

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

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

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))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Разработка технологии переработки деревоотходов в активированный уголь

Студент

Р.С. Кривохижин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.С. Гончаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

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

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.п.н., доцент М.В. Кравцова

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2018г.

Тольятти 2018

Аннотация

Выпускная квалификационная работа на тему: «Разработка технологии переработки деревоотходов в активированный уголь».

Данная работа состоит из:

- 1) Введения на 3 страницах;
- 2) Общей части на 10 страницах;
- 3) Теоретической части на 3 страницах;
- 4) Исследовательской части на 9 страницах;
- 5) Технологической части на 24 страницах;
- 6) Заключение на 2 страницы;
- 7) Список используемых источников на 4 листах и количество этих источников составляет 46.
- 8) Приложения, которые состоят из таблиц материальных и тепловых балансов проведения процесса, а также исходного кода для программы «R» по их расчету и расположены на 42 страницах.

В работе находятся данные, которые представлены в 23 таблицах и рисунке в количестве 6 штук.

Содержание

Введение	6
1 Общая часть	9
1.1 Общая характеристика деревомоделного цеха	9
1.1.1 Характеристика образователя (деревомоделного цеха) отходов древесных опилок металлургического производства ПАО «АВТОВАЗ»	9
1.1.2 Требования к деревянным моделям	10
1.1.3 Эргономика деревомоделного цеха	12
1.2 Перечень образующихся отходов в МТП	13
1.3 Методы обращения с древесными видами отходов в металлургическом производстве	16
1.3.1 Сбор, хранение и вывоз древесных отходов из натуральной чистой древесины	16
1.3.2 Сбор хранение опилок из натуральной чистой древесины	17
1.3.3 Сбор, хранение отходов пенополистерола с деревянными опилками	17
1.3.4 Сбор, хранение древесных опилок, загрязненных минеральными маслами (содержание масел менее 15%)	17
1.3.5 Сбор, хранение древесных отходов с пропиткой и покрытием	18
1.3.6 Использованные рабочие модели	18
2 Теоретическая часть	20
2.1 Описание процесса переработки древоотходтов путем пиролиза	20
3 Исследовательская часть	23
3.1 Пиролиз сосновых опилок	23

3.1.1	Методика проведения работы	23
3.1.2	Подготовка к работе	24
3.1.3	Проведение пиролиза	24
3.2	Определение характеристик активированного угля	25
3.2.1	Определение содержания золы в остатке (Зольность)	25
3.2.2.	Определение влажности угля-сырца	25
3.2.3	Определение содержания нелетучего углерода	25
3.3	Получение активного угля	25
3.4	Исследование свойств активного угля	26
3.4.1	Определение суммарной пористости активированного угля по воде	26
3.4.2	Определение сорбционной активности образца угля по метиленовому голубому	26
3.4.3	Определение адсорбционной активности образца угля по йоду	27
3.5	Экспериментальная часть	27
3.5.1	Характеристика исходного сырья	27
3.5.2	Экспериментальные данные по полученным образцам угля-сырца	27
3.5.3	Экспериментальные данные по получению активированного угля	29
3.5.4	Исследование свойств полученного активированного угля	30
3.6	Заключение по исследовательской части	31
4	Технологическая часть	32
4.1	Прооперационный расчёт сырья и материалов	32
4.2	Теоретический расчет операции активации угля-сырца острыми парами воды	33
4.3	Материальные и тепловые балансы сушки сырья с воздухом	36

4.4 Материальные и тепловые балансы пиролиза сырья	37
4.5 Расчет уточненных материального и теплового баланса активации	40
4.6 Расчеты сжигания парогазов пиролиза и абгазов активации	43
4.6.1 Сжигание парогазов пиролиза	43
4.7 Типовая схема комплекса по переработке древесных отходов в активированный уголь	51
4.8 Экологическая безопасность пиролизного производства	53
Заключение	54
Список используемых источников	56
Приложение А Таблицы материальных и тепловых балансов операций по производству активированного угля	60
Приложение Б Исходный код для программы «R» по расчету тепловых и материальных балансов процессов сушки, активации и пиролиза	69

Введение

В целях прохождения производственной практики по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» меня направили на предприятие ПАО «АВТОВАЗ», которое является градообразующим и производит автомобили с 1970 года.

На момент создания первого сошедшего с конвейера автомобиля, была полностью налажена инфраструктура, соответствующая, на тот момент, стандартам современного предприятия. Созданы вспомогательные производства для нужд автомобильного предприятия.

К одним из этих производств относилось «Производство по переработке промышленных отходов», которое занималось вопросами обращения с отходами. На данный момент данное производство является отдельной организацией, в результате реформ произошедших с течением времени на ПАО «АВТОВАЗ». Но до сих пор занимается обращением с отходами, производимыми на заводе.

Так как работа предприятия ведет свою деятельность с 1966 и насчитывает более 51 года, ему приходилось и приходится соответствовать требованиям и стандартам текущего времени. В ходе этого времени менялись эти самые требования, а также вводились новые, не говоря уже о том, что в настоящее время ПАО «АВТОВАЗ» входит в состав альянса «Renault-Nissan» и должен соответствовать нормам этого альянса.

Чтобы производить изделия высокого уровня по доступной цене данный альянс заботится о своих затратах на создание этих изделий и эта политика тесно связана с направлением, которая осваивается мною в «Тольяттинском государственном институте». Для примера приводятся наблюдения внутри металлургического производства и сравнением двух цехов одно из которых образовано в 1974 году, другое же в 2015, то нельзя не

выделить тот факт, что в более новом производстве произошла модернизация в техническом и экологическом плане, а именно:

- 1) заменены вагранки закрытого типа на индукционные печи с низкой частотой (при этом размер вредных выбросов уменьшился: пыли и двуокиси углерода приблизительно в 11,5 раз, а двуокиси серы в 36 раз);
- 2) внедрены в производство малотоксичные составы смесей;
- 3) установлены эффективные системы фильтрации;
- 4) отлажена более эффективная работа вентиляционных систем;
- 5) применены современные технологии гашения исходящих вибрации.

Не смотря на заметные улучшения и готовность предприятия развиваться дальше, существуют устаревающие моменты, которые используются в различных производствах и описываются в инструкциях по этим процессам. И все ближе наступает время, когда модернизация или введение чего-то нового просто необходима. Поэтому поставленными целями данного диплома заключаются в изучении места прохождения практики (деревомодельного цеха), изучения отходов и возможности улучшения методов обращения с ними. Для этого необходимо выполнить данные задачи:

- 1) Изучить роль деревомодельного цеха в металлургическом производстве «ПАО АВТОВАЗ».
- 2) Описать древесное сырье используемое в деревомодельном цехе.
- 3) Рассмотреть применение и утилизацию древесных отходов в МТП.
- 4) Произвести исследования на примере одного из видов древесных отходов в пиролизной установке с последующей активацией;
- 5) Рассчитать материальный баланс для теоретической производительности оборудования для производства активированного угля;
- 6) Рассмотреть применение получившегося активированного угля;

- 7) Проанализировать получение других продуктов из древесных отходов при помощи процесса пиролиза
- 8) Выводы по завершению проведенной работы.

1 Общая часть

1.1 Общая характеристика дерево модельного цеха

1.1.1 Характеристика образователя (дерево модельного цеха) отходов древесных опилок металлургического производства ПАО «АВТОВАЗ»

Вспомогательным ответвлением металлургического производства является дерево модельный цех ПАО «АВТОВАЗ», который находится в цехе 15/3. В этом цехе изготавливают деревянные модели для задач металлургического производства.

Благодаря достоинствам дерева [19], а именно: невысокая стоимость, легкость, прочность и податливость обработке, оно нашло себе применение, помимо прочих, еще и в литейном деле, где стало неотъемлемой частью при изготовлении моделей для формообразующих. Перед использованием дерева доски поступают в специальный склад, где дерево высушивается до 12% для дальнейшего применения. Сушка древесины является основным условием и требованием к поступающим доскам на территорию дерево модельного цеха 15/3, для того чтобы изготовленная в будущем модель на протяжении долгого срока службы не потеряла свои форму и размеры, если дерево тщательно не высушить, то это пагубно скажется на качестве изготовленной модели. Такой процесс, в зависимости от назначения и стоимости, может длиться:

- для обычных моделей более 4 лет или дольше;
- для дорогих же, пребывание на складах может продлиться и до 10 лет.

Классификация [19] наиболее часто используемых для моделей сортов дерева: сосновые сорта для крупных моделей и ореховые сорта для мелких частей; после сушки они приобретают наименьшую способность к впитыванию влаги в сравнение с другими древесными породами; еще одним преимуществом, которым обладает сосна это наиболее правильным положением волокон и меньшей сучковатостью, что является важной

особенностью для изготовления маленьких деталей, таких как зубья зубчатых колес, но допускаются и употребление и других сортов древесины: бук, дуб и др.

Стоимость материала, в ценообразующей составляющей занимает не самую первую нишу, гораздо более важна ценность проделанной работы с деревянной моделью, поэтому использование более дорогого сорта дерева мало повлияет на итоговую стоимость изготовленной модели.

1.1.2 Требования к деревянным моделям

Для поддержания правильной формы, деревянные модели изготавливают из составляющих частей (деталей), которые имеют относительно небольшой размер и которые соединяются по средствам: шпонок, смол (клей), нагелей деревянных, винтов и др. в единое целое. Соединение производят до тех пор пока полученный кусок можно подвергнуть необходимой обработке.

Для исключения возможности неравномерной усадки, доски с составными частями соединяют так, чтобы направление волокон располагались по отношению друг к другу перпендикулярно. Также сердцевинная сторона каждой из этих досок прилегала к сердцевинной стороне соседствующей доски. Таким образом, эти действия воспрепятствуют короблению досок.

Чтобы устранить пагубные влияния окружающей среды, на уже готовые модели наносят нитроэмали или модельные лаки. На модели чугунных и стальных деталей наносят красную краску, для сплавов цветных используют желтую краску. Кроме того используют и черную краску для обозначения выступов в модели (выпоров), у которых назначением является образование углублений в формовой земле. При изготовлении сложных форм моделей ее составляющие изготавливаются таким образом, чтобы ее отдельные части могли разобрать или заменить, не повреждая основной формы. Количество разборных единиц зависит от проектировочных чертежей самой модели. Для удобства съема частей модели из формы

данным частям придают коническую форму, направленную в сторону извлечения частей из формы. Модельные размеры выполняют с припуском для отливаемых деталей – это делают в связи с влиянием усадки расплавленного металла при охлаждении, воздействующее на форму в 3 направлениях. Степень усадки охлажденного расплавленного металла определяется в каждом литейном цехе-потребителе опытами, в которых определяются разница между длиной изготовленной модели и длиной полученной при литье по ней заготовки (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – линейных коэффициентов усадки металлов и сплавов (по опытам Энгста и Ледебургу) [17]

Металл/сплав	Линейный коэффициент усадки
Чугун серый	1:96
Олово	1:147
Сталь	1:65
Алюминий	1:55
Цинк	1:80
Железо	1:40
Латунь	1:62
Свинец	1:92

Учитывая тот факт, что вследствие разбиения модели, при извлечении ее из формы, размеры последней несколько увеличиваются, поэтому усадку принимают не 1/96, а несколько менее 1/100 и для задач деревомодельного цеха используют специализированные масштабы(линейки), где наносятся меры, соответственно увеличенные против нормальных мер, так, метр на этих масштабах (линейках) равен 1,01 от обыкновенного (нормального) метра. Использование таких специальных масштабов в деревомодельном цехе при создании моделей по чертежам устраняет всякие ошибки и обеспечивает необходимые размеры модели по всем позициям.

1.1.3 Эргономика дерево модельного цеха

Оборудование, используемое в дерево модельном цехе 15/3 устроены таким образом, чтобы при помощи их можно было изготовить и обработать детали различной формы и размеров, а также предоставляет возможность разнообразия работ выполняемых на них. Путем использования такого оборудования, межоперационный переход от одной работы к другой совершается плавно, без потери времени без особых профессиональных навыков со стороны рабочего.

1.2 Перечень образующихся отходов в МТП

В процессе изучения дерево модельного цеха, в котором мне пришлось проходить практику, были изучены различного рода инструкции, нормативные документы и технологические требования [15,16,19]. Нормы этих документов распространены на всей территории ПАО “АВТОВАЗ”. Одним из таких документов является инструкция по сбору, хранению и реализации металлоотходов [16].

Согласно этой инструкции в металлургическом производстве образуются всевозможные виды отходов. Далее представлен полный перечень отходов производимых в металлургическом производстве с различными классами опасности (таблица 1.2):

Таблица 1.2 - Перечень отходов производимых в металлургическом производстве и их классы опасности

Класс опасности	Наименование отходов
	<ul style="list-style-type: none">– Древесные отходы из натуральной чистой древесины.– Опилки из натуральной чистой древесины.– Отходы пенополистирола с древесными опилками.

