборудование не будет функционировать.

Тогда подставив значения в формулу (10) получим 220 рабочих дней [29].

Рабочий день на предприятии составляет $t = 8$ часов, тогда найдем среднечасовой расход сырья установки, кг/час, по формуле (11):

$$G_{\text{ср.ч.}} = \frac{G_{\text{день}}}{t} = \frac{263}{8} = 32,9 \quad (11)$$

Первым этапом в производственном процессе является сушка сырья до влажности 15%.

Определим потери влаги $W_{\text{конд.сушки}}$ от общей массы сырья в процессе сушки, кг/час, по формуле (12):

$$W_{\text{конд.сушки}} = G_1 - G_2, \quad (12)$$

где G_1 - количество исходного влажного материала, поступающего на сушку, кг/ч;

G_2 - количество высушенного материала, кг/ч.

Запишем по абсолютно сухому веществу соотношение (13):

$$G_1 \frac{100-u_0}{100} = G_2 \frac{100-u_k}{100} \quad (13)$$

где u_0, u_k - начальная и конечная влажности материала, %.

Исходная влажность сырья составляет 22%. Для эффективного протекания процесса пиролиза требуется высушить сырье до влажности 15%.

Определим количество высушенного материала по соотношению (13):

$$G_2 = \frac{G_1 \frac{100-u_0}{100}}{\frac{100-u_k}{100}} = \frac{32,9 \frac{100-22}{100}}{\frac{100-15}{100}} = 30,2 \text{ кг/ч}$$

Определим потери влаги, подставив полученные значения в формулу (12):

$$W_{\text{конд. сушки}} = 32,9 - 30,2 = 2,7 \text{ кг/час}$$

Запишем полученные данные в таблицу 30 материального баланса процесса сушки.

Таблица 30 - Материальный баланс процесса сушки

Приход			Расход		
Сырье	кг/ч	% масс	Продукт	кг/ч	% масс
Исходное сырье влажностью 22%	32,9	100	Сырье влажностью 15%	30,2	91,8
-	-	-	Конденсат H ₂ O	2,7	8,2
Итого:	32,9	100		32,9	100

Определим выход древесного угля, а также второстепенных продуктов - жидкого дистиллята (жизки) и неконденсирующихся газов в процессе быстрого пиролиза при температуре 650°C.

Поскольку процесс пиролиза представляет собой сложный и не до конца изученный процесс, представим исходное сырье и продукты реакции в общем виде. Для определения состава воспользуемся данными долей

образования продуктов из рисунка 2 для быстрого пиролиза при низких температурах. Тогда материальный баланс в общем виде будет выглядеть как уравнение (14):

Исходное сырье = Парогазовая смесь + Углеродный остаток (14)
где парогазовая смесь выглядит как соотношение 30% неконденсируемых газов и 50% жидкого дистиллята (жизки) от общего количества исходного сырья;
углеродный остаток - 20% от общего количества исходного сырья.

Рассчитаем образование продуктов реакции в процессе пиролиза. Проведем расчет пиролиза исходного сырья по компонентам исходной массы, из которых 92% - это древесина, 7% связующие смолы ФФС и КФС, 1% отделочные пластики и лакокрасочные материалы, на основании данных таблицы 2.

Определим массу древесины в составе исходного сырья по формуле (15):

$$m_{\text{древес.}} = \frac{m_{\text{исх.сырья}} \times \omega_{\text{древ.}}}{100\%} = \frac{30,2 \times 92\%}{100\%} = 27,8 \text{ кг/ч} \quad (15)$$

где $m_{\text{исх. сырья}}$ - количество исходного сырья, поступающего в камеру пиролиза, кг/ч;

$\omega_{\text{древ.}}$ - доля древесины в составе исходного сырья, которая составляет 92% от массы исходного сырья, по данным таблицы 2, %.

Определим массу связующих смол в составе исходного сырья по формуле (15):

$$m_{\text{смол}} = \frac{m_{\text{исх.сырья}} \times \omega_{\text{смол}}}{100\%} = \frac{30,2 \times 7\%}{100\%} = 2,1 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{смола}}$ - доля связующих смол в составе исходного сырья, которая составляет 7% от массы исходного сырья, по данным таблицы 2, %.

Определим массу отделочных пластиков и лакокрасочных материалов в составе исходного сырья по формуле (15):

$$m_{\text{отд}} = \frac{m_{\text{исх.сырья}} \times \omega_{\text{отд}}}{100\%} = \frac{30,2 \times 1\%}{100\%} = 0,3 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{отд}}$ - доля отделочных пластиков и лакокрасочных материалов в составе исходного сырья, которая составляет 1% от массы исходного сырья, по данным таблицы 2, %.

По данным рисунка 2 видно, что доли образования продуктов быстрого пиролиза древесины при низких температурах составляют: 20% углеродного остатка, 30% газа, 50% жидкого дисстилята.

Определим массу образования углеродного остатка по древесине по формуле (15):

$$m_{\text{угл.ост.}} = \frac{m_{\text{древес.}} \times \omega_{\text{угл.ост.}}}{100\%} = \frac{27,8 \times 20\%}{100\%} = 5,6 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{смола}}$ - доля образования углеродного остатка составляет 20% от массы древесины в составе исходного сырья, %.

Определим массу образования газа по древесине по формуле (15):

$$m_{\text{газ}} = \frac{m_{\text{древес.}} \times \omega_{\text{газ}}}{100\%} = \frac{27,8 \times 30\%}{100\%} = 8,3 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{газ}}$ - доля образования газа составляет 30% от массы древесины в составе исходного сырья, %.

Определим массу образования жидкого дисстиллята (жижки) по древесине по формуле (8):

$$m_{\text{жидк.}} = \frac{m_{\text{древес.}} \times \omega_{\text{жидк.}}}{100\%} = \frac{27,8 \times 50\%}{100\%} = 13,9 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{жидк.}}$ - доля образования газа составляет 50% от массы древесины в составе исходного сырья, %.

Поскольку жидкий дисстиллят и газ выделяются в процессе пиролиза в виде парогазовой смеси, рассчитаем ее массу по формуле (16):

$$m_{\text{парогаз}} = m_{\text{газ}} + m_{\text{жидк.}} = 8,3 + 13,9 = 22,2 \text{ кг/ч} \quad (16)$$

Доля образования парогазовой смеси по древесине определяется по формуле (17):

$$\omega_{\text{парогаз}} = \omega_{\text{газ}} + \omega_{\text{жидк.}} = 30 + 50 = 80 \% \quad (17)$$

Получаемый неконденсирующийся газ представляет собой смесь газов в составе: диоксид углерода CO_2 - 45%; оксид углерода CO 30%; водород H_2 2%; метан CH_4 20%; другие углеводороды 3%.

Расчитаем массу образования CO_2 по древесине в составе газовой смеси по формуле (15):

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{газ}} \times \omega_{\text{CO}_2}}{100\%} = \frac{8,3 \times 45\%}{100\%} = 3,7 \text{ кг/ч}$$

где ω_{CO_2} - доля образования CO_2 составляет 45% от массы смеси газов по древесине, %.

Расчитаем массу образования CO по древесине в составе газовой смеси по формуле (15):

$$m_{\text{CO}} = \frac{m_{\text{газ}} \times \omega_{\text{CO}}}{100\%} = \frac{8,3 \times 30\%}{100\%} = 2,5 \text{ кг/ч}$$

где ω_{CO} - доля образования CO составляет 30% от массы смеси газов по древесине, %.

Расчитаем массу образования H_2 по древесине в составе газовой смеси по формуле (15):

$$m_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{газ}} \times \omega_{\text{H}_2}}{100\%} = \frac{8,3 \times 2\%}{100\%} = 0,2 \text{ кг/ч}$$

где ω_{H_2} - доля образования H_2 составляет 2% от массы смеси газов по древесине, %.

Расчитаем массу образования CH_4 по древесине в составе газовой смеси по формуле (15):

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{газ}} \times \omega_{\text{CH}_4}}{100\%} = \frac{8,3 \times 20\%}{100\%} = 1,7 \text{ кг/ч}$$

где ω_{CH_4} - доля образования CH_4 составляет 20% от массы смеси газов по древесине, %.

Расчитаем массу образования других газов по древесине в составе газовой смеси по формуле (15):

$$m_{\text{др газ}} = \frac{m_{\text{газ}} \times \omega_{\text{др.газ}}}{100\%} = \frac{8,3 \times 3\%}{100\%} = 0,3 \text{ кг/ч}$$

где ω_{CH_4} - доля образования CH_4 составляет 20% от массы смеси газов по древесине, %.

В состав исходного сырья помимо древесины входят связующие смолы, доля которых в исходном сырье составляет 7%, на основании данных таблицы 2. Состав смол представлен двумя смолами: карбамидо-формальдегидной (КФС) и фенолформальдегидной (ФФС).

Определим массу КФС в составе смол по формуле (15):

$$m_{\text{КФС}} = \frac{m_{\text{смола}} \times \omega_{\text{КФС}}}{100\%} = \frac{2,1 \times 24\%}{100\%} = 0,5 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{КФС}}$ - доля образования КФС составляет 24% от общей массы смолы в составе исходного сырья, по данным таблицы 2, %.

Определим массу ФФС в составе смол по формуле (15):

$$m_{\text{ФФС}} = \frac{m_{\text{смола}} \times \omega_{\text{ФФС}}}{100\%} = \frac{2,1 \times 76\%}{100\%} = 1,6 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{ФФС}}$ - доля образования ФФС составляет 76% от общей массы смолы в составе исходного сырья, по данным таблицы 2, %.

В процессе пиролиза смолы разлагаются, образуя углеродный остаток и парогазовую смесь в количестве 55% и 45% соответственно.

Определим массу углеродного остатка в составе КФС по формуле (15):

$$m_{\text{угл.ост.КФС}} = \frac{m_{\text{КФС}} \times \omega_{\text{угл.ост.КФС}}}{100\%} = \frac{0,5 \times 55\%}{100\%} = 0,3 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{угл.ост.КФС}}$ - доля образования углеродного остатка составляет 55% от массы КФС, %.

Определим массу парогазовой смеси в составе КФС по формуле (15):

$$m_{\text{парогаз КФС}} = \frac{m_{\text{КФС}} \times \omega_{\text{парогаз КФС}}}{100\%} = \frac{0,5 \times 45\%}{100\%} = 0,2 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{парогаз КФС}}$ - доля образования парогазовой смеси составляет 45% от массы КФС, %.

Состав парогазовой смеси КФС представлен в количестве 10% неконденсирующейся смеси разных газов и жидким дистиллятом в количестве 90%. Жидкий дисстиллят состоит из 80% H_2O и 20% HCN .

Определим массу неконденсирующихся газов в составе парогазовой смеси КФС по формуле (15):

$$m_{\text{газ КФС}} = \frac{m_{\text{парогаз КФС}} \times \omega_{\text{газ КФС}}}{100\%} = \frac{0,2 \times 10\%}{100\%} = 0,02 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{газ КФС}}$ - доля образования неконденсирующегося газа КФС составляет 10% от общей массы парогазовой смеси, %.

Определим массу жидкого дистиллята в составе парогазовой смеси КФС по формуле (15):

$$m_{\text{жидк.КФС}} = \frac{m_{\text{парогаз КФС}} \times \omega_{\text{жидк.КФС}}}{100\%} = \frac{0,2 \times 90\%}{100\%} = 0,18 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{жидк.КФС}}$ - доля образования жидкого дистиллята КФС составляет 90% от общей массы парогазовой смеси, %.

Определим массу H_2O в составе жидкого дистиллята КФС по формуле (15):

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{жидк.КФС}} \times \omega_{\text{H}_2\text{O}}}{100\%} = \frac{0,18 \times 80\%}{100\%} = 0,14 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{H}_2\text{O}}$ - доля образования H_2O составляет 80% от общей массы жидкого дисстиллята КФС, %.

Определим массу HCN в составе жидкого дистиллята КФС по формуле (15):

$$m_{\text{HCN}} = \frac{m_{\text{жидк.КФС}} \times \omega_{\text{HCN}}}{100\%} = \frac{0,18 \times 20\%}{100\%} = 0,04 \text{ кг/ч}$$

где ω_{HCN} - доля образования HCN составляет 20% от общей массы жидкого дисстиллята КФС, %.

Определим массу углеродного остатка в составе ФФС по формуле (15):

$$m_{\text{угл.ост.ФФС}} = \frac{m_{\text{ФФС}} \times \omega_{\text{угл.ост.ФФС}}}{100\%} = \frac{1,6 \times 55\%}{100\%} = 0,88 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{угл.ост.ФФС}}$ - доля образования углеродного остатка составляет 55% от массы ФФС, %.

Определим массу парогазовой смеси в составе ФФС по формуле (15):

$$m_{\text{парогаз ФФС}} = \frac{m_{\text{ФФС}} \times \omega_{\text{парогаз ФФС}}}{100\%} = \frac{1,6 \times 45\%}{100\%} = 0,72 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{парогаз ФФС}}$ - доля образования парогазовой смеси составляет 45% от массы ФФС, %.

Состав парогазовой смеси ФФС представлен в количестве 75% неконденсирующейся смеси разных газов и жидким дистиллятом в количестве 25%. Жидкий дисстиллят состоит из H_2O . Неконденсируемый газ состоит из 67% H_2 и 33% CO .

Определим массу неконденсирующихся газов в составе парогазовой смеси ФФС по формуле (15):

$$m_{\text{газ ФФС}} = \frac{m_{\text{парогаз ФФС}} \times \omega_{\text{газ ФФС}}}{100\%} = \frac{0,72 \times 75\%}{100\%} = 0,54 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{газ ФФС}}$ - доля образования неконденсирующегося газа ФФС составляет 75% от общей массы парогазовой смеси, %.

Определим массу жидкого дистиллята в составе парогазовой смеси ФФС по формуле (15):

$$m_{\text{жидк.ФФС}} = \frac{m_{\text{парогаз ФФС}} \times \omega_{\text{жидк.ФФС}}}{100\%} = \frac{0,72 \times 25\%}{100\%} = 0,18 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{жидк.ФФС}}$ - доля образования жидкого дистиллята ФФС составляет 25% от общей массы парогазовой смеси, %.

Определим массу H_2O в составе неконденсирующегося газа ФФС по формуле (15):

$$m_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{газ ФФС}} \times \omega_{\text{H}_2}}{100\%} = \frac{0,54 \times 67\%}{100\%} = 0,36 \text{ кг/ч}$$

где ω_{H_2} - доля образования H_2 составляет 67% от общей массы неконденсирующегося газа ФФС, %.

Определим массу CO в составе неконденсирующегося газа ФФС по формуле (15):

$$m_{\text{CO}} = \frac{m_{\text{газ ФФС}} \times \omega_{\text{CO}}}{100\%} = \frac{0,54 \times 33\%}{100\%} = 0,18 \text{ кг/ч}$$

где ω_{CO} - доля образования CO составляет 33% от общей массы неконденсирующегося газа ФФС, %.

Отделочные материалы включают в себя облицовочные пленки и кромочный материал из пластиков ПВХ, ПП, ABS, ПЭТФ, покрытия лакокрасочными материалами в основном на акриловой основе, а также фрагменты влагостойких плит ДСП и МДФ, в состав которых входят гидрофобные эмульсии. Выход продуктов распада отделочных материалов, зависит от количества каждого компонента отделки в составе исходного сырья. Определить или предугадать точный состав компонентов не представляется возможным. Поэтому в данной работе масса отделочных материалов списана в качестве потерь производственного процесса, поскольку количество отделочных материалов в общей массе составляет 1%, что не превышает допустимого предела потерь в 15%. Составим материальный баланс процесса пиролиза в таблице 31.