Продолжение таблицы 1.2

Класс опасности	Наименование отходов
5-ый класс	<ul style="list-style-type: none"> – Абразивные круги отработанные, лом абразивных отработанных кругов. – Электроды графитовые отработанные, не загрязненные опасными веществами. – Свечи зажигания автомобильные отработанные, тормозные колодки отработанные. – Отходы жесткого пенопласта (исключая поливинилхлоридный). – Бой шамотного кирпича. – Стекланный бой незагрязненный. – Мусор от бытовых помещений организаций крупногабаритный
3-ий и 4-ый классы опасности	<ul style="list-style-type: none"> – Смет с территории. – Бумага, непригодная к утилизации. – Стержни после термообработки и облой алюминия. – Шлак металлургический. – Мусор от бытовых помещений организации несортированный (исключая крупногабаритный). – Отходы смеси затвердевших разнородных пластмасс. – Отработанные покрышки. – Аккумуляторы свинцовые отработанные неразборные, со слитым электролитом. – Горелая земля сухая. – Отходы стержней и стержневой смеси. – Шлам после чистки моечных машин.

Продолжение таблицы 1.2

Класс опасности	Наименование отходов
3-ий и 4-ый классы опасности	<ul style="list-style-type: none"> – Шламы, содержащие растворители. – Опилки древесные, загрязненные минеральными маслами. – Горелая стержневая смесь. – Окалина замасленная (содержание масла менее 15%). – Отходы от ремонта мягкой кровли. – Отходы газоочистки. – Древесные отходы с пропиткой и покрытием. – Фильтровальные материалы загрязненные. – Полиэтилено-капролоновые мешки. – Шлам из приемков прессов. – Гидрошлам от вентустановок. – Окалина кузнечного производства. – Отработанная стеариновая кислота. – Графитосодержащая СОЖ отработанная. – Шлам из приемков машин литья под давлением. – Твердые отходы резины. – Отходы офисной техники. – Обтирочный материал, загрязненный маслами. – Отработанная гидрожидкость. – Фильтры воздушные отработанные с автомобилей , фильтры масляные, топливные. – Шлам от закалочных термических ванн, содержащий барий хлористый. – Уайт-спирит отработанный.

Продолжение таблицы 1.2

Класс опасности	Наименование отходов
3-ий и 4-ый классы опасности	<ul style="list-style-type: none"> – Эмульсии и эмульсионные смеси для шлифовки металла отработанные, содержащие масла или нефтепродукты в количестве 15%. – Шлак печей переплава алюминиевого литья. – Абразивная пыль и порошок от шлифования черных металлов. – Гидрошлам от дробеметной камеры и дробеметного барабана. – Песок, загрязненный маслами (содержание масла менее 15%). – Отходы проводов в оболочке. – Отходы озеленения (покос травы). – Шлам шлифовальный. – Отработанный раствор после галтовки. – Списанные деревянные модели. – Пыль графитная. – Окалина замасленная (содержание масла 15% более). – Отработанный стеарат натрия. – Каталитический блок нейтрализатора. – Шлам гальванический. – Мусор строительный.

Продолжение таблицы 1.2

Класс опасности	Наименование отходов
1-ый и 2-ой классы опасности	<ul style="list-style-type: none">– Конденсаторы с трихлордифенилом отработанные.– Отходы полихлорированных дифенилов, терфенилов, полибромированных дифенилов, а также веществ и изделий, их содержащих (исключая отходы синтетических и минеральных масел).– Отходы содержащие свинец (в том числе пыль и/или опилки свинца) несортированные.– Кислота аккумуляторная серная отработанная.– Минеральные масла отработанные.

1.3 Методы обращения с древесными видами отходов в металлургическом производстве

Занимаясь анализом технологической инструкции, был сделан упор на внимательное изучение методов обращения с древесными видами отходов [16].

1.3.1 Сбор, хранение и вывоз древесных отходов из натуральной чистой древесины

Отходы образуются от деревообрабатывающих станков, от упаковки оборудования и металлопроката, забракованной и невозвратной тары. Компонентный состав отхода: деревоотходы, металлоотходы (гвозди)

Короткие, менее 1000 мм., древесные отходы собираются в специальном цехе в унифицированную тару, в специальный контейнер, длинные пакетируются в стоечной таре.

Отходы, образующиеся при распаковке металлопроката, собираются навалом и в стоечной таре.

Древесные отходы, образующиеся от упаковки оборудования, должны быть приведены в состояние, позволяющее вести безопасную работу при погрузке на автомобиль.

Древесные отходы, образующиеся в количестве одной машины, отгружаются с места их образования погрузчиком с поворотной головкой, либо спец. техникой, при условии хранения менее 8 часов.

Мелкая невозвратная деревянная тара, деревоотходы длиной менее 1000 мм., объемом менее одной машины вывозятся цехами на накопительную площадку и сдаются ответственному от цеха.

В целях противопожарной безопасности отходы лесоматериалов накрываются стеклотканью. По мере накопления отгрузка деревоотходов производится в ООО «ПППО» для реализации или дальнейшего захоронения.

1.3.2 Сбор хранение опилок из натуральной чистой древесины

Опилки собираются в циклонах. Вывоз опилок для засыпки полов производится с бункеров автомобилем, оборудованным пологом.

1.3.3 Сбор, хранение отходов пенополистерола с деревянными опилками

Отход относится к 4 классу опасности. Компонентный состав отхода: деревянные опилки, пенополистерол.

Отход собирается в циклоны и вывозится в ООО «ПППО» для передачи в стороннюю организацию.

1.3.4 Сбор, хранение древесных опилок, загрязненных минеральными маслами (содержание масел менее 15%)

Отход образуется при уборке производственных площадей и относится к четвертому классу опасности.

Компонентный состав отхода: опилки древесные, минеральное масло, вода.

Сбор отхода в цехах, где образуется отход, осуществляется в спец. тару.

Подготовленный к отгрузке отход высыпается в кузов автомобиля с помощью погрузчика с поворотной головкой и вывозится в ООО «ПППО».

Допускаемый срок хранения отхода не ограничен, максимальное накопление 2,0 т.

1.3.5 Сбор, хранение древесных отходов с пропиткой и покрытием

Отход образуется периодически при ремонте полов и относится к четвертому классу опасности.

Компонентный состав: древесина, масло минеральное, железо металлическое, песок, вода.

По мере накопления отход собирается в тару и отправляется в места временного хранения отходов.

Загружается с помощью погрузчика с поворотной головкой в автомобиль и вывозится в ООО «ПППО» для последующей передачи в стороннюю организацию. Допускается отгрузка с мест образования отхода.

Допускаемый срок хранения в производстве – 24 часа, максимально разрешенной накопление 4,0 т.

1.3.6 Использованные рабочие модели

Отход образуется при списании модельных комплектов на складах ПТО ВП, используемых для изготовления литейной оснастки, и относится к четвертому классу опасности.

Компонентный состав отхода: смола эпоксидная, древесина, стеклопластик, пластмасса.

Отход собирается в специальную тару.

При накоплении на транспортную партию отход загружается в кузов автомобиля с помощью грузоподъемных механизмов и вывозится в ООО «ПППО» для последующей передачи в стороннюю организацию.

Допускается производить загрузку отхода с мест образования.

Как можно заметить, предприятие избавляется от деревоотходов путем частичной реализации, либо вывозом на полигоны. Такое отношение к отходам рационально, но данный вид отхода можно использовать и в

переработанном виде. Другой же вид может ему придать процесс, который известен под названием пиролиз.

2 Теоретическая часть

2.1 Описание процесса переработки древоотходов путем пиролиза

Пиролизом принято называть процесс термического разложения, который проходит без доступа кислорода. Продуктами этого процесса являются пиролизный газ и углеродистый остаток. Данный вид утилизации отходов намного безопаснее и более безвреден, чем обычное сжигание мусора. Перспективным же он является из-за того, что количество выбросов в атмосферу значительно меньше, чем при том же сжигании. Следовательно, загрязнение окружающей среды значительно меньше.

Выход древесного угля после процесса пиролиза составляет 25-45%, который можно применять в качестве упрочнителя для поверхностей стальных изделий; сорбента (активированного угля) при очистке вод и газов; карбюратора, для увеличения прочности стальных поверхностей изделий – науглероживания и др.

Также продуктом является пироконденсат (жизжа) – это эмульсия, где дисперсной средой является раствор воды с органическими веществами, а дисперсной фазой – малорастворимые в воде продукты пиролиза. В результате отстаивания такая жижка превращается в отстойную смолу, которая на выходе составляет 4-11%. Вдобавок образуется уксусная кислота 4-7%, метанол 1-2% от общей сухой массы сырья [40].

Оборудование, которое можно использовать при термическом разложении, создано и применено множество, что в современном времени упрощает задачи подбора установок для создания проектов в зависимости от предъявляемых задач. Со временем разработки в области термического разложения усовершенствуются и вытесняют прошлое оборудования. Также существует много патентов, которые до сих пор не нашли свое применение, но являются перспективными по мнению разработчиков. Классификация аппаратов для термолиза древесины приведена на схеме (рисунок 1). Как

видно из схемы, разнообразие конструкций определяется и материалом, из которого изготавливаются аппараты, и выбранным способом организации процесса, и многими другими факторами. Влияние на подбор на конструкцию оборудования или даже целого комплекса, оказывает конечный продукт. Немаловажно для определения конструкции аппарата – какие продукты и какого качества должны выпускаться.

Основные требования, закладываемые перед проектированием установок для углежжения в пиролизных печах:

«1. Производительность по сырью соответствует объему отходов на предприятии. Таким образом, исключаются дальние перевозки сырья, удорожающие производство.

2. При небольшой производительности нецелесообразно перерабатывать жидкие продукты. Они должны сжигаться, покрывая потребности процесса в тепле.

3. Установка должна быть экологически чистой. Необходимо исключить выбросы в окружающую среду и загрязнения.

4. Установка должна быть простой в изготовлении. Должна предусматриваться возможность ее перемещения при передислокации лесозаготовок.

5. Установка должна быть проста в управлении, взрыво- и пожаробезопасна».



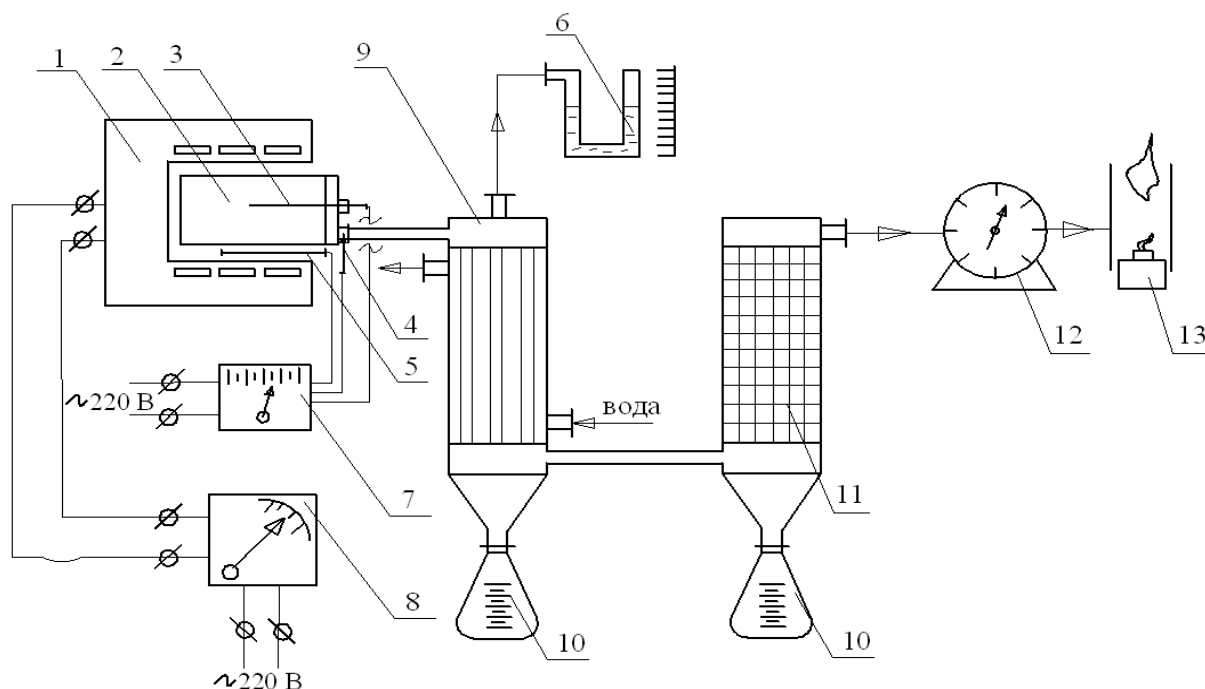
Рисунок 1 – Классификация аппаратов пиролиза древесины

3 Исследовательская часть

3.1 Пиролиз сосновых опилок [27]

3.1.1 Методика проведения работы.

«Работа проводится на пилотной установке, представленной на рис.1., которая состоит из реторты 2 с отводом для выхода парогазов, патрубками замера температур выхода парогазов 4, 5 и по центру объема реторты 3, конденсационной системы 9, градуированным приемником жидких продуктов 10, системы очистки неконденсируемых газов 11, газовых часов 12, муфелем с регулируемым нагревом 1, электронного потенциометра для замера температур в муфеле 7, реторте и парогазов на выходе, манометра для замера давления в системе 6 и газовой горелки для сжигания н/газов 13.»



«1 – муфельная печь; 2 – реторта; 3,4,5 – термопара ХА (хромель-алюмель); 6 – V-образный манометр; 7 – электронный потенциометр замера температур ЭПВ-2, 8 – ЛАТР; 9 – конденсационная система; 10 – емкость для сбора пироконденсата; 11 – фильтр; 12 –газовые часы ГСБ-400; 13 – горелка сжигания неконденсируемых газов».

Рисунок 2 – Лабораторная пиролизная установка

3.1.2 Подготовка к работе

«Биомасса дерева (опилки, кора, отходы лесозаготовок, лесопиления, деревообработки, химической переработки и т. д.) предварительно взвешивается (приблизительно 2–3 кг) в отдельную тару, производится забор пробы для определения содержания влаги, обрабатывается реагентом (по спец. заданию) и загружается в реторту. Реторта закрывается (проверяется герметичность, наблюдают за асбографитовой прокладкой) и подсоединяется к системе улавливания для определения объема получаемых жидких продуктов пиролиза, объема неконденсирующихся газов и мониторинга температур. Обязательно проверить наличие протока охлаждающей воды в конденсационной системе, работу электронного потенциометра по показаниям начальных температур в муфеле, реторты и парогазов. После проведения пуско-наладочных работ и уверенности в безопасности выполняемого процесса установка может быть запущена в работу».

3.1.3 Проведение пиролиза

«Включается заданный режим нагрева и в процессе пиролиза по времени (через каждые 10 мин.) регистрируются: температуры муфеля, реторты, парогазов, объем конденсата и отстойной смолы, неконденсирующихся газов и давление. Отмечается температура и время первой капли конденсата и начало самостоятельного горения неконденсирующихся газов. В процессе пиролиза производится три отбора неконденсирующихся газов в газо-вые пипетки: начало процесса, экзотермическое разложение и прокалка угля для последующего хроматографического анализа. В зависимости от времени (температуры) на основании полученных данных строятся графики Excel выхода конденсата и н/газов, определяются продолжительность и температурные интервалы основных стадий процесса: сушки сырья, экзотермического разложения и прокаливания угля. После прекращения выделения конденсата и неконденсирующихся газов и установления постоянной заданной температуры в реторте, производят отключение нагрева, охлаждение реторты с муфелем и последующую разборку системы.

Полученные продукты, уголь и конденсат собирают и взвешивают. Собранный конденсат подвергают последующему отстаиванию в делительной воронке.

Полученные жидкие продукты пиролиза взвешивают в тарированных колбах и определяют массу каждой фракции отдельно».

3.2 Определение характеристик активированного угля

3.2.1 Определение содержания золы в остатке (Зольность)

Зольность определяется согласно стандартизированному процессу, который регламентируется в ГОСТах 12596 [7] и 7657-84 п.4 [13].

3.2.2. Определение влажности угля-сырца

Содержание воды в образце угля-сырца определяется согласно стандартизированному процессу, который регламентируется в ГОСТ 16399-70 разд.2. [8]

Таблица 2 – Экспериментальные данные по исходному сырью

Масса опилок до сушки, г	Масса опилок после сушки, г	Влажность, %
10	8,302	14,8%

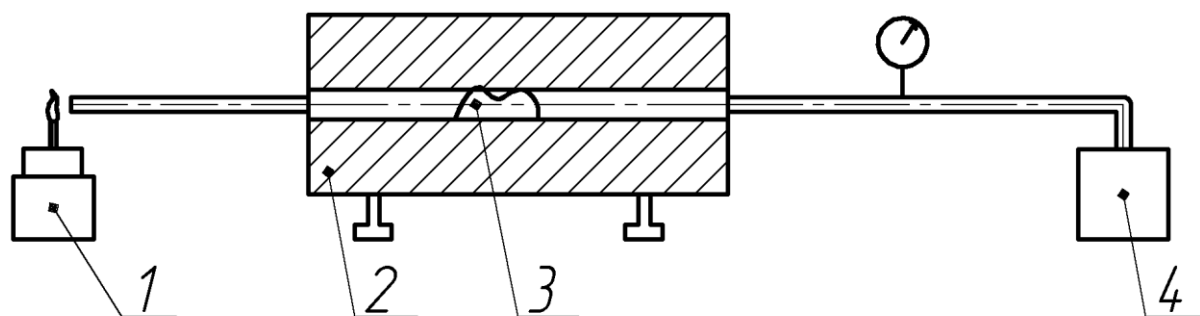
3.2.3 Определение содержания нелетучего углерода

Содержание нелетучего углерода в образце угля-сырца определяется согласно стандартизированному процессу, который регламентируется в ГОСТ 7657-84 п.4.8. [13]

3.3 Получение активного угля

«Образцы активированного угля получают при следующих условиях: активирующий агент — водяной пар; температура активации 970°C; продолжительность активации при заданной температуре — 10, 15, 30, 60, 120 минут. Образцы угля, массой около 3 г помещаются в трубчатый вращающийся реактор с сетчатой перегородкой, частота вращения 1 об/мин.

Реактор с углем помещается в трубчатую печь, а затем к нему подводят острый пар. Продолжительность нагрева до 970°C составляет 3 мин. После нагрева реактора до заданной температуры производится отсчет времени активации, после окончания которого, подача водяного пара прекращается и отверстия закрывают, а реактор охлаждается на открытом воздухе. После полного охлаждения реактора, полученный активированный уголь взвешивают и помещают в зип-пакет».



1 – Сжигание; 2 – Реактор активации; 3 – Сырье; 4 – Парогенератор.

Рисунок 3 – Схема установки по активации

3.4 Исследование свойств активного угля

3.4.1 Определение суммарной пористости активированного угля по воде

Суммарные поры в образце активированного угля определяются согласно стандартизированному процессу, который регламентируется в ГОСТ 6217-74 [11].

3.4.2 Определение сорбционной активности образца угля по метиленовому голубому

Адсорбционная активность образцов активированного угля по индикатору метиленовому голубому определяются согласно стандартизированному процессу, который регламентируется в ГОСТ 4453-74. [10]

3.4.3 Определение адсорбционной активности образца угля по йоду

Определение адсорбционной активности образцов активированного угля по индикатору йод определяются согласно стандартизированному процессу, который регламентируется в ГОСТ 6217-74.[11]

3.5 Экспериментальная часть

3.5.1 Характеристика исходного сырья

Исходным сырьём для пиролиза в нашем эксперименте послужили опилки сосны обыкновенной— растения, широко распространённого, вид рода Сосна семейства Сосновые. Выбор конкретного вида исследования обусловлен его тем, что данный вид отхода образуется в больших количествах на территории «ПАО АВТОВАЗ» и вследствие этого является легкодоступным сырьем.

3.5.2 Экспериментальные данные по полученным образцам угля-сырца

Проведена серия опытов по пиролизу сосновых опилок деревомоделного цеха, результаты представлены в таблице 3; таблице 4 и таблице 5.

Таблица 3— Материальный баланс пиролиза №1

Приход	Масса, г	%	Расход	Масса, г	%, от сырь я	%, от а.с.д
Древес ина, в т.ч:	87,1	100	1. Уголь	23	26,4	30,9
а.с.д.	74,4	85,45	2. Суммарный конденсат, в т.ч:	19	21,8	17,1

Продолжение таблицы 3

Приход	Масса, г	%	Расход	Масса, г	%, от сырья	%, от а.с.д
вода	12,7	14,55	3. Неконденсирующиеся газы и потери по разности	45,1	51,8	60,6
Итого	87,1	100		87,1	100	

Таблица 4— Материальный баланс пиролиза №2

Приход	Масса, г	%	Расход	Масса, г	%, от сырья	%, от а.с.д
Древесина, в т.ч:	115,4	100	1. Уголь	35,8	31	36,3
а.с.д.	98,6	85,45	2. Суммарный конденсат, в т.ч:	18,1	15,7	18,3
вода	16,8	14,55	3. Неконденсирующиеся газы и потери по разности	61,5	53,3	62,4
Итого	115,4	100		115,4	100	

Таблица 5— Материальный баланс пиролиза №3

Приход	Масса, г	%	Расход	Масса, г	%, от сырья	%, от а.с.д
Древесина, в т.ч:	136,4	100	1. Уголь	33,6	24,6	30,1
а.с.д.	116,55	85,45	2. Суммарный конденсат, в т.ч:	18,5	13,6	15,9
вода	19,85	14,55	3. Неконденсирующиеся газы и потери по разности	71,5	61,8	61,3
Итого	136,4	100		136,4	100	

Методами указанными в п. 3.4.1; 3.4.3 определены основные характеристики угля-сырца регламентируемые ГОСТами. [7,8,10,11,13]

Таблица 6— Характеристика угля сырца

Летучий углерод, %	Нелетучий углерод, %	Зольность, %
5,30	92,40	2,30

3.5.3 Экспериментальные данные по получению активированного угля

Экспериментальные данные по получению активированного угля из угля- сырца представлены в таблице 7.

Таблица 7— Получение активированных углей

Номер опыта	Время активации, мин.	Масса угля до активации, г	Масса угля после активации, г	Степень обгара, %
1	20	9,717	5,943	38,8
2	20	9,052	5,995	33,8

Продолжение таблицы 7

Номер опыта	Время активации, мин.	Масса угля до активации, г	Масса угля после активации, г	Степень обгара, %
3	30	12,102	4,996	58,7
4	40	12,162	6,957	42,8
5	60	12,586	3,705	70,6
6	60	10,954	4,547	58,5
7		11,445	3,428	70,0

3.5.4 Исследование свойств полученного активированного угля

Таблица 8— Характеристика полученного активированного угля

Номер опыта	Суммарные поры по воде V, %	Активность по метиленовому голубому, мг/г	Активность по йоду, мг/г	Активность по гексану, мг/г	Степень обгара, %
1	0,983	63	44,5	85	38,8
2	0,913	62,5	43,2	90	33,8
3	1,343	136	68,6	137	58,7
4	1,240	154	78,7	143	42,8
5	1,140	106	63,5	152	70,6
6	1,575	83	81,3	183	58,5
7	1,770	117	88,9	219	70,0

Продолжение таблицы 8

Номер опыта	Суммарные поры по воде V, %	Активность по метиленовому голубому, мг/г	Активность по йоду, мг/г	Активность по гексану, мг/г	Степень обгара, %
БАУ-А	0,977	137	67,3	120	

3.5.5 Использование метода БЭТ для определения адсорбционных свойств [10]

Расчетные данные, полученные обработкой изотерм, представлены в таблице 9.

Таблица 9— Расчетные данные, полученные обработкой изотерм.

Объем микропор, см ³ /г	Суммарный объем пор, см ³ /г	Удельная поверхность мезопор, м ² /г
0,35	0,55	728,1

3.6 Заключение по исследовательской части

По завершению испытаний по пиролизу и активации из сосновых опилок с влажностью 14%, был получен активированный уголь с удельной поверхностью в 728,1 м²/г. Такой уголь используют в лекеро-водочном производстве и очистке сточных вод от примесей и, согласно ГОСТам, является не уступающим по качеству активному углю марки БАУ-А.

Данную методику можно использовать для контроля качества полученного угля. Такой контроль обеспечит мониторинг отлаженности технического процесса, а также качество полученного продукта. Необходимо данные мероприятия проводить раз в два дня, чтобы реагировать на негативные изменения в процессе углежжения и активации.