Таблица 31 - Материальный баланс процесса пиролиза

Приход			Расход		
Компонент	кг/ч	% мас	Продукт	кг/ч	% мас
Древесина в составе:	27,8	92	Древесина в составе:	27,8	92
Целлюлоза [C ₆ H ₁₀ O ₅] _n	-	-	Углеродный остаток	5,6	20
Гемицеллюлозы: [C ₅ H ₈ O ₄] _n [C ₆ H ₁₀ O ₅] _n	-	-	Парогазовая смесь в составе:	22,2	80
Лигнин [C ₃₁ H ₃₄ O ₁₁] _n	-	-	Неконденсирующийся газ в составе:	8,3	38
Связующие смолы в составе:	2,1	7	CO ₂	3,7	45
Карбаминоформальдегидная смола (КФС) [(O)CNHCH ₂ NH] _n	0,5	24	CO	2,5	30
Фенолформальдегидная смола (ФФС) [C ₁₄ H ₁₂ O ₂] _n	1,6	76	CH ₄	1,7	20
Отделочные материалы в составе:	0,3	1	H ₂	0,2	2
Поливинилхлорид ПВХ (C ₂ H ₃ Cl) _n	-	-	Другие газы	0,3	3
Полиэтилентерефталат ПЭТФ (C ₁₀ H ₈ O ₄) _n	-	-	Жидкий дисстилят (жижка)	13,9	62
-	-	-	-	-	-
Акрилонитрил-бутадиен-стирол ABS (C ₈ H ₈ · C ₄ H ₆ · C ₃ H ₃ N) _n	-	-	Связующие смолы в составе:	2,1	7
Полипропилен ПП (C ₃ H ₆) _n	-	-	КФС в составе:	0,5	24
Полиакрилаты в составе красок (-CH ₂ -CR'(COOR)-) _n R' = H — акрилаты, R' = CH ₃ — метакрилаты, R' = CN — цианакрилаты	-	-	Углеродный остаток	0,3	55
Полиэфирные смолы в составе клеев отделочных пленок [OROC(O)R'C(O)] _n R – органич. радикал, R' – остаток орг и неор.кислоты	-	-	Парогазовая смесь в составе:	0,2	45
			Неконденсирующийся газ	0,02	10
			Жидкий дисстилят в составе:	0,18	90
Гидрофобные эмульсии в составе: Парафины от C ₁₈ H ₃₈	-	-	H ₂ O	0,14	80
Олеиновая кислота C ₁₈ H ₃₄ O ₂	-	-	HCN	0,04	20
Триэтаноламин (HO-CH ₂ CH ₂) ₃ N	-	-	ФФС в составе:	1,6	76
Стеарин C ₅₇ H ₁₁₀ O ₆	-	-	Углеродный остаток	0,88	55
Компоненты акриловых красок: Фталиевый ангидрид C ₈ H ₄ O ₃	-	-	Парогазовая смесь в составе:	0,72	45
Ксилол C ₈ H ₁₀	-	-	Неконденсирующийся газ в составе:	0,54	75
Стирол C ₈ H ₈	-	-	H ₂	0,36	67
Метилметакрилат C ₅ H ₈ O ₂	-	-	CO	0,18	33
-	-	-	Жидкий дисстилят H ₂ O	0,18	25
Итого по исходному сырью:	30,2	100	Итого по исходному сырью:	29,9	100

Рассчитаем образование продуктов реакции в процессе активации древесного угля.

На основании данных таблицы 3, для активации древесного угля водяным паром при температуре 850°C на каждый кг исходного сырья требуется 2 кг водяного пара, конверсия составляет 60% выхода активного угля из 100% древесного угля.

Определим общую массу образующегося углеродного остатка, кг/ч, по формуле (18):

$$m_{\text{угл.ост.общ.}} = m_{\text{угл.ост. древес.}} + m_{\text{угл.ост.КФС}} + m_{\text{угл.ост.ФФС}}, \quad (18)$$

Где $m_{\text{угл.ост. древес.}}$ - масса углеродного остатка по древесине, кг/ч;

$m_{\text{угл.ост.КФС}}$ - масса углеродного остатка по смоле КФС, кг/ч;

$m_{\text{угл.ост.ФФС}}$ - масса углеродного остатка по смоле ФФС, кг/ч.

Подставим значения в формулу (18):

$$m_{\text{угл.ост.общ.}} = 5,6 + 0,3 + 0,88 = 6,78 \text{ кг/ч}$$

На основании данных таблицы 3 определим массу воды, необходимую для активации древесного угля по формуле (19):

$$m_{\text{воды}} = m_{\text{угл.ост.общ.}} \times 2 = 6,78 \times 2 = 13,56 \text{ кг/ч} \quad (19)$$

Определим массу выхода продукта реакции - активного угля по формуле (15):

$$m_{\text{акт.угля}} = \frac{m_{\text{угл.ост.общ.}} \times \omega_{\text{акт.угля}}}{100\%} = \frac{6,78 \times 60\%}{100\%} = 4,07 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{акт.угля}}$ - доля образования активного угля составляет 60% от общей массы древесного угля, поступающего в камеру активации, %.

В процессе активации помимо 20% активного угля образуется 45% конденсата H_2O и 35% неконденсирующихся газов.

Определим общую массу исходных продуктов поступающих в камеру активации по формуле (17):

$$m_{\text{акт. общ.}} = m_{\text{угл.ост. общ.}} + m_{\text{воды}} = 6,78 + 13,56 = 20,34 \text{ кг/ч}$$

Определим массу образования конденсата H_2O процесса активации по формуле (15):

$$m_{\text{конд.}\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{акт.общ.}} \times \omega_{\text{конд.}\text{H}_2\text{O}}}{100\%} = \frac{20,34 \times 45\%}{100\%} = 9,15 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{конд.}\text{H}_2\text{O}}$ - доля образования конденсата H_2O составляет 45% от общей массы исходных продуктов, поступающих в камеру активации, %.

Определим массу образования неконденсирующихся газов процесса активации по формуле (15):

$$m_{\text{газ акт.}} = \frac{m_{\text{акт.общ.}} \times \omega_{\text{газ акт}}}{100\%} = \frac{20,34 \times 35\%}{100\%} = 7,12 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{газ акт}}$ - доля образования неконденсирующихся газов составляет 35% от общей массы исходных продуктов, поступающих в камеру активации, %.

Состав неконденсирующихся газов процесса активации представлен 37% CO_2 , по 24% CO и C_2H_4 , 12% CH_4 , 3% H_2 .

Определим массу образования CO_2 в процессе активации по формуле (15):

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{газ акт.}} \times \omega_{\text{CO}_2}}{100\%} = \frac{7,12 \times 37\%}{100\%} = 2,63 \text{ кг/ч}$$

где ω_{CO_2} - доля образования CO_2 составляет 37% от общей массы неконденсирующихся газов процесса активации, %.

Определим массу образования CO в процессе активации по формуле (15):

$$m_{\text{CO}} = \frac{m_{\text{газ акт.}} \times \omega_{\text{CO}}}{100\%} = \frac{7,12 \times 24\%}{100\%} = 1,71 \text{ кг/ч}$$

где ω_{CO} - доля образования CO составляет 24% от общей массы неконденсирующихся газов процесса активации, %.

Определим массу образования C_2H_4 в процессе активации по формуле (15):

$$m_{\text{C}_2\text{H}_4} = \frac{m_{\text{газ акт.}} \times \omega_{\text{C}_2\text{H}_4}}{100\%} = \frac{7,12 \times 24\%}{100\%} = 1,71 \text{ кг/ч}$$

где $\omega_{\text{C}_2\text{H}_4}$ - доля образования C_2H_4 составляет 24% от общей массы неконденсирующихся газов процесса активации, %.