4 Технологическая часть

4.1 Пооперационный расчёт сырья и материалов [30]

Таблица 4.1 – Исходные данные для производства активированного угля

Наименование	Данные и их расчет
Режим работы	Круглосуточный
Производительность активированного угля, кг/ч	$\frac{36000}{7200} = 5$ кг/ч
Сырьевая потребность	<ol style="list-style-type: none"> 1) Степень обгара угля-сырца при активации 40%; 2) Необходимо угля-сырца: $\frac{5}{60} \cdot 100 = 8,33$ кг/ч; 3) Выход угля-сырца при пиролизе: 25% от абсолютно сухого сырья; 4) Необходимость в абсолютно сухом сырье: $\frac{8,33}{25} \cdot 100 = 33,33$ кг/ч; 5) Количество необходимого исходного сырья: $\frac{33,33}{88} \cdot 100 = 37,88$ кг/ч; 6) Влажность сырья: 12%; 7) Сырье поступающее на операцию сушки: $G_c = 37,88$ кг/ч; 8) Количество воды содержащегося в исходном сырье: $G_{в.ис.} = 37,88 \cdot 0,12 = 4,55$ кг/ч; 9) Абсолютно сухое сырье: $37,88 - 4,55 = 33,33$ кг/ч; 10) Влажность сырья после сушки: $W_k = 5$ %; 11) Удаленная влага по время процесса сушки: $G_B = \frac{37,88 \cdot (12 - 5)}{100 - 5} = 2,79$ кг/ч;

Продолжение таблицы 4.1

Сырьевая потребность	12) Остаточная вода в высушенном сырье: $G_{\text{ост.в}} = 4,55 - 2,79 = 1,79$ кг/ч; 13) Масса высушенного сырья: $G_{\text{в.с.}} = 33,33 + 1,79 = 35,12$ кг/ч.
Начальная температура сырья	$t_{\text{н}} = 5^{\circ}\text{C}$
Температура сырья после сушки	$t_{\text{к}} = 100^{\circ}\text{C}$
Сушильный агент	Топочные газы и рециркулят сушки
Температура сушильного агента на входе	$t_{\text{с.а.}} = 450^{\circ}\text{C}$
Температура отработанного сушильного агента	$t_{\text{отр.а.}} = 150^{\circ}\text{C}$

4.2 Теоретический расчет операции активации угля-сырца острыми парами воды [30]

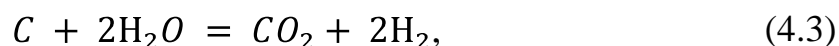
Материальный баланс для реакции активации

Углеродный продукт, вступивший в реакцию активации:

$$G_{\text{C}} = G_{\text{с-у}} - G_{\text{ау}} \quad (4.1)$$

$$G_{\text{C}} = 8,33 - 5,0 = 3,33 \text{ кг/ч}$$

Уравнения реакции активации углеродного продукта парами воды:



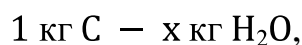
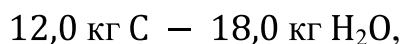
30% углерода вступает в уравнение реакции 4.2:

$$3,33 \cdot 0,3 = 1,0 \text{ кг/ч.}$$

70% углерода вступает в уравнение реакции 4.3:

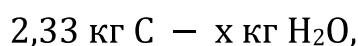
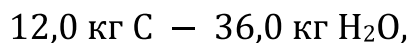
$$3,33 \cdot 0,7 = 2,33 \text{ кг/ч.}$$

Количество воды необходимое для активации по уравнению 4.2:



$$x = \frac{1 \cdot 18,0}{12,0} = 1,5 \text{ кг/ч Н}_2\text{О},$$

по уравнению 4.3:



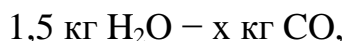
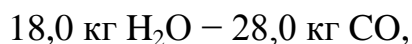
$$x = \frac{2,33 \cdot 36,0}{12,0} = 7 \text{ кг/ч Н}_2\text{О}.$$

«Всего для реакций активации углерода угля необходимо паров воды»:

$$G_{\text{пара (теор.)}} = 1,5 + 7,0 = 8,5.$$

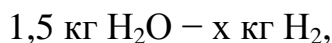
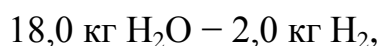
Отработанные газы (абгазы активации)

Оксида углерода по уравнению 4.2:



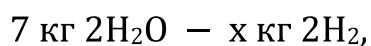
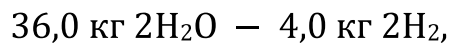
$$x = \frac{1,5 \cdot 28,0}{18,0} = 2,33 \text{ кг ч СО}.$$

Водорода по уравнению 4.2:



$$x = \frac{1,5 \cdot 2,0}{18,0} = 0,17 \text{ кг ч Н}_2,$$

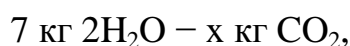
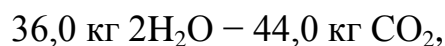
по уравнению 4.3



$$x = \frac{7 \cdot 4,0}{36,0} = 0,78 \text{ кг ч Н}_2,$$

$$G_{\text{пара (теор.)}} = 0,17 + 0,78 = 0,95 \text{ кг/ч.}$$

Диоксид углерода по уравнению реакции 4.3



$$x = \frac{7 \cdot 44,0}{36,0} = 8,56 \text{ кг ч } \text{H}_2,$$

Тепловой баланс

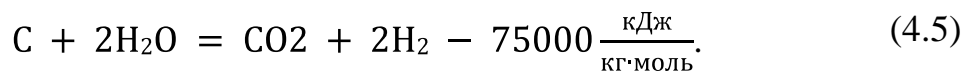
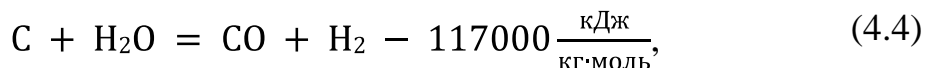
Пришло тепла

$$8,33 \cdot 2,09 \cdot 850 = 14804,17 \text{ кДж/ч}$$

«Газовый теплоноситель — активирующий агент по разности с расходом»

Ушло тепла

«Эндотермические реакции активации углерода угля»:



Расход тепла по уравнению реакции 4.4:

$$G_{c1} = \frac{1}{12} = 0,083 \text{ кг}\cdot\text{моль},$$

$$Q_{4-1} = G_{c1} \cdot 117000,0, \quad (4.6)$$

$$Q_{4-1} = 0,083 \cdot 117000,0 = 9750 \text{ кДж ч.}$$

Затраты тепла по уравнению реакции 4.5:

$$G_{c2} = \frac{2,33}{12} = 0,19 \text{ кг}\cdot\text{моль},$$

$$Q_{4-2} = G_{c2} \cdot 75000,0, \quad (4.7)$$

$$Q_{4-2} = 0,19 \cdot 75000,0 = 14583,33 \text{ кДж ч.}$$

$$Q_4 = Q_{4-1} + Q_{4-2}. \quad (4.8)$$

$$Q_4 = 9750 + 14583,33 = 24333,33 \text{ кДж ч.}$$

Ушедшее тепло с активным углем

$$Q_3 = G_{ay} \cdot C_p \cdot t_{\text{ВЫХ}}, \quad (4.9)$$

$$Q_3 = 5 \cdot 2.09 \cdot 850 = 8882,5 \text{ кДж ч},$$

«где $C_p = 2,09$ — теплоемкость угля $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.»

Ушедшее тепло с абгазами активации

$$Q_4 = G_{аб} \cdot C_{аб} \cdot t_{вых}, \quad (4.10)$$

$$Q_4 = 11,83 \cdot 1,24 \cdot 850 = 12464,81 \text{ кДж/ч}.$$

4.3 Материальные и тепловые балансы сушки сырья с воздухом

[30]

Пришло тепла

1. Тепло, вносимое с сушильным агентом при $t = 450$ °С:

$$Q_{тс} = G_{тс} \cdot t_{тс} \cdot C_p, \quad (4.11)$$

$$Q_{тс} = G \cdot 450 \cdot 1.26 = 450 + 1.26 \cdot G_{тс} \text{ кг ч};$$

«где $C_p = 1,26$ кДж/(кг · К)».

2. Тепло поступающего сырья при $+5$ °С:

$$Q_c = G_{а.с.с} \cdot C_{ра.с.с} \cdot t + G_v \cdot C_{рв} \cdot t, \quad (4.12)$$

$$Q_c = 33.33 \cdot 1.8 \cdot 5 + 4,55 \cdot 4,22 \cdot 5 = 395.91 \cdot G_{тс} \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{прих} = 450 + 1.26 \cdot G_{тс} + 395.91,$$

«где $C_{ра.с.с} = 1,8$ кДж/(кг · К) — удельная теплоемкость древесины»;

« $C_{рв} = 4,22$ кДж/(кг · К) — удельная теплоемкость воды».

Ушло тепла

Расход тепла на испарение и перегрев удаленной влаги:

$$Q_1 = Q_{вп} \cdot ((t_{п} - t_{к}) \cdot C_p + r), \quad (4.13)$$

$$Q_1 = 6,57 \cdot ((150 - 100) \cdot 4.22 + 2260) = 6586,92 \text{ кДж/ч}$$

«где $r = 2260,0$ кДж/кг — теплота парообразования воды» [15];

« $C_p = 4,22$ кДж/(кг · град) — теплоемкость паров воды».

Расход тепла на нагрев поступающего сырья до 100 °С:

$$Q_{вс} = G_{а.с.с} \cdot C_{ра.с.с} \cdot t + G_v \cdot C_{рв} \cdot t, \quad (4.14)$$

$$Q_{вс} = 33.33 \cdot 1.8 \cdot (100 - 5) + 4.55 \cdot 4,22 \cdot (100 - 5) = 7522,27 \text{ кДж/ч}.$$

Расход тепла с отработанным сушильным агентом

$$Q_2 = G_{\text{тс}} \cdot t \cdot C_p, \quad (4.15)$$

$$Q_2 = G_{\text{тс}} \cdot 150 \cdot 1.21,$$

$$Q_3 = (G_{\text{тс}} + 2,79) \cdot 150 \cdot 1.21,$$

«где C_p — 1,21 кДж/(кг · град)».

Потери тепла в окружающую среду (5% от приходных статей баланса):

$$Q_4 = 395.91 \cdot 0.05 = 19,8$$

Расчет количества сушильного агента:

$$Q_{\text{расх}} = Q_1 + Q_c + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (4.16)$$

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{прих}}, \quad (4.17)$$

$$G_{\text{тс}} = \frac{(6586,92 + 7522,27 + 837,32 + 19,8 - 395,91)}{(450 \cdot 1,26 - 150 \cdot 1,21 - 0,05 \cdot 450 \cdot 1,26)}$$

$$G_{\text{тс}} = 40,8.$$

4.4 Материальные и тепловые балансы пиролиза сырья [30]

Таблица 4.2 – Исходные данные для расчета баланса пиролиза

Наименование	Данные
Количество древесины, поступающей на пиролиз	$G_{\text{д}} = 35,12$ кг/ч
Количество абс.сух. древесины, поступающей на пиролиз	$G_{\text{а.с.д.}} = 33,33$ кг/ч
Количество влаги в древесине — 12 %	$G_{\text{воды}} = 1,79$ кг/ч
Температура древесины на входе в зону пиролиза	100 °С
Температура угля на выходе из зоны пиролиза	550 °С
Температура парогазов на выходе из зоны пиролиза	250 °С
Температура газового теплоносителя на входе в зону пиролиза	t — 900°С

Пришло тепла

Физическое тепло абсолютно сухого сырья древесины ($t = 100^\circ\text{C}$)

$$Q_1 = G \cdot t \cdot C_p, \quad (4.18)$$

$$Q_1 = 2 \cdot 33,33 \cdot 100 = 6666,66 \text{ кДж/ч},$$

«где C_p — $2,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ — теплоемкость древесины», [15];

« t — 100°C ».

Физическое тепло влаги в древесине:

$$Q_2 = G_{\text{воды}} \cdot t \cdot C_p, \quad (4.19)$$

$$Q_2 = 8,33 \cdot 4,22 \cdot 100 = 3516,67 \text{ кДж/ч};$$

«где C_p — $4,22 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ — теплоемкость воды» [15];

Тепло реакций термического разложения:

$$Q_3 = G_{\text{др.а.с.}} \cdot r, \quad (4.20)$$

$$Q_3 = 8,33 \cdot 1085 = 9041,67 \text{ кДж/ч},$$

«где r — тепло экзотермической реакции пиролиза древесины — $1085,0$ кДж» [48];

Тепло, вносимое теплоносителем:

$$Q_4 = G_{\text{тс}} \cdot t \cdot C_p, \quad (4.21)$$

$$Q_4 = G_{\text{тс}} \cdot 850 \cdot 1,26 \text{ кДж/ч},$$

«где $C_p = 1,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ - теплоемкость теплоносителя пиролиза при 850°C ».

Итого:

$$Q_{\text{прих}} = 6666,66 + 3516,67 + 9041,67 + G_{\text{тс}} \cdot 850 \cdot 1,26 \text{ кДж/ч}.$$

Ушло тепла

С углем-сырцом:

$$Q_5 = G \cdot t \cdot C_p, \quad (4.22)$$

$$Q_5 = 8,5 \cdot 850 \cdot 2,09 = 15100,25 \text{ кДж/ч},$$

где $C_p = 2,09 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ — теплоемкость угля ($t=850^\circ\text{C}$).

С испаренной влагой (гигроскопической влагой древесины и реакционной):

$$Q_6 = G \cdot ((t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) \cdot C_{\text{п}} + r), \quad (4.23)$$

$$Q_6 = 20,33 \cdot (250 - 100) \cdot 1,94 + 2260 = 8177 \text{ кДж/ч,}$$

«где $t_{\text{п}}$ — температура парогазов»;

«на выходе из реторты — 250°C »;

« $t_{\text{к}}$ - температура конденсации паров — 100°C »;

« $C_{\text{п}} = 1,94 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплоемкость паров воды»;

« $r = 2260 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплота парообразования воды» [15].

Количество влаги сырья, испарённой в зоне пиролиза:

$$G_{\text{в}} = 44,44 \cdot (5/100) = 1,75 \text{ кг/ч,}$$

Со смолистыми (органическими) веществами по формуле 4.23:

$$Q_7 = 100 \cdot (((250 - 100) \cdot 1,68) + 419) = 67100 \text{ кДж/ч,}$$

«где $t_{\text{п}}$ — температура парогазов, на выходе из реторты — 250°C »;

« $t_{\text{к}}$ — температура конденсации паров смолы - 180°C »;

« $C_{\text{п}} = 1,68 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплоемкость паров» [48];

« $r = 419,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплота парообразования»;

« $C_{\text{ж}} = 2,10 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ».

С кислотами, в пересчете на уксусную кислоту по формуле 4.23:

$$Q_8 = 3,33 \cdot (((250 - 118) \cdot 1,68) + 406) = 2092,53 \text{ кДж/ч,}$$

«где $t_{\text{п}}$ — температура парогазов, на выходе из реторты — 250°C »;

« $t_{\text{к}}$ — температура конденсации паров кислот - 118°C »;

« $C_{\text{п}} = 1,68 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплоемкость паров» [48];

« $r = 406,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплота парообразования»;

« $C_{\text{ж}} = 2,25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ».

Со спиртопродуктами, в пересчете на метанол по формуле 4.23:

$$Q_9 = 0,94 \cdot (((250 - 66) \cdot 1,68) + 1097,8) = 1328,76 \text{ кДж/ч,}$$

«где $t_{\text{п}}$ — температура парогазов, на выходе из реторты — 250°C »;

« $t_{\text{к}}$ — температура конденсации паров кислот — 66°C »;

« $C_{\text{п}} = 1,68 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплоемкость паров» [48];

« $r = 1097,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплота парообразования».

С неконденсируемыми газами пиролиза по формуле 4.22:

$$Q_{10} = 150 \cdot 1,32 \cdot 250 = 49500 \text{ кДж/ч},$$

«где $C_p = 1,32 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплоемкость неконденсирующихся газов».

С дымовыми газами (отработанный теплоноситель пиролиза) по формуле 4.21:

$$Q_{11} = G_{\text{тс}} \cdot 1,26 \cdot 250$$

«где $C_p = 1,32 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплоемкость теплоносителя пиролиза».

Теплопотери (5% от приходных статей баланса)

$$Q_{12} = 6666,66 + 3516,67 + 9041,67 + G_{\text{тс}} \cdot 850 \cdot 1,26$$

Итого:

$$Q_{\text{прих}} = 15100,25 + 8177 + 67100 + 2092,53 + 1328,76 + 49500 + G_{\text{тс}} \cdot 1,26 \cdot 250 + 6666,66 + 3516,67 + 9041,67 + G_{\text{тс}} \cdot 850 \cdot 1,26,$$

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}$$

$$G_{\text{тс}} = 202,63 \text{ кг/ч}.$$

4.5 Расчет уточненных материального и теплового баланса активации [30]

Исходные данные

Наименование	Данные
«Температура угля поступающего в зону активации»	t — 550°C
«Температура угля на выходе из зоны активации»	t — 850°C
«Степень обгара угля при активации»	β — 40%
«Температура активирующего агента поступающего в зону активации»	t — 950°C
«Активирующий агент»	Перегретый водяной пар (в составе

	топочных газов от сжигания парогазов пиролиза и рециркулята сушки сырья)
«Количество поступающего угля на активацию»	$G_{\text{угля}} — 8,33 \text{ кг/ч}$
«Степень конверсии водяного пара»	100%
«Количество продукта, получаемого в процессе активации»	5 кг/ч
«Количество углерода, вступившего в реакцию»	3,33 кг/ч
«Теоретическое количество необходимых паров воды»	8,5 кг/ч
«Теоретический расход тепла»	1,9 МДж/кг АУ

4.5.2 Расчет уточненного материального баланса активации [30]

Приходные статьи:

1 Уголь-сырец — 8,33 кг/ч;

2 Теплоноситель-активирующий агент (топочные газы сжигания парогазов пиролиза), в количестве 30,5 % от 1909.59 кг/ч, т.е. 582.43 кг/ч состава, кг/ч:

- N_2 — 317,42 или 54,5%;
- CO_2 — 133,96 или 23,0%;
- паров H_2O — 131,05 или 22,5%.

Расход

1 Активированный уголь — 5 кг/ч;

2 Абгазы активации — 11,83 кг/ч, в т.ч.:

- CO_2 — 8,56;
- CO — 2,33;
- H_2 — 0,94;

3 Отработанный теплоноситель — 23,63 кг/ч:

4.5.3 Расчет уточненного теплового баланса активации угля [30]

Пришло тепла с углем-сырцом

$$Q_1 = G_{y.c.} \cdot C_p \cdot t_{y.c.}, \quad (4.24)$$

$$Q_1 = 8,33 \cdot 2,09 \cdot 850 = 14804,17 \text{ кДж/ч},$$

«где $C_p = 2,09 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — теплоемкость угля».

С парогазовым теплоносителем, включая пары воды:

$$Q_2 = G_{д.г.} \cdot C_p \cdot t_{вх.}, \quad (4.25)$$

$$Q_2 = X \cdot 1,8 \cdot 950 = 1710X \text{ кДж/ч},$$

«где $C_p = 1,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — парогазовым теплоносителем».

$$Q_{\text{прих}} = Q_1 + Q_2 = 14804,17 + 1710X \text{ кДж/ч}$$

Средняя теплоемкость отработанных газов:

$$C_{\text{пер с}} = 0,544 \cdot 1,03 + 0,456 \cdot 1,99 = 1,5 \text{ кДж/кг К (3.4)}$$

Ушедшее тепло с активным углем:

$$Q_3 = G_{ay} \cdot C_p \cdot t_{\text{вых.}}, \quad (4.26)$$

$$Q_3 = 5 \cdot 2,09 \cdot 850 = 8882,5 \text{ кДж/ч},$$

«где $C_p = 2,09$ — теплоемкость угля $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ».

На химические реакции газификации углерода угля:

Затраты тепла по реакции 4.4:

$$G_c = 1/12,0 = 0,083 \text{ кг-моль}$$

$$Q_{4-1} = G_c \cdot 117000,0 = 0,083 \cdot 117000,0 = 9750 \text{ кДж/ч.}$$

Затраты тепла по реакции 4.5:

$$G_c = 2,33/12 = 0,19 \text{ кг-моль},$$

$$Q_{4-2} = G_c \cdot 75000 = 0,19 \cdot 75000 = 14583,33 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_4 = Q_{4-1} + Q_{4-2} = 9750 + 14583,33 = 24333,33 \text{ кДж/ч.}$$

С отработанным теплоносителем (включая абгазы активации):

$$Q_5 = X \cdot t \cdot C_p = X \cdot 850 \cdot 2,09 = 1776,5X \text{ кДж/ч.}$$

Теплопотери (5% от приходных статей баланса):

$$Q_6 = (14804,17 + 1710X) \cdot 0,05 = 740,21 + 85,5X \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}$$

$$14804,17 + 1710X = 8882,5 + 24333,33 + 1776,5X + 740,21 + 85,5X$$

$$X = 126 \text{ кг/ч}$$

4.6 Расчеты сжигания парогазов пиролиза и абгазов активации [30]

4.6.1 Сжигание парогазов пиролиза

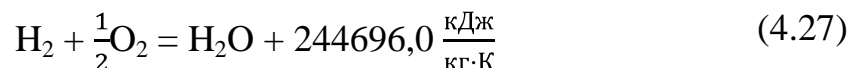
Таблица 4.3 – Исходные данные сжигающихся парогазов

Наименование	Данные
«Температура парогазов поступающих на сжигание»	250°C
«Воздух на сжигание подается с температурой»	80°C с $\alpha = 1,0$

Расчет сжигания компонентов газовой фазы парогазов пиролиза

Содержание H_2 в парогасах пиролиза — 1.2 кг/ч;

Сжигание H_2 происходит по реакции:



Количество получаемого тепла:

2,0 кг H_2 — 244696,0,

1,2кг H_2 — X,

$$X = \frac{244696,0 \cdot 1,2}{2,0} = 146817,6 \text{ кДж/ч.}$$

Необходимое количество кислорода на сжигание H_2 :

2,0 кг H_2 — 16,0 кг O_2 ,

1,2 H_2 – X,

$$X = \frac{1,2 \cdot 16,0}{2,0} = 9,6 \text{ кг/ч } \text{O}_2.$$

Количество N_2 из воздуха при сжигании H_2 — 32,14 кг/ч

$$\frac{9,6 \cdot 77,0}{23} = 32,14 \text{ кг/ч.}$$

Количество образующейся H_2O от сжигания H_2 :

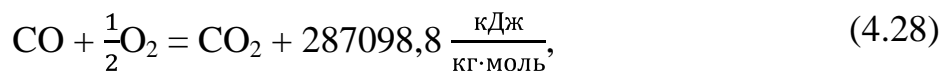
2,0 кг H_2 — 18,0 кг H_2O

1,2 кг Н₂ — X

$$X = \frac{1,2 \cdot 18,0}{2,0} = 10,8 \text{ кг/ч Н}_2\text{О}$$

Содержание СО в парагазах пиролиза — 47,9 кг/ч;

Сжигание происходит по реакции:



28,0 кг СО — 287098,8,

47,9 кг СО — X,

$$X = \frac{47,9 \cdot 287098,8}{28,0} = 361895,6 \text{ кДж/ч.}$$

Необходимое количество кислорода на сжигание СО:

28,0 кг СО — 16,0 кг О₂

47,9 кг СО — X

$$\frac{47,9 \cdot 16,0}{28} = 27,37 \text{ кг/ч О}_2$$

Количество N₂ из воздуха при сжигании СО:

$$27,37 \cdot 3,35 = 91,69 \text{ кг/ч}$$

Количество СО₂ от сжигания СО:

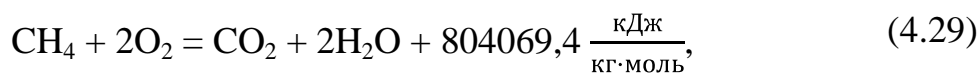
28,0 кг СО — 44,0 кг СО₂,

47,9 кг СО — X,

$$X = 47,9 \cdot \frac{44,0}{28,0} = 75,27 \text{ кг/ч СО}_2.$$

Содержание СН₄ в парагазах пиролиза — 19,6 кг/ч

Сжигание происходит по реакции:



16,0 кг СН₄ — 804069,4,

19,6 кг СН₄ — X,

$$X = \frac{19,6 \cdot 804069,4}{16,0} = 984985 \text{ кДж/ч.}$$

Необходимое количество кислорода на сжигание СН₄:

16,0 кг СН₄ — 64,0 кг О₂,

19,6 кг СН₄ — X,

$$\frac{64,0 \cdot 19,6}{16,0} = 78,4 \text{ кг/ч.}$$

Количество N_2 из воздуха при сжигании CH_4 — 262.64 кг/ч

$$78,4 \cdot 3,35 = 262,64 \text{ кг/ч}$$

Количество CO_2 от сжигания CH_4 :

$$16,0 \text{ кг } CH_4 \text{ — } 44,0 \text{ кг } CO_2,$$

$$19,6 \text{ кг } CH_4 \text{ — } X \text{ } CO_2,$$

$$X = \frac{44,0 \cdot 19,6}{16,0} = 53,9 \text{ кг/ч.}$$

Количество H_2O от сжигания CH_4 :

$$16,0 \text{ кг } CH_4 \text{ — } 36,0 \text{ кг } H_2O,$$

$$19,6 \text{ кг } CH_4 \text{ — } X \text{ } H_2O,$$

$$X = \frac{36,0 \cdot 19,6}{16,0} = 44,1 \text{ кг/ч.}$$

Сумма тепла от сжигания неконденсирующихся газов пиролиза:

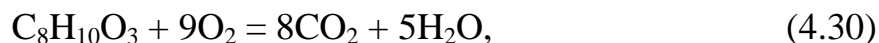
$$Q_1 = 146817,6 + 361895,6 + 984985 = 1493698 \text{ кДж/ч.}$$

4.6.1.1 Расчёт сжигания паровой фазы парогазов пиролиза

Содержание смолистых веществ в парогасах пиролиза — 100,0 кг/ч.

В соответствии с элементным составом, условно принимаем смолу и другие органические вещества, содержащиеся в парогасах, за диметиловый эфир пирогаллола $C_8H_{10}O_3$.

Сжигание происходит по реакции:



$$12,0 \cdot 8,0 + 10,0 \cdot 1,0 + 16,0 \cdot 3,0 = 154,0,$$

где $96,0/154,0 = 0,62$ — мольн. доля углерода;

$10,0/154,0 = 0,06$ — мольн. доля водорода;

$48,0/154,0 = 0,31$ — мольн. доля кислорода.

Всего смолистых веществ в парах от пиролиза — 100 кг/ч.