Определим массу образования CH_4 в процессе активации по формуле (15):

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{газ акт.}} \times \omega_{\text{CH}_4}}{100\%} = \frac{7,12 \times 12\%}{100\%} = 0,85 \text{ кг/ч}$$

где ω_{CH_4} - доля образования CH_4 составляет 14% от общей массы неконденсирующихся газов процесса активации, %.

Определим массу образования H_2 в процессе активации по формуле (15):

$$m_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{газ акт.}} \times \omega_{\text{H}_2}}{100\%} = \frac{7,12 \times 3\%}{100\%} = 0,21 \text{ кг/ч}$$

где ω_{H_2} - доля образования H_2 составляет 3% от общей массы неконденсирующихся газов процесса активации, %.

На основании произведенных расчетов составим таблицу 32 с данными материального баланса процесса активации. В таблице отразим выход продуктов реакции в кг/ч а также в долях от общего количества образующихся продуктов реакции.

Таблица 32 - Материальный баланс процесса активации

Приход			Расход		
Сырье	кг/ч	% масс	Продукт	кг/ч	% масс
Древесный уголь	6,78	33	Активный уголь	4,07	20
Водяной пар	13,56	67	Конденсат H_2O	9,15	45
-	-	-	Неконденсирующиеся газы в составе:	7,12	35
-	-	-	CO_2	2,63	37
-	-	-	CO	1,71	24
-	-	-	CH_4	0,85	12
-	-	-	C_2H_2	1,71	24
-	-	-	H_2	0,21	3
Итого	20,34	100	Итого	20,34	100

Рассчитаем производительность установки по целевому сырью в день по формуле (20):

$$G_{\text{цел.пр.день}} = m_{\text{акт.угл.}} \times 8 \text{ часов} = 4,07 \times 8 = 32,56 \text{ кг/день} \quad (20)$$

Селективность процесса вычислим по формуле (21):

$$S = \frac{G_{\text{ц}}}{G_{\text{пр}}} = \frac{32,56}{348} = 0,09 \quad (21)$$

где $G_{\text{ц}}$ – количество целевого продукта, кг/день;

$G_{\text{пр}}$ – общее количество продуктов, кг/день.

Определим общую массу воды, расходуемую на установке в день по формуле (22):

$$m_{\text{воды общ.}} = m_{\text{воды}} \times 8 \text{ часов} = 13,56 \times 8 = 108,48 \text{ кг/день} \quad (22)$$

Определим общую массу жидкого дистиллята процесса пиролиза по формуле (17):

$$m_{\text{жидк.общ.}} = 0,18 + 0,18 + 13,9 = 14,26 \text{ кг/ч}$$

Определим производительность установки по второстепенному продукту - жидкому дистилляту процесса пиролиза в день по формуле (23):

$$G_{\text{второс. прод. день}} = m_{\text{жидк.общ.}} \times 8 \text{ часов} = 14,26 \times 8 = 114,08 \text{ кг/день} \quad (23)$$

Определим общую массу неконденсируемых газов по формуле (24):

$$m_{\text{газ.общ.}} = m_{\text{газ}} + m_{\text{газ КФС}} + m_{\text{газ ФФС}} + m_{\text{газ акт.}} \quad (\text{кг/ч}) \quad (24)$$

Подставим значения в формулу (17):

$$m_{\text{газ.общ.}} = 8,3 + 0,02 + 0,54 + 7,12 = 15,98 \text{ кг/ч}$$

Определим массу выхода неконденсирующихся газов в день по формуле (25):

$$m_{\text{газ день}} = m_{\text{газ.общ.}} \times 8 \text{ часов} = 15,98 \times 8 = 127,84 \text{ кг/день} \quad (25)$$

Определим массу выхода конденсата H₂O в процессе сушки в день по формуле (26):

$$m_{\text{конд. сушки день}} = W_{\text{конд. сушки}} \times 8 \text{ часов} = 2,7 \times 8 = 21,6 \text{ кг/день} \quad (26)$$

Определим массу выхода конденсата H₂O в в процессе активации в день по формуле (27):

$$m_{\text{конд. акт. день}} = m_{\text{конд. H}_2\text{O}} \times 8 \text{ часов} = 9,15 \times 8 = 73,2 \text{ кг/день} \quad (27)$$

Определим общую массу выхода конденсата H₂O в день по формуле (28):

$$\begin{aligned} m_{\text{конд. день}} &= m_{\text{конд. сушки день}} + m_{\text{конд. акт. день}} = \\ &= 21,6 + 73,2 = 94,8 \text{ кг/день} \end{aligned} \quad (28)$$

Материальный баланс всего процесса в установке сведем в таблицу 33.

Таблица 33 - Материальный баланс всего процесса

Приход		Расход	
Показатель	кг/день	Показатель	кг/день
Расход исходного сырья	263	Выход целевого продукта - активного угля	32,56
Расход воды	108,48	Выход побочного продукта - жидкого конденсата пиролиза древесины (жизки)	114,08
-	-	Выход конденсата H ₂ O	94,8
-	-	Выход неконденсируемых газов	127,84
Итого	371,48	Итого	369,52

Определим процент потерь в установке по формуле (29):

$$\text{Потери} = \left(\frac{m_{\text{расход}} \times 100\%}{m_{\text{приход}}} \right) - 100\% = \frac{369,52 \times 100\%}{371,48} = 0,53\% \quad (29)$$

Потери находятся в допустимых пределах и не превышают 15 %.
Общая схема всех потоков установки представлена на рисунке 15.

Определим долю выхода основного продукта - активного угля от общей массы сырья, поступающего на переработку по формуле (30):

$$\omega_{\text{цел.пр.}} = \frac{G_{\text{цел.пр.день}} \times 100\%}{G_{\text{день}}} = \frac{32,56 \times 100\%}{263} = 12,4\% \quad (30)$$