Необходимо кислорода на сжигание смолы:

$$154,0 \text{ кг } CM \text{ — } 288,0 \text{ кг } O_2,$$

$$100 \text{ — } X,$$

$$X = \frac{288,0 \cdot 100}{154,0} = 187,01 \text{ кг/ч } O_2.$$

Количество N_2 из воздуха при сжигании смолы:

$$187,01 \cdot 3,35 = 626,49 \text{ кг/ч.}$$

Количество CO_2 от сжигания смолы:

$$154,0 \text{ кг СМ} \text{ — } 352,0 \text{ кг } CO_2,$$

$$100 \text{ кг СМ} \text{ — } X \text{ } CO_2,$$

$$X = \frac{352,0 \cdot 100}{154,0} = 228,57 \text{ кг/ч } CO_2$$

Количество H_2O от сжигания смолы:

$$154,0 \text{ кг СМ} \text{ — } 90,0 \text{ кг } H_2O$$

$$100 \text{ — } X \text{ } H_2O$$

$$X = \frac{90,0 \cdot 100}{154,0} = 58,44 \text{ кг/ч } H_2O$$

Тепло от сжигания смолистых веществ:

$$Q_1 = Q_H \cdot C_{CM}, \quad (4.31)$$

$$Q_1 = 23849,5 \cdot 100 = 2384950 \text{ кДж/ч,}$$

$$\text{где } Q_H = 81C^P + 246H^P - 26(O^P - S^P) - 6W^P \cdot 4,19 = (81,0 \cdot 0,62 + 246,0 \cdot 0,06 - 26,0 \cdot (0,31 - 0) - 6,0 \cdot 0) \cdot 4,19 \cdot 100,0 = 23849,5 \text{ кДж/кг.}$$

Содержание спиртов (метанол) в парагазах пиролиза — 12.5 кг/ч.

Сжигание метанола происходит по реакции:



Необходимо кислорода на сжигание спиртов, кг/ч

$$64,0 \text{ кг } CH_3OH \text{ — } 96,0 \text{ кг } O_2,$$

$$12,5 \text{ — } X,$$

$$X = \frac{12,5 \cdot 96,0}{64,0} = 18,75 \text{ кг/ч.}$$

В топочных газах от сжигания спиртов будет: N_2 из воздуха:

$$\frac{18,75 \cdot 77,0}{23} = 62,77 \text{ кг/ч}$$

CO_2 :

$$64,0 \text{ кг } CH_3OH \text{ — } 88,0 \text{ кг,}$$

$$CO_2 \text{ } 12,5 \text{ — } X,$$

$$X = \frac{12,5 \cdot 88,0}{64,0} = 17,19 \text{ кг/ч.}$$

Паров H₂O:

64,0 кг CH₃OH — 72,0 кг H₂O,

12,5 — X,

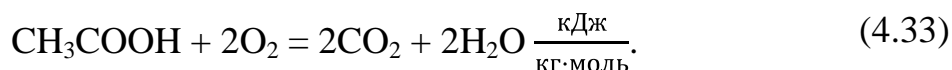
$$X = \frac{12,5 \cdot 72,0}{64,0} = 14,06 \text{ кг/ч}$$

Выделяемое тепло при сжигании спиртов, кДж/ч:

$$12,5 \cdot q_{\text{сп}} = 247737,5 \text{ кДж/ч,}$$

где $q_{\text{сп}} = 19819 \text{ кДж/кг.}$

Сжигание кислот (уксусная кислота). Содержание кислот в парагазах пиролиза — 50 кг/ч. Сжигание уксусной кислоты происходит по реакции:



Необходимо O₂ на сжигание кислот, кг/ч:

60,0 кг CH₃COOH — 64,0 кг O₂,

50 кг CH₃COOH — X.

$$X = \frac{50,0 \cdot 64,0}{60,0} = 53,33 \text{ кг/ч.}$$

В топочных газах от сжигания кислот будет:

N₂ из воздуха:

$$53,33 \cdot 77/23 = 178,55 \text{ кг/ч.}$$

CO₂:

60,0 кг CH₃COOH — 88,0 кг CO₂,

50 — X,

$$X = \frac{50,0 \cdot 88,0}{60,0} = 73,33 \text{ кг/ч.}$$

Паров H₂O:

60,0 кг CH₃COOH — 36,0 кг H₂O,

50 кг/ч — X,

$$X = \frac{50,0 \cdot 36,0}{60,0} = 30 \text{ кг/ч H}_2\text{O.}$$

Выделяемое тепло при сжигании кислот, кДж/ч:

$$50 \cdot q_{\text{кисл}} = 750850 \text{ кДж/ч,}$$

где $q = 15017,0$ кДж/кг.

4.6.1.2 Расчет температуры факела топочных газов сжигания парогазов пиролиза

Тепло, вносимое с воздухом:

$$Q_3 = G_{\text{возд}} \cdot t \cdot C_p, \quad (4.34)$$

$$Q_3 = 1.01 \cdot 80 \cdot 1449.439 = 117114.7 \text{ кДж/ч.}$$

Физическое тепло, вносимое в топку с парогАЗами пиролиза:

$$Q_3 = G_{\text{г.к.}} \cdot t \cdot C_p, \quad (4.35)$$

$$Q_4 = 1.35 \cdot 250 \cdot 100.3086 = 33854.17 \text{ кДж/ч.}$$

Химическое тепло, вносимое в топку с парогАЗами пиролиза, кДж/ч:

$$Q_5 = 550 + 240.4778 = 790.48 \text{ кДж/ч.}$$

Всего в приходе:

$$Q = Q_3 + Q_4 + Q_5 = 117114.7 + 33854.17 + 790.4778 = 151759.3$$

кДж/ч.

Температура факела в топке:

$$T_{\text{ф}} = \frac{151759,3}{1909,59 \cdot 1,9} = 41,837 \text{ К,}$$

$$Q_{\text{физ}} = 117114,7 + 33854,17 = 150968,9,$$

$$Q_{\text{физ}} = Q_{\text{прг}} = 151759,3,$$

$$Q_{\text{физ}} + Q_{\text{хим}} = 151759,3 + 150968,9 = 302728,2 \text{ кДж,}$$

$$t_{\text{оч.г}} = 3744,3.$$

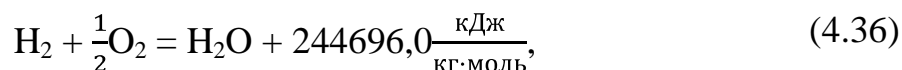
4.6.1.3 Сжигание абгазов активации

Температура абгазов поступающих на сжигание: $t = 850$ °С •

Воздух на сжигание подается с температурой: $t = 80$ °С •

$$c = 1,0$$

Тепло от сжигания H_2 в абгазах пиролиза — 2.62 кг/ч; Сжигание H_2 происходит по реакции:



Тепло от сжигания H_2 ,

2,0 кг H_2 — 244696,0

2,62 кг H_2 — X

$$X = 244696,0 \cdot \frac{2,62}{2,0} = 320974,7 \text{ кДж/ч} \quad (3.45)$$

Необходимое количество кислорода на сжигание H_2 :

2,0 кг H_2 — 16,0 кг O_2 ,

2,62 H_2 — X,

$$X = \frac{2,62 \cdot 16,0}{2,0} = 20,99 \text{ кг/ч } \text{O}_2.$$

Количество N_2 из воздуха при сжигании H_2 — 70,26 кг/ч:

$$\frac{20,99 \cdot 77,0}{23} = 70,26 \text{ кг/ч } \text{H}_2\text{O}.$$

Количество образующейся паров H_2O от сжигания H_2 :

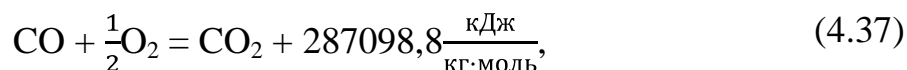
2,0 кг H_2 — 18,0 кг H_2O ,

2,62 H_2 — X,

$$X = \frac{2,62 \cdot 18,0}{2,0} = 23,61 \text{ кг/ч } \text{H}_2\text{O}.$$

Сжигание CO . Количество CO в абгазах активации — 6,48 кг/ч.

Сжигание происходит по реакции:



28,0 кг CO — 287098,8,

6,48 кг CO — X,

$$X = \frac{6,48 \cdot 287098,8}{28,0} = 66458,06 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{моль}}.$$

Необходимое количество O_2 на сжигание CO :

28,0 кг CO — 16,0 кг O_2 ,

6,48 кг CO — X,

$$X = \frac{6,48 \cdot 16,0}{28,0} = 3,70 \text{ кг/ч } \text{O}_2.$$

Количество N_2 из воздуха при сжигании CO :

$$3,7 \cdot 3,35 = 12,41 \text{ кг/ч}.$$

Количество CO_2 от сжигания CO :

28,0 кг CO — 44,0 кг CO_2 ,

6.48 кг CO — X CO_2 ,

$$X = \frac{6,48 \cdot 44,0}{28,0} = 10,19 \text{ кг/ч } \text{CO}_2.$$

Сумма химического тепла от сжигания абгазов активации:

$$Q_1 = 320974.7 + 66458.06 = 387432.76 \text{ кДж/ч}$$

Σ продуктов сгорания — 329.89 кг/ч.

Состав продуктов сжигания, % масс: N_2 — 64,0%; CO_2 — 25,3%; H_2O — 10,7 %.

Расчет температуры топочных газов сжигания абгазов активации:

Расход воздуха — 557,8 кг/ч

Тепло, вносимое с воздухом:

$$Q_3 = G_{\text{воздс}} \cdot t \cdot C_p, \quad (4.38)$$

$$Q_3 = 1.01 \cdot 80 \cdot 72.01 = 5818.08 \text{ кДж/ч.}$$

Физическое тепло, вносимое в топку с абгазами пиролиза:

$$Q_3 = G_{\text{г.к.}} \cdot t \cdot C_p, \quad (4.39)$$

$$Q_4 = 850 \cdot 1.35 \cdot 39.53565 = 45367.15 \text{ кДж/ч.}$$

Химическое тепло, вносимое в топку с абгазами активации, кДж/ч:

$$Q_5 = 387432.7 \text{ кДж/ч.}$$

Всего в приходе:

$$\Sigma Q = Q_3 + Q_4 + Q_5 = 387432.7 + 45367.15 + 5818.08 = 438618 \text{ кДж/ч.}$$

Температура факела топочных газов:

$$T_{\text{ф}} = \frac{438618}{329,89 \cdot 1,8} = 738.6708 \text{ К.}$$

$$\Sigma q_{\text{физ}} = q_{\text{в}} + q_{\text{абг}}, \quad (4.40)$$

$$\Sigma q_{\text{физ}} = 5818.08 + 45367.15 = 51185.23,$$

$$\Sigma q_{\text{хим}} = q_{\text{абг}},$$

$$\Sigma q_{\text{физ}} + \Sigma q_{\text{хим}} = 51185.23 + 438618 = 489803.2,$$

$$\Sigma_{\text{точ.г}} = 3744,3.$$

4.6.1.4 Совместное сжигание парогазов пиролиза и абгазов активации

Σ продуктов горения — 438618 кг/ч, состава, %: N_2 — 51,26; CO_2 — 24,2; H_2O — 18,2

Расчет температуры топочных газов сжигания

$$T_{\phi} = \frac{438618}{329,89 \cdot 1,8} = 738,6708K \quad (3.60)$$

$$\Sigma q_{\text{физ}} = q_v + q_{\text{абг}} + q_{\text{прг}}, \quad (4.41)$$

$$\Sigma q_{\text{физ}} = 45367,15 + 1521,445 + 33854,17 = 202154,1,$$

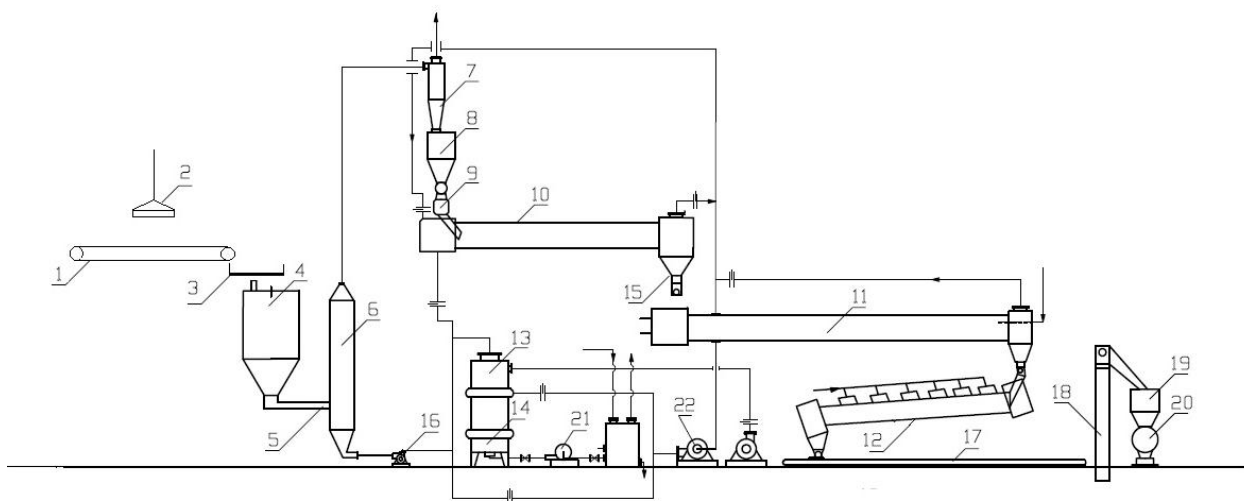
$$\Sigma q_{\text{хим}} = q_{\text{абг}} + q_{\text{прг}}, \quad (4.42)$$

$$\Sigma q_{\text{хим}} = 66458,06 + 1111452 = 1177911,$$

$$\Sigma q_{\text{хим}} + \Sigma q_{\text{физ}} = 202154,1 + 1177911 = 1380065,$$

$$\Sigma_{\text{точ.г}} = 3744,3.$$

4.7 Типовая схема комплекса по переработке древесных отходов в активированный уголь



1,17 – конвейер; 2 – магнит; 3- вибросито; 4,8,19 – бункер; 5 – шнековый транспортер; 6 – аэрофонтанная сушилка; 7 – циклон; 9,15 – секторный питатель; 10 – реторта; 11 – камера активации; 12 – охлаждающий барабан; 13 – топка; 14 – факел; 16, 21, 22 – вентилятор; 18 – подъемный механизм; 20 – шаровая мельница.

Рисунок 4 – Комплекс по получению активированного угля

На рисунке 4 изображена типовая схема комплекс по переработке древесных отходов в активированный уголь. Сырье поступает на конвейерную ленту 1 и, чтобы избежать попадания металлических частиц, проходит через магнит 2, который собирает все металлические элементы. Сырье (сосновые опилки) поступают в вибрационное сито 3, где происходит процесс отсеивания продуктов нежелательных мелких частиц от опилок. Пыль собирается в тару, расположенную под ним, и заменяется по мере заполнения, оставшиеся опилки поступают в бункер 4, откуда при помощи шнекового транспортера 5; загружаются в аэрофонтанную сушилку 6 с режимом работы в 110° С, в которой происходит процесс сушки. Далее установлен циклон 7 с бункером 8 для разделения опилок от теплоносителя. Секторный питатель 9 дозирует для реторты 10 количество загружаемого сырья на пиролиз. Далее, после пиролиза опилок под температурой 450 °С уголь-сырец поступает в печь активации 11, где обдается острыми парами воды с температурой 950 ° С и тем самым становится активным. Затем уголь нужно охладить путем помещения АУ в охладительный барабан 12. Из барабана уголь поступает на выгрузку для дальнейшего складирования и реализации.

Примечание: Установка оснащена вентиляторами и насосами для обеспечения звеньев цепи необходимым количеством воздуха. Парогазы с пиролизной печи поступают в топку 13, где сжигаются. Также за место топки схема предусматривает установку дифлегматора, в котором можно конденсировать продукты парогазов. Используя более крупное древесное сырье содержащее гвозди стружку и т.д. перед погрузкой на конвейер 1 необходимо дерево раздробить и отделить при помощи магнита 2 металлосодержащие частицы, также магнит установить на выходе готового АУ.

4.8 Экологическая безопасность пиролизного производства

При прохождении процесса пиролиза древесины в парогазы выделяется различного рода вредные для окружающей среды компоненты, такие как фенол, крезол, различные виды смол, но полезные в различных химических производствах. В ходе изучения различных литературных источников по пиролизу древесного сырья и их экологической части, в которых описана значимость конденсируемых продуктов для химических предприятий, а также экологичность сжигания таковых. Фактором конденсации парогазов является, безусловно, экономическая составляющая. Для малых производств угля нет смысла конденсировать парогазы, а лучше их сжигать, а для больших же сжигание парогазов является расточительностью и переводом сырья.

Также частью этих газов мы погашаем потребность в энергии для процесса сушки древесины путем подвода газов к аэрофонтанной сушилке.

Заключение

В результате проделанной работы над поставленными задачами, нами был получен из древесных опилок дерево модельного цеха активированный уголь, который, согласно «ГОСТ 6217-74», по основным требованиям к активному углю не уступает древесному углю марки «БАУ-А».

Данный продукт можно использовать как фильтрующий элемент для очистки водных сред и в ликероводочных производствах.

В Тольятти с каждым годом водные ресурсы все больше наполняются различными загрязнителями, поэтому дополнительные меры очистки вод будут иметь все больший спрос, т.к. количество источников загрязнения не уменьшится, а, возможно, еще и увеличится.

Работа предполагает полученный уголь использовать в целях создания фильтрующих модулей для очистки вод на территории завода и нужд города.

В ходе выполнения задач, поставленных перед выполнением выпускной квалификационной работы выполнены цели, которые были поставлены во вступительной части диплома, а именно:

1) Был изучен и описан дерево модельный цех 15/3, который находится в металлургическом производстве «ПАО АВТОВАЗ», где служит вспомогательным производством для литейных цехов и в котором изготавливаются деревянные модели для литейных форм, а также для выполнения других производственных задач.

2) Описано сырье и требования к нему, так как выполнение этих требований влияет на качество изготавливаемой продукции (модельной оснастки), а также изучено сырье (древесные опилки) и их содержание влаги перед отправкой на пиролиз.

3) В ходе пребывания в дерево модельном цехе, были изучены инструкции по хранению, утилизации, сбору и применению отходов,

образующихся в металлургическом производстве и выявлены различного рода отходы содержащие древесину.

4) В ходе изучения инструкций был найден вид отход, который был подвергнут переработке в продукт, а именно активированный уголь, путем пиролиза с последующей его активацией.

5) Теоретически изложены возможные продукты образования из других видов отходов, помимо опилок, и их применение.

6) Составлены уравнения материального баланса всего процесса с затратами энергии на все виды операций внутри теоретической установки.

7) После выполнения исследовательской работы, древесные опилки, которые являются отходом на ПАО «АВТОВАЗ», были подвергнуты термическому разложению в уголь-сырец с последующей его (угля) активацией и выполнением лабораторных исследований согласно «ГОСТ 6217-74». Полученный продукт можно использовать как фильтрующий элемент для практических задач.

Список используемых источников

1. Адамова Л.В., Сафронов А.П. «Сорбционный метод исследования пористой структуры наноматериалов и удельной поверхности наноразмерных систем».
2. 89-ФЗ от 28.06.89 «Об отходах производства и потребления». «Дачные бани и печи. Принципы конструирования».
3. Брунауэр С. Адсорбция газов и паров. Т. 1. — М.: ИЛ, 1948.
4. Бутакова В. И., Попов В. К, Посохов Ю. М. Создание и развитие автоматизированного ИК-спектрального метода определения показателей качества углей.
5. Валеев И.А., Газизов Р.А., Шарафутдинова З.М., Мусин Р.Р. Кибер Ленинка Разработка установки для получения сырья, используемого в производстве сорбента медицинского назначения 2014.
6. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М. Мир, 1984. — М. Мир, 1984. — 310 с.
7. ГОСТ 12596 «Угли активные. Метод определения массовой доли золы».
8. ГОСТ 16399-70 «Продукты лесохимические. Методы определения воды».
9. ГОСТ 3309-84
10. ГОСТ 4453-74 «Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный».
11. ГОСТ 6217-74 «Уголь активный древесный дробленый»
12. ГОСТ 6616-94
13. ГОСТ 7657-84 «Уголь древесный. Технические условия».
14. ГОСТ 9293-74
15. И 01000.37.101.0332-2014 Порядок сбора, хранения, учета и вывоза производственных отходов металлургического производства

16. И 37.101.1454-2007
17. Кнаббе В.С. «Современное оборудование машиностроительных заводов и железнодорожных мастерских».
18. Литвинов В. В., Ширшиков В. И., Пиялкин В. Н. «Химия и технология брикетирования древесного угля 2012».
19. «Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: справочник» А. Н. Болдин [и др.]. - Москва : Машиностроение, 2006 (М.: Типография "Наука" РАН).
20. Масгутов И. И., Страхов В. М., Суровцева И. В. Качественная характеристика углей Монголии как технологического углеродистого сырья.
21. НД 3209-85 «Предельное количество накопления токсичных промышленных отходов».
22. Новый справочник химика и технолога. СПб., 2005. Ч.2: «Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ» Под ред. В.А.Столяровой; Юрьев Ю.Л. Древесный уголь: Справочник. Екатеринбург, 2007.
23. Олонцев В. Ф. Современные технологии высококачественных углеродных сорбентов. Сообщение 1. Технологии на основе ископаемого сырья // Химическая промышленность, 1997. № 11(749).С. 31 – 35.
24. Оффан К.Б., Петров В.С., Ефремоф А.А.Закономерности пиролиза скорлупы кедровых орехов с образованием древесного угля в интервале температур 200-500°С
25. Приказ Ростехнадзора №542 от 15.11.2013 г. «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности» «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления»
26. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору №656 от 30.12.2013 г. «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности» «Правила безопасности при получении, транспортировании,

использовании расплавов черных и цветных металлов и сплавов на основе этих расплавов».

27. Савин И.О. ВКР «Проект цеха производства активированного угля производительностью 100 т/год».

28. СанПин 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления».

29. Свойства угля из тонкомерной березовой древесины 2018 / Юрьев Ю.Л. КиберЛенинка.

30. Спицын А.А., Пиялкин В.Н., Куилков К.В. Химия и технология производства активных углей из биомассы дерева: производство, свойства, применение. – СПб. Галаника. 2014.

31. Справочник лесохимика. 2-е изд. М., 1987; Сайко Э.В. «Специализированные производства в развитии обществ раннее земледельческих культур». М., 1990; История человечества. М., 2003. Т.1: Доисторические времена и начала цивилизации/ Под ред. З.Я. Де Лаата.

32. Справочник лесохимика / М. И. Глухарёва, Н. П. Дроздов, Л. А. Ермакова и др. ; Под ред. А. М Чашин. — М., Лесная промышленность, 1974. — С. 376.

33. Тагиров М.А. Технология получения активированного углеродного материала на основе нефтяного кокса: автореф. дис. канд. тех. наук. Уфа., 2014 24 с.

34. Фещенко Р. Ю., Ерохина О. О., Уголков В. Л., Шабалов М. Ю., Васильев В. В. Исследование золы углей с применением комплексного термического анализа

35. Халимов Е.В., Юрьев Ю.Л., Штеба Т.В., Гиндулин И.К. «Пиролиз березовой древесины горельников 2017».

36. Хисматов Р.Г., Хисматова Е.В., Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р., Савельев А.С., Романчева И.С. 2014. «Установка переработки низкокачественной древесины в уголь».

37. Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К., Дроздова Н.А. «Варианты переработки низкосортной древесины на углеродные материалы 2017».

38. Юрьев Юрий Леонидович, Солдатов Александр Владиславович «Термохимическая переработка древесины в условиях лесопромышленного предприятия 2005».

39. Activated carbon: Global Industry Markets and Outlook, 9th edition. – <http://www.roskill.com/reports/industrialminerals/activated-carbon>, 2013. — URL: <http://www.roskill.com/reports/industrial-minerals/activated-carbon> (online; accessed: 02.01.2013).

40. http://asiabusiness.ru/torg/minifactory/coal/activated/activated_1151.html

41. <http://chemsystem.ru/catalog/386>

42. <http://oskada.ru/obrabotka-i-ochistka-vody/proizvodstvo-aktivirovannyx-uglej-isxodnyj-material-i-etapy-izgotovleniya.html>

43. http://melnicabiz.ru/ideas_new2/1144_business_mini-proizvodstvo-aktivirovannogo-uglya.html

44. https://www.equipnet.ru/equip/equip_67397.html

45. <http://www.tkomplex.ru/ru/products/pirotex>

46. ISO 14001:2015

Приложение А

Таблицы материальных и тепловых балансов операций по производству активированного угля

Таблица А.1 – Теоретический материальный баланс активации древесного угля

№	Наименование	Кол-во, кг/ч	%	Наименование	Кол-во, кг/ч	%
1	Уголь-сырец	8,33	49,5	Активированный уголь	5	29,7
2	Активирующие пары	8,5	50,5	Отработанные пары (абгазы):	11,83	70,3
3				Углекислый газ (CO ₂)	8.56	50,83
4				Угарный газ (CO)	2.33	13,86
5				H ₂	0.94	5,6
7	Приход	16,83	100	Расход	16,83	100

Таблица А.2 – Теоретический тепловой баланс активации древесного угля

№	Наименование	Кол-во, теплоты, кДж/ч	%	Наименование	Кол-во, теплоты, кДж/ч	%
1	Уголь-сырец	14804,17	32,41	Активированный уголь	8882,5	19,44
2	Активирующие пары	30876,48	67,59	Тепло эндотермических реакции):	24333,33	53,27
3				реакция 1	9750	21,92
4				реакция 2	14583,33	31,92
5				Отработанные пары (абгазы)	12464,81	27,29
7	Приход	45680,65	100	Расход	45680,65	100