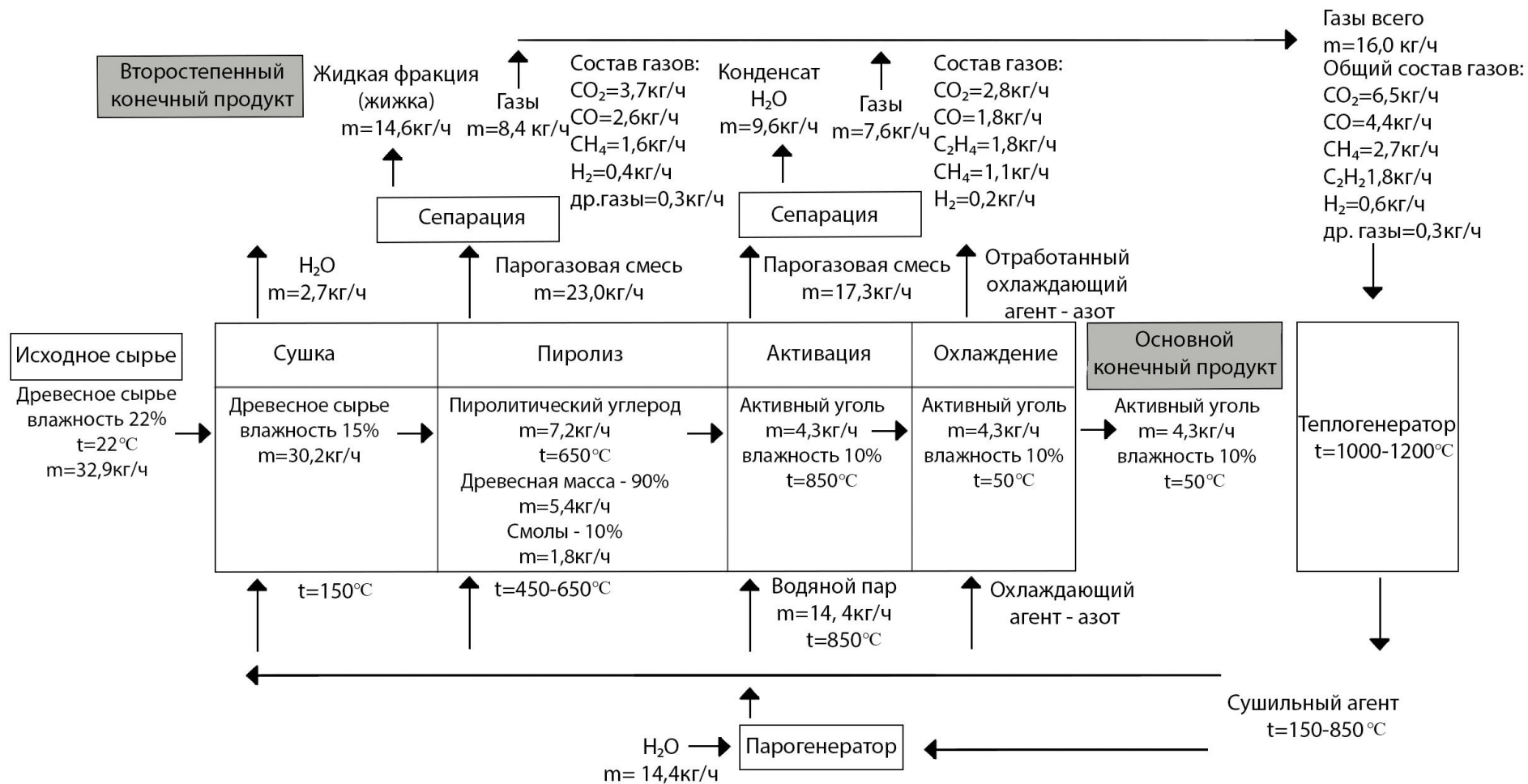


Рисунок 15 - Общая схема материального баланса установки

Определим долю выхода второстепенного продукта - жидкого дистилята процесса пиролиза от общей массы сырья, поступающего на переработку по формуле (31):

$$\omega_{\text{цел.пр.}} = \frac{G_{\text{второс.пр.день}} \times 100\%}{G_{\text{день}}} = \frac{114,08 \times 100\%}{263} = 43,4\% \quad (31)$$

Из проделанных расчетов видно, что если перерабатывать только отходы собственного производства мебельной фабрики, то срок окупаемости оборудования может быть достаточно длительным, из-за низкого процента образования основного конечного продукта - активного угля, который составляет 32,56 кг в день на 263 кг исходного сырья. Стоит отметить, что помимо основного конечного продукта образуется еще и второстепенный продукт в виде жидкого дистилята процесса пиролиза, который также является востребованным на рынке, причем доля его образования значительно выше доли образования активного угля и составляет 43,4% к 12,4% соответственно.

3.2 Расчет установки для получения древесного активного угля

Расчитаем расход влаги, удаляемой из высушиваемого материала, кг/с, по формуле (32):

$$W = G_k \times \frac{\omega_n - \omega_k}{100 - \omega_n}, \quad (32)$$

где G_k - производительность по высушенному материалу равна 32,9 кг/ч, или 0,0091 кг/с;

ω_n - начальная влажность сырья, равная 22%;

ω_k - конечная влажность сырья, равная 15%.

Вычислим расход влаги, удаляемой из высушиваемого материала по формуле (32):

$$W = 0,0091 \times \frac{22-15}{100-22} = 8,16 \times 10^{-4} \text{ кг/с}$$

Рассчитываем удельные потери тепла в окружающую среду, принимая их равными 10% от тепла Q , вынесенного из сушилки с парами влаги, испарившейся из материала по формуле (33):

$$q_{п} = 0,1 \times W(r_0 + C_n \times t_2), \text{ (кДж/кг влаги)} \quad (33)$$

где r_0 – теплота испарения воды при температуре 0 оС, равная 2500 кДж/кг;

c_n – средняя теплоемкость водяных паров, равная 1,97 кДж/кг*°С;

t_2 - температура воздуха на выходе из сушилки, равная 150 °С

Вычислим удельные потери тепла по формуле (33):

$$q_{\text{п}} = 0,1 \times 8,16 \times 10^{-4} \times (2500 + 1,97 \times 150) = 0,228 \text{ кДж/кг влаги}$$

Рассчитаем разность между удельным расходом и приходом тепла в сушилке, принимая, что температура материала в слое на 1 - 2 °С ниже температуры отработанного воздуха на выходе из сушилки, кДж/кг влаги, по формуле (34):

$$\Delta = c_{\text{в}} \times t_1 + \frac{G_{\text{к}} \times c_{\text{м}} \times (t_{\text{м}} - t_1)}{W} - q_{\text{п}}, \quad (34)$$

где $c_{\text{в}}$ – теплоемкость влаги во влажном материале при температуре $t_{\text{м1}} = 22$, равная 4,19 кДж/кг·К;

$c_{\text{м}}$ – теплоемкость материала, равная 1,7 кДж/кг·К;

$t_{\text{м}}$ – температура материала в слое, равная $t_2 - 2 = 150 - 2 = 148$.

t_1 – температура материала на входе в сушилку, равная 22.

Вычислим разность между удельным расходом и приходом тепла в сушилке по формуле (34):

$$\Delta = 4,19 \times 22 + \frac{0,0091 \times 1,7 \times (148 - 22)}{8,16 \times 10^{-4}} - 0,228 = 2494,8 \text{ кДж/кг влаги}$$

По диаграмме состояния влажного воздуха, представленной на рисунке 14 и известным значениям $t_0 = 20$ и $\varphi_0 = 72$ % определяем начальные параметры воздуха, подаваемого в калорифер, влагосодержание $x_0 = 0,012$ кг/кг сухого воздуха и энтальпию $I_0 = 52$ кДж/кг сухого воздуха.

На диаграмме мысленно строим линию нагрева воздуха до температуры $t_1 = 150$ °С, учитывая, что нагрев воздуха в калорифере проводится через стенку, т.е. его влагосодержание не меняется $x_0 = x_1 = x_2 = 0,012$ кг/кг сухого воздуха. При этой температуре энтальпия воздуха повышается до $I_1 = 189$ кДж/кг сухого воздуха.

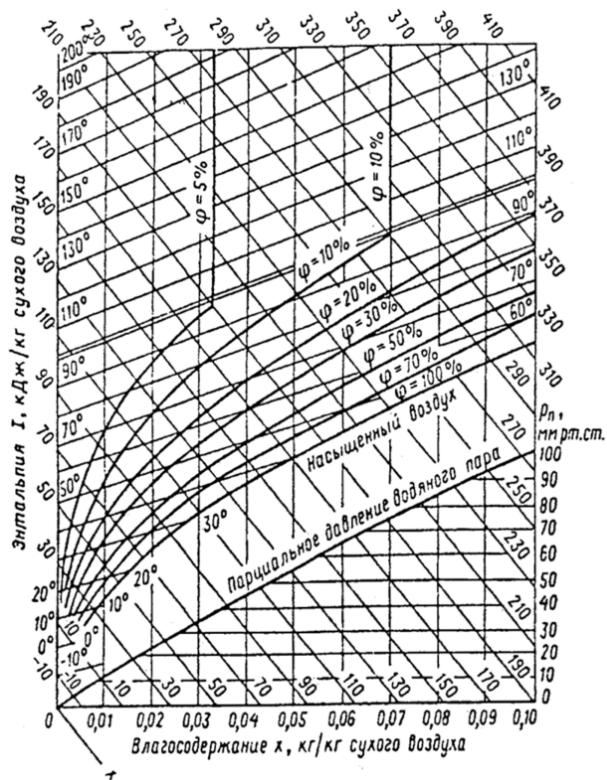


Рисунок - 14 Диаграмма состояния влажного воздуха

Расчитаем расход воздуха на сушку, кг/с, по формуле (35):

$$L = \frac{W}{x_2}, \quad (35)$$

Вычислим расход воздуха на сушку по формуле (35):

$$L = \frac{8,16 \times 10^{-4}}{0,012} = 0,068 \text{ кг/с}$$

Расчитаем среднюю температуру воздуха в сушилке, °C по формуле (36):

$$x_{cp} = \frac{t_2 + t_1}{2}, \quad (36)$$

Вычислим среднюю температуру воздуха в сушилке по формуле (36):

$$t_{\text{cp}} = \frac{148+150}{2} = 149 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчитаем среднюю плотность сухого воздуха, кг/м^3 , по формуле (37):

$$p_{\text{с.в.}} = \frac{M_{\text{с.в.}}}{v_{\text{с.в.}}} \times \frac{273}{273+t_{\text{cp}}}, \quad (37)$$

где $M_{\text{с.в.}}$ – молярная масса сухого воздуха, равная 29 кг/кмоль ;

v_0 – молярный объем воздуха, равный 22,4 $\text{м}^3/\text{кмоль}$.