Таблица А.3 – Сводная таблица материального баланса сушки древесины

№	Наименование	Кол-во, кг/ч	%	Наименование	Кол-во, кг/ч	%
1	Сушильный агент, в составе:	40,8	51,85	Высушенная древесина, в составе:	35,09	44,6
2	азот N ₂ -58,3%	23,78	30,23	а.с.д	33,33	42,37
3	углекислый газ CO ₂ -24,2	9,87	12,55	вода	1,76	2,23
4	пары воды H ₂ O-17,5%	7,14	9,07	Отработанный сушильный агент, в составе:	43,59	55,4
5	Древесина, в составе:	37,88	48,15	азот N ₂ -48,5	19,79	26,87
	а.с. древесина	33,33	42,37	угарный газ CO – 20,1	8,2	11,14
	вода	4,55	5,78	пары воды H ₂ O	12,81	17,4
7	Приход	78,68	100	Расход	78,68	100

Таблица А.4 – Сводная таблица теплового баланса сушки древесины

№	Наименование	Кол-во, теплоты, кДж/ч	%	Наименование	Кол-во, теплоты, кДж/ч	%
1	Древесина, в составе:	345,45	1,45	Нагрев сырья до 100 °С, в составе:	6563,64	22,95
2	а.с.д.	300	1,26	а.с.д	5700	19,93
3	Вода	45,45	0,19	вода	863,64	3,02
4	Сушильный агент	23476,96	98,55	Испарение и перегрев удаленной влаги	6896,73	24,11
5	азот N ₂ -48,5	13687,07	57,45	Отработанный сушильный агент	7404,53	25,89
	углекислый газ CO ₂ – 20,1	5681,42	23,85	Теплопотери	1173,85	4,1
	пары воды H ₂ O – 17,5	4108,47	17,25			
7	Приход	23822,42	100	Расход	23822,42	100

Таблица А.5 – Компоненты пиролиза древесины

Компоненты	кг/ч	%
Уголь	8,33	25
Кислота	2,67	8
Спиртопродукты	0,67	2
Смолистые вещества	5,33	16
Н/газы: CO ₂ -4,34 CO-2,55 CH ₄ -1,048 H ₂ -0,06	8	24
Реакционная вода	8,33	25
Итого	33,33	100

Таблица А.6 – Сводная таблица материального баланса пиролиза древесины

№	Наименование	Кол-во, кг/ч	%	Наименование	Кол- во, кг/ч	%
1	Древесина	35,09	88,53	Вода	10,08	25,45
2	а.с.д	33,33	84,1	гигроскопическая	1,75	4,43
3	вода	1,75	4,43	реакционная	8,33	21,02
4	Теплоноситель пиролиза	4,55	11,47	Уголь	8,33	21,02
5				Смола	5,33	13,46
6				Кислоты	2,67	6,73
7				Спирты	0,67	1,68
8				Газы	8	20,19
9				углекислый газ CO ₂	4,33	10,94
10				угарный газ CO	2,55	6,44
11				метан CH ₄	1,05	2,01
12				водород H ₂	0,06	0,8
13				Отработанный теплоноситель	4,54	11,47
14	Всего	39,63	100	Всего	39,63	100

Таблица А.7 – Сводная таблица теплового баланса пиролиза древесины

№	Наименование	Кол-во, теплоты, кДж/ч	%	Наименование	Кол-во, теплоты, кДж/ч	%
1	Древесина	10183,33	8,09	Жидкие продукты	31924,41	25,37
2	а.с.д	6666,67	5,3	вода	25733,77	20,45
3	вода	3516,67	2,79	смолы	3578,67	2,84
4	Тепло реакции термического разложения	36166,67	28,75	спирты	937,95	0,74
5	Теплоноситель пиролиза	79467,25	63,16	кислоты	1674,03	1,33
6				Уголь	15100,25	12
7				Н/газы	49500	39,34
8				Отработанный теплоноситель пиролиза	23001,72	18,28
9				Теплопотери	6290,86	5
14	Всего	125817,25	100	Всего	125817,25	100

Таблица А.8 – Сводная таблица уточненного материального баланса активации древесины

№	Наименование	Кол-во, кг/ч	%	Наименование	Кол-во, кг/ч	%
1	Уголь-сырец	8,33	20,59	Активированный уголь	5	12,35
2	Теплоноситель-активирующий агент	32,13	79,41	Абгазы активации:	11,83	29,24
3				углекислый газ CO ₂	8,55	21,14
4				угарный газ CO	2,33	5,76
5				Водород H ₂	0,94	2,33
6				Отработанный теплоноситель	23,63	58,4
7	Всего	40,46	100	Всего	40,47	100

Таблица А.9 – Сводная таблица уточненного теплового баланса активации древесины

№	Наименование	Кол-во, теплоты, кДж/ч	%	Наименование	Кол-во, теплоты, кДж/ч	%
1	Уголь-сырец	14804,17	21,22	Активированный уголь	8882,5	12,78
2	Теплоноситель активации	54949,17	78,78	Эндотермические реакции активации	24333,33	35,02
3				Теплопотери	3487,67	5,02
4				Отработанный теплоноситель	32776,7	47,17
5	Всего	69753,33	100	Всего	69480,2	100

Приложение Б

Иходный код для программы «R» по расчету тепловых и материальных балансов процессов сушки, активации и пиролиза

```
«cat("ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА\n")
cat(" \n")
G = 36000 #Заданная производительность в КГ/Ч
cat("Режим процесса переработки сырья (сушка, пиролиз, активация) -
непрерывный, круглосуточно.\n")
cat("Необходимая производительность G/7200 КГ/Ч по АУ:\n")»
Gay = G/7200 #Необходимая производительность в КГ/Ч
cat(Gay, "кг/ч\n")
Wн=12 #Влажность в %.
cat("Потребность в сырье при использовании свежесродвубленного сырья
влажностью", Wн, "% составит: \n")
Wоб = 40 #Степень обгара в %.
cat("-степень обгара угля-сырца при активации: Wоб % \n")
cat(Wоб, "%\n")
cat("-необходимо угля-сырца: Gay/(100-Wоб), КГ/Ч\n")
Gyc = (Gay/(100-Wоб))*100 #Необходимо угля сырца в КГ/Ч
cat(Gyc, "кг/ч\n")
cat("-выход угля-сырца при пиролизе: Wпир% \n")
Wпир=25 #Выход угля-сырца при пиролизе в %
cat(Wпир, "%\n")
cat("-необходимо а.с.с.: Gyc/Wпир КГ/Ч\n")
Gacc=(Gyc/Wпир)*100 #Необходимо а.с.с. в КГ/Ч
cat(Gacc, "кг/ч\n")
cat("-необходимо исходного сырья: КГ/Ч\n")
Gисх=(Gacc/(100-Wн))*100 #Необходимо исходного сырья в КГ/Ч
```

cat(Gисх,"кг/ч\n")

Ср=2.09

tвых=850

Gв=Gисх*Wн/100

Wк=5

Gув=Gисх*((Wн-Wк)/(100-Wк))

Gвсыр=Gв-Gув

Gвс=Gасс+Gвсыр

tн=5

tк=100

tса=450

тогра=150

cat(" \n")

cat(" \n")

cat(" \n")

cat("ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ АКТИВАЦИИ УГЛЕРОДА УГЛЯ
ПАРАМИ ВОДЫ\n")

cat(" \n")

cat("Количество углерода, вступившего в реакцию:Gс=Gус-Gау\n")

Gс=Gус-Gау #Количество углерода, вступившего в реакцию

cat(Gс,"кг/ч\n")

«cat("Активация угля водяным паром происходит по реакциям 5.4.3;5.4.4\n")

cat("C+H2O=CO+H2 5.4.3\n")

cat("C+2H2O=CO2+2H2 5.4.4\n")

cat("30% углерода вступает в реакцию 5.4.3\n")»

R543=Gс*0.3

«cat(R543,"кг/ч\n")

cat("70% углерода вступает в реакцию 5.4.4\n")

R544=Gс*0.7

cat(R544,"кг/ч\n")

cat("Для активации необходимо паров воды:\n")

cat("По реакции 5.4.3:\n 12кг С - 18кг H2O\n",R543,"кг С - x кг H2O\n X равно\n")

$$X=(R543*18)/12$$

cat(X,"кг/ч\n") #кг/ч H2O

cat("По реакции 5.4.4:\n 12кг С - 36кг H2O\n" ,R544,"кг С - y кг H2O\n Y равно\n")

$$Y=(R544*36)/12$$

cat(Y,"кг/ч\n") #кг/ч H2O

cat("Всего для реакции активации углерода угля необходимо паров воды:\n")»

$$G_{\text{паратеор}}=X+Y$$

cat(Gпаратеор,"кг/ч\n")

«cat("Продукты реакции (абгазы активации):\n Оксид углерода:\n по реакции 5.4.3\n 18кг H2O-28кг CO\n" ,X,"кг H2O - z кг CO\n Z равно\n")

$$Z=(X*28)/18$$

cat(Z,"кг/ч\n") #кг/ч CO

cat("Водород по реакции 5.4.3:\n 18кг H2O - 2кг H2\n",X,"кг H2O - p кг H2\n F равно\n")

$$P=(X*2)/18$$

cat(P,"кг/ч\n") #кг/ч H2

cat("по реакции 5.4.4\n 36кг H2O - 4кг 2H2\n",Y,"кг 2H2O - k кг 2H2\n K равно\n")

$$K=(Y*4)/36$$

cat(K,"кг/ч\n") #кг/ч H2

$$GH_2=P+K \text{ \#Сумма водорода}$$

cat("Сумма водорода GH2 =",GH2,"\n Диоксид углерода по реакции 5.4.4:\n 36кг 2H2O - 44кг CO2\n",Y,"кг 2H2O - s кг CO2\n S равно\n")

$$S=(Y*44/36)$$

cat(S,"кг/ч\n")»

```

Tabl5.1= matrix(rep(0, 6*7),ncol=6, byrow=TRUE)
Tabl5.1[1,1]= c("Приход")
Tabl5.1[1,2]=c("кг/ч")
Tabl5.1[1,3]=c("%")
Tabl5.1[1,4]=c("Расход")
Tabl5.1[1,5]=c("кг/ч")
Tabl5.1[1,6]=c("%")
Tabl5.1[2,1]=c("1, Уголь-сырец")
Tabl5.1[2,2]=Gус
Tabl5.1[2,3]=(Gус*100)/(Gус+Gпаратеор)
Tabl5.1[2,4]=c("1, Активированный уголь")
Tabl5.1[2,5]=Gay
Tabl5.1[2,6]=Gay*100/(S+GH2+R544+Gay)
Tabl5.1[3,1]=c("2, Пары H2O (активирующий агент")
Tabl5.1[3,2]=Gпаратеор
Tabl5.1[3,3]=(Gпаратеор*100)/(Gус+Gпаратеор)
Tabl5.1[3,4]=c("2, Абгазыактивации в т.ч.:")
Tabl5.1[3,5]=GH2+R544+S
Tabl5.1[3,6]=(GH2+R544+S)*100/(S+GH2+R544+Gay)
Tabl5.1[4,4]=c("CO2")
Tabl5.1[4,5]=S
Tabl5.1[4,6]=S*100/(S+GH2+R544+Gay)
Tabl5.1[5,4]=c("CO")
Tabl5.1[5,5]=R544
Tabl5.1[5,6]=R544*100/(S+GH2+R544+Gay)
Tabl5.1[6,4]=c("H2")
Tabl5.1[6,5]=GH2
Tabl5.1[6,6]=GH2*100/(S+GH2+R544+Gay)
Tabl5.1[7,1]=c("ИТОГО:")
Tabl5.1[7,2]=Gус+Gпаратеор

```


Tab15.1[7,3]=100

Tab15.1[7,4]=c("ИТОГО:")

Tab15.1[7,5]=round(S+GH2+R544+Gay, digits=1)

Tab15.1[7,6]=100

cat(" \n")

cat(" \n")

cat(" \n")

cat(" ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС\n")

cat(" \n")

cat("Приход тепла: \n Уголь-сырец \n $G_{yc}*$, C_p , $*$, $t_{вых}$, $=$ \n")

$R5421 = G_{yc} * C_p * t_{вых}$ #приход тепла с углём

«cat(R5421, "кДж/ч\n")

cat("Расход тепла \n Эндотермические реакции активации углерода угля\n

$C + H_2O = CO + H_2 - 117000$ кДж/(кг*моль)\n $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 - 75000$

кДж/(кг*моль)\n ")

$G_{c1} = R543 / 12$

cat("Расходм тепла по реакции 5,4,22\n $G_{c1} = R543 / 12 =$ ", G_{c1} , "кг-моль\n")

cat("Q4-1= $G_{c1} * 117000 =$ ", $G_{c1} * 117000$, "кДж/ч\n")

$G_{c2} = R544 / 12$

cat("Затраты тепла по реакции 5.4.23:\n $G_{c2} = R544 / 12 =$ ", G_{c2} , "кг-моль\n")

cat("Q4-2= $G_{c2} * 75000 =$ ", $G_{c2} * 75000$, "кДж/ч\n")

cat("Q4= $Q4-1 + Q4-2 =$ ", $G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000$, "кДж/ч\n")

cat("Расход тепла с активным углём\n

«Q3= $G_{ay} * C_p * t_{вых} =$ ", $G_{ay} * C_p * t_{вых}$, "кДж/ч\n где C_p - теплоёмкость угля

кДж/кг*К\n")

$S_{аб} = (S / (S + R544 + R