Вычислим среднюю плотность сухого воздуха по формуле (37):

$$p_{\text{с.в.}} = \frac{29}{22,4} \times \frac{273}{273+149} = 0,841 \text{ кг/м}^3$$

Расчитаем среднюю плотность водяных паров, кг/м^3 , по формуле (38):

$$p_{\text{в.п.}} = \frac{M_{\text{в.п.}}}{v_{\text{в.п.}}} \times \frac{273}{273+t_{\text{cp}}}, \quad (38)$$

где $M_{\text{в.п.}}$ – молярная масса водяных паров, равная 18 кг/кмоль .

Вычислим среднюю плотность водяных паров по формуле (38):

$$p_{\text{в.п.}} = \frac{18}{22,4} \times \frac{273}{273+149} = 0,52 \text{ кг/м}^3$$

Расчитаем среднюю объемную производительность по воздуху, $\text{м}^3/\text{с}$, по формуле (39):

$$V = \frac{L}{p_{\text{с.в.}}} \times \frac{x_1 \times L}{p_{\text{в.п.}}}, \quad (39)$$

Вычислим среднюю объемную производительность по воздуху по формуле (39):

$$V = \frac{0,068}{0,841} \times \frac{0,012 \times 0,068}{0,52} = 1,27 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчитаем среднюю вязкость воздуха по формуле (40):

$$\mu_{\text{с.в.}} = \mu_0 \times \frac{273+C}{273+t_{\text{ср}}+C} \times \left(\frac{273+t_{\text{ср}}}{273}\right)^{\frac{3}{2}}, \text{ (Па*с)} \quad (40)$$

где μ_0 – динамический коэффициент вязкости при 0 °С, равный для воздуха $17,3 \cdot 10^{-6}$ Па·с;

C- постоянная Сатерленда, равная для воздуха 124.

Вычислим среднюю вязкость воздуха по формуле (40):

$$\mu_{\text{с.в.}} = 17,3 \times 10^{-3} \times \frac{273+124}{273+149+124} \times \left(\frac{273+149}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 2,42 \times 10^{-5} \text{ Па*с}$$

Рассчитываем критерий Архимеда по формуле (41):

$$Ar = \frac{d_{\text{ср}}^3 \times \rho_{\text{ч}} \times \rho_{\text{св}} \times g}{\mu_{\text{св}}^2}, \quad (41)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частиц высушиваемого материала, равная $150 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Вычислим критерий Архимеда по формуле (41):

$$Ar = \frac{(1,2 \times 10^{-3})^3 \times 150 \times 0,841 \times 9,81}{(2,42 \times 10^{-5})^2} = 1540,4$$

Расчитаем критерий Рейнольдса по формуле (42):

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (42)$$

Вычислим критерий Рейнольдса по формуле (42):

$$Re = \frac{1540,4}{1400 + 5,22\sqrt{1540,4}} = 0,956$$

Расчитаем скорость начала псевдооживения, м/с по формуле (43):

$$w_{\text{пс}} = \frac{Re \times \mu_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}} \times d_{\text{ср}}}, \quad (43)$$

Вычислим скорость начала псевдооживения по формуле (43):

$$w_{\text{пс}} = \frac{0,956 \times 2,42 \times 10^{-5}}{0,841 \times 0,9 \times 10^{-3}} = 0,028 \text{ м/с}$$

Расчитаем скорость уноса, м/с, по формуле (44):

$$w_{\text{ун.}} = \frac{\mu_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}} \times d_{\text{ср}}} \times \frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}} \quad (44)$$

Вычислим скорость уноса по формуле (44):

$$w_{\text{ун.}} = \frac{2,42 \times 10^{-5}}{0,841 \times 0,9 \times 10^{-3}} \times \frac{1540,4}{18 + 0,575\sqrt{1540,4}} = 1,216 \text{ м/с}$$

Определяем предельное число псевдооживения по формуле (45):

$$K_{\text{пр}} = \frac{w_{\text{ун.}}}{w_{\text{пс}}}, \quad (45)$$

Вычислим предельное число псевдооживения по формуле (45):

$$K_{\text{пр}} = \frac{1,216}{0,028} = 43,429$$

Так как $K_{\text{пр}} > 40-50$, то рабочее число псевдооживления принимается в пределах от 3 до 7. Примем $K_{\omega} = 5$.

Рассчитываем рабочую скорость сушильного агента по формуле (46):

$$\omega = K_{\omega} \times \omega_{\text{пс}} = 5 \times 0,027 = 0,14 \text{ м/с} \quad (46)$$

Рассчитаем диаметр сушилки по формуле (47):

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \times w}} = \sqrt{\frac{1,27 \times 10^{-4}}{0,785 \times 0,14}} = 0,03 \text{ м} \quad (47)$$

Рассчитаем высоту псевдооживленного слоя.

Рассчитаем критерий Рейнольдса при рабочей скорости сушильного агента по формуле (48):

$$Re = \frac{\omega \times d_{\text{ср}} \times \rho_{\text{св}}}{\mu_{\text{св}}}, \quad (48)$$

Вычислим критерий Рейнольдса при рабочей скорости сушильного агента по формуле (48):

$$Re = \frac{0,14 \times 0,9 \times 10^{-3} \times 0,841}{2,42 \times 10^{-5}} = 4,38$$

Рассчитаем порозность псевдооживленного слоя, $\text{м}^3/\text{м}^3$ по формуле (49):

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \times Re + 0,36 Re^2}{Ar} \right)^{0,12}, \quad (49)$$

Вычислим порозность псевдооживенного слоя по формуле (49):

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \times 5,785 + 0,36 \times 4,38^2}{1540,4} \right)^{0,12} = 0,075$$

Расчитаем коэффициент диффузии водяных паров при средней температуре в сушилке, м²/с, по формуле (50):

$$D = D_{22} \times \left(\frac{273+t_{cp}}{273} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (50)$$

где D_{22} - коэффициент диффузии водяных паров в воздухе при 20 °С, равный $21,9 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Вычислим коэффициент диффузии водяных паров при средней температуре в сушилке по формуле (50):

$$D = 21,9 \times 10^{-6} \times \left(\frac{273+149}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 4,23 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$$

Расчитаем диффузионный критерий Прандтля по формуле (51):

$$Pr_D = \frac{\mu_{св}}{\rho_{св} \times D}, \quad (51)$$

Вычислим диффузионный критерий Прандтля по формуле (51):

$$Pr_D = \frac{2,42 \times 10^{-5}}{0,841 \times 4,23 \times 10^{-5}} = 0,68$$

Расчитаем коэффициент массоотдачи, м/с, по формуле (52):

$$\beta_y = \frac{D}{d_{cp}} (2 + 0,51 \times Re^{0,52} + Pr_d^{0,33}), \quad (52)$$

Вычислим коэффициент массоотдачи по формуле (53):

$$\beta_y = \frac{4,23 \times 10^{-5}}{0,9 \times 10^{-3}} (2 + 0,51 \times 4,38^{0,52} + 0,68^{0,33}) = 0,19 \text{ м/с}$$

Высоту псевдооживленного слоя h определяем из следующего соотношения:

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \exp \left[-\frac{\beta_y}{\omega \times p_{св}} \times \frac{6(1-\varepsilon)}{d_{cp}} \times h \right],$$

где x^* – равновесное влагосодержание сушильного агента, определяемое по диаграмме состояния влажного воздуха при продлении линии сушки до пересечения с линией постоянной относительной влажности $\varphi = 100\%$.

Определяем по рисунку 14, что $x^* = 0,062$ кг/кг сухого воздуха.

Тогда:

$$\frac{0,062 - 0,054}{0,062 - 0,012} = \exp \left[-\frac{0,19}{0,14 \times 0,841} \times \frac{6(1 - 4,38)}{0,9 \times 10^{-3}} \times h \right]$$

Откуда $h = 2,52 \cdot 10^{-4}$ м

Определяем число отверстий в распределительной решетке по формуле (54):

$$n = \frac{D_c^2 \times F_c}{d_0^2}, \quad (54)$$

где F_c – доля живого сечения, принимаемая равной от 0,02 до 0,1; d_0 – диаметр отверстий распределительной решетки, выбираемый из ряда нормальных размеров, м.

Принимаем $F_c = 0,06$ и $d_0 = 0,002$ м.

Вычислим число отверстий в распределительной решетке по формуле (54):

$$n = \frac{4,23^2 \times 0,06}{0,002^2} = 1135000$$

В соответствии с рекомендациями выбираем расположение отверстий в распределительной решетке по углам равносторонних треугольников.

Расчитаем поперечный шаг отверстий по формуле (55):

$$t' = 0,95 \times d_0 F_c^{-0,5} = 0,95 \times 0,002 \times 0,06^{-0,5} = 0,008 \text{ м} \quad (55)$$

Расчитаем продольный шаг отверстий по формуле (56):

$$t'' = 0,866 \times t' = 0,866 \times 0,008 = 0,007 \text{ м} \quad (56)$$

Расчитаем высоту зоны гидродинамической стабилизации слоя по формуле (57):

$$H_{\text{ст}} = 20 \times d_0 = 20 \times 0,002 = 0,04 \text{ м} \quad (57)$$

Рабочую высоту псевдооживленного слоя в соответствии с рекомендациями принимаем равной в 4 раза больше высоты зоны гидродинамической стабилизации слоя по формуле (58):

$$H = 4H_{\text{ст}} = 4 \times 0,04 = 0,16 \text{ м} \quad (58)$$

В соответствии с рекомендациями высоту сепарационного пространства сушилки принимают в 4 – 6 раз больше высоты псевдооживленного слоя по формуле (59):

$$H_c = 5H = 5 \times 0,16 = 0,8 \text{ м} \quad (59)$$

Общая высота аппарата (над решеткой) вычисляем по формуле (60):

$$H_a = H + H_c = 0,16 + 0,8 = 0,96 \text{ м} \quad (60)$$

Расчитаем гидравлическое сопротивление сушилки.

Расчитаем гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя, $\Delta P_{\text{пс}}$, по формуле (61):

$$\Delta P_{\text{пс}} = \rho_{\text{ч}} \times (1 - \varepsilon) g H, \quad (61)$$

Вычислим гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя по формуле (61):

$$\Delta P_{\text{пс}} = 150 \times (1 - 0,075) \times 9,81 \times 0,16 = 217,8 \text{ Па}$$

Расчитаем минимальное допустимое гидравлическое сопротивление решетки, $\Delta P_{\text{реш}}$, по формуле (62):

$$\Delta P_{\text{реш}} = \Delta P_{\text{пс}} \times \frac{K_{\omega}^2 (\varepsilon - \varepsilon_0)}{(K_{\omega}^2 - 1)(1 - \varepsilon)}, \quad (62)$$

где ε_0 – порозность неподвижного слоя, принимаемая для шарообразных частиц равной 0,4.

Вычислим минимальное допустимое гидравлическое сопротивление решетки по формуле (62):

$$\Delta P_{min} = 217,8 \times \frac{5^2(0,422-0,4)}{(5^2-1)(1-0,422)} = 79,7 \text{ Па}$$

Расчитаем гидравлическое сопротивление выбранной решетки, Па, по формуле (63):

$$\Delta P_p = \xi \left(\frac{\omega}{F_c}\right)^2 \times \frac{P_{CB}}{2}, \quad (63)$$

где ξ – коэффициент сопротивления решетки, равный 1,75.

Вычислим гидравлическое сопротивление выбранной решетки по формуле (63):

$$\Delta P_p = 1,75 \left(\frac{0,14}{0,06}\right)^2 \times \frac{0,841}{2} = 81,5 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление превышает минимально допустимое значение ($632,492 > 490,05$), а значит доля живого сечения решетки выбрана верно.

Общее гидравлическое сопротивление сушилки определяем по формуле (64):

$$\Delta P_a = \Delta P_{пс} + \Delta P_p = 217,8 + 81,5 = 229,3 \text{ Па} \quad (64)$$

На основании произведенных расчетов установлено, что минимальная высота аппарата составляет 1м, минимальная ширина камеры сушки 0,5м, камеры пиролиза 0,5м, камеры активации 0,5м, камеры охлаждения 0,5м.

Минимальная глубина аппарата с учетом насыпной плотности сырья составляет 1,3 м.

На основании расчетов габариты установки для получения древесного активного угля составляют ШВГ 2*1*1,3м. Диаметр отверстий распределительной решетки, выбираемый из ряда нормальных размеров равен 0,002 м. Количество отверстий 1135000 с поперечным и продольным шагом равное 0,007 и 0,008м соответственно.

По состоянию на 2021 год в крае по официальным данным проживает 5.5 млн человек, которые производят в год 44 тысячи тонн таких отходов. Таким образом привлечение в переработку отходов коммунальных служб позволит сократить срок окупаемости оборудования переработки плитной продукции ДСП, МДФ, ДВП, фанеры, а также уменьшит экологическую нагрузку на регион в целом и позволит увеличить прибыль предприятия.

Для усовершенствования существующего производственного процесса по переработке отходов мебельного производства потребуется к линии по производству топливных гранул добавить два транспортера, представленные на рисунке 3, механизированный накопительный бункер на рисунке 4, а также накопительный бункер для временного хранения и фасовки готового продукта на рисунке 8.

Также потребуется оборудовать подвод газов от теплогенератора на рисунке 6 к установке с их разбавлением до требуемой температуры, а также отвод отработанных газов через существующую систему очистки газов на предприятии. На исследуемом предприятии уже существует линия предварительного измельчения сырья, что позволит подготавливать древесные плиты до измельченной фракции не более 40мм. Установка для получения древесного активного угля подключается к водоснабжению с предварительной водоподготовкой, которая также уже оборудована на предприятии.

Сливных отходов от установки не предполагается, так как весь объем водяных паров полностью используется в производственном процессе. Отвод

отработанных газов осуществляется через оборудованную на предприятии систему газоотвода, представленную ракушкой-дымососом с фильтрацией, а также дымовой трубой.

Твердых отходов от установки не образуется, все сырье проходит по замкнутому циклу и полностью перерабатывается. Производство энергии для работы установки будет осуществляться с использованием теплогенератора мощностью 1,5 МВт, уже существующего на предприятии, и представленного на рисунке 6. Топочные газы для производства сушильного агента, а также для карбонизации сырья будут производиться в используемом теплогенераторе, конструкция и производительность которого позволяют выдавать газы требуемой для установки температуры.

Для обслуживания установки потребуется 2 человека в смену. Также необходимо разработать регламент по работе с установкой, правила техники безопасности, подробно описать технологию, этапы работы, контроль качества готового сырья.

Заключение

Основой для исследовательской работы стал анализ образующихся отходов на предприятии по производству мебельной продукции и было установлено, что, не смотря на уже существующую линию по переработке отходов мебельного производства, большая их часть в объеме 15 тыс. м³ в год является непригодной к переработке на этой линии. К таким отходам относятся плиты ДСП, ДВП, МДФ, фанера, которые загрязнены ЛКМ, кромочным и облицовочным материалом, а также содержат в своем составе токсичные вещества: формальдегид, фенол, стирол, которые препятствуют их переработке в топливные гранулы.

В ходе патентного поиска была найдена полезная модель установки для получения древесного активного угля, которая позволит перерабатывать указанные отходы в активные угли методом пиролиза древесной массы и частично пластиков, в пиролитический углерод с последующей его активацией посредством обработки водяным паром. Температурная обработка в установке позволит нейтрализовать токсичные вещества исходного сырья, а также использовать сырье, загрязненное отделочным материалом в виде пластиков, красок, лаков.

Исходя из объемов поступающего на переработку вторичного сырья установка по переработке будет производить 34,4 кг в день готового конечного продукта - активных углей, а также 116,8 кг в день побочного продукта - жидкого конденсата (жизки). Получаемые продукты являются востребованными на рынке, что позволит предприятию не только минимизировать расходы на вывоз и утилизацию отходов, но и получать прибыль от ранее неликвидных отходов, улучшить экологическую обстановку в регионе и получить возможность расширить вид деятельности предприятия за счет привлечения в переработку неликвидных отходов других предприятий мебельной отрасли.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Баранов Д. А. Процессы и аппараты химической технологии. Санкт-Петербург : Лань, 2020. 408 с.
2. Баторшин В.А. Зарубежный опыт использования биомассы в качестве топлива для энергетических котлов // Энергетика за рубежом. 2016. № 6. С. 25–35.
3. Бикбау М.Я. Новые технологии для обезвреживания и полной переработки бытовых отходов. М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2021. 76 с.
4. Бобович Б.Б. Обращение с отходами производства и потребления. М. : ИНФРА-М, 2021. 436 с.
5. Власов О.А. Технологии переработки твердых бытовых отходов. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2019. 245 с.
6. Воропаев А. Е. Котельное оборудование на биотопливе // Экология и охрана труда. 2015. № 12 С. 35 – 49.
7. Зенькова Е. В. Диссертация: Технологические основы рециклинга отходов мебели в активные угли. М. : РХТУ, 2018. 187 с.
8. Издательство стандартов. Пленка поливинилхлоридная декоративная отделочная. Технические условия. утв. постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства ГОСТ № 24944-81 от 01.01.82 // Консультант плюс: справочно-правовая система.
9. Издательство стандартов. Пленка полиэтилентерефталатная. Технические условия. утв. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР ГОСТ № 24234-80 от 01.01.82 // Консультант плюс: справочно-правовая система.
10. Издательство стандартов. Сырье для пиролиза и углежжения. Технические условия. утв. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР ГОСТ № 24260-80 от 01.01.73 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

11. Издательство стандартов. Угли активные. Метод определения суммарного объема пор по воде. утв. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР ГОСТ № 17219-71 от 01.01.73 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

12. Издательство стандартов. Уголь активный древесный дробленый. Технические условия. утв. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР ГОСТ № 6217-74 от 01.01.76 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

13. ИПК Издательство стандартов. Смачиватель НБ. Технические условия. утв. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР ГОСТ № 6867-77 от 01.01.79 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

14. ИПК Издательство стандартов. Смолы полиэфирные ненасыщенные. Технические условия. утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ № 27952-88 от 01.01.90 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

15. Козадерова О. А. Расчеты материальных и тепловых балансов в технологии минеральных удобрений. Воронеж : ВГУИТ, 2018. 55 с.

16. Колесников Е.Ю. Экологическая экспертиза и экологический аудит. М. : Изд-во Юрайт, 2019. 469 с.

17. Костиков В.И. Технология композитных материалов. М. : ИНФРА-Инженерия, 2021. 484 с.

18. Левинзон К.В. Энергоресурсы: прогнозы и реальность. М. : Изд-во Академия естествознания, 2018. 410 с.

19. Липаев А.А. Обращение с отходами производства и потребления. М. : ИНФРА-Инженерия, 2021. 408 с.

20. Методика расчёта объёмов образования отходов МРО-5-99 [Электронный ресурс] URL: <https://meganorm.ru/> (дата обращения: 10.10.2019).

21. Москвичев Ю. А. Теоретические основы химической технологии. Санкт-Петербург : Лань, 2020. 272 с.

22. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 30.12.2008) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения 15.06.2021).

23. Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 04.05.1999 № 96 - ФЗ (ред. от 30.12.2008). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/ (дата обращения 15.06.2021).

24. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7 - ФЗ (ред. от 08.12.2020). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/ (дата обращения 15.06.2021).

25. Патент 73871 Российская Федерация, МПК⁵¹ С 10 В 1/04. Установка для получения древесного активного угля (варианты) / Соловьев И. Г.; заявитель и патентообладатель Соловьев И. Г. – № 2007144841/22; заявл. 05.12.07 ; опубл. 10.06.08, Бюл. № 16 . 10 с.

26. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22 декабря 2017 г. № 165 [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/71850374/> (дата обращения: 15.04.2020).

27. Правила эксплуатации ионообменного фильтра для очистки воды Aquaphor WaterBoss 700 [Электронный ресурс] URL: <https://www.aquaphor.ru/> (дата обращения: 15.04.2020).

28. Правила эксплуатации линии производства топливных гранул Лгран-1 [Электронный ресурс] URL: <https://ketehnika.ru/> (дата обращения: 10.04.2020).

29. Разиньков Е. М. Технология и оборудование древесных плит и композиционных материалов. Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2018. 231 с.

30. Стандартиформ. Материал кроочный на основе бумаг, пропитанных терморективными полимерами. Технические условия. утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ № 32683-2014 от 01.07.15 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

31. Стандартиформ. Материал облицовочный на основе пропитанных бумаг с глубокой степенью отверждения смолы. Технические условия. утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ № 32716-2014 от 01.07.15 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

32. Стандартиформ. Материалы лакокрасочные, применяемые в строительстве. Общие технические условия. утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ № 33290-2015 от 01.03.16 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

33. Стандартиформ. Плиты древесно-стружечные, облицованные пленками на основе терморективных полимеров. Технические условия. утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ № 32289-2013 от 01.07.14 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

34. Стандартиформ. Плиты древесно-стружечные. Технические условия. : утв. федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ № 10632-2014 от 01.07.15 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

35. Стандартиформ. Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия. утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ № 14231-88 от 01.07.89 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

36. Стандартиформ. Смолы фенолоформальдегидные жидкие. Технические условия. утв. Федеральным агентством по техническому

регулированию и метрологии ГОСТ № 20907-2016 от 01.11.17 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

37. Стандартиформ. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ № 3916.1-2018 от 01.04.19 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

38. Фокин С.В. Деревообработка: технологии и оборудование. М. : Изд-во ИНФРА-М, 2018. 203 с.

39. Шиманский А.Ф. Управление отходами. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. 192 с.

40. Шишлов О. Ф. Расчёты материальных балансов производства полимерных композиционных материалов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. 169 с.

41. Шубов Л.Я. Технология отходов. М. : ИНФРА-М, 2018. 350 с.

42. Ahmad A. A., Nameed B. H. Effect of preparation conditions of activated carbon from bamboo waste for real textile wastewater. J. Hazardous Mater. 2010. v. 173. № 1-3. p.487-493.

43. Method and apparatus for producing activated carbon from waste. Japan, pat. № JP2000239010, publ. 05.09.2000.

44. Method for manufacturing activated carbon from waste and manufacturing device. Japan, pat. № JP2001220121, publ. 14.08.2001.

45. Method for producing activated carbon from waste PET. Spain, pat. № 2277565, publ. 01.07.2007.

46. Nicolas B., Roland El H., Mounir C. Investigation of the chemical modifications of beech wood lignin during heat treatment // Polym. Degrad. Stab, 2010, v. 95. № 9, p. 1721-1726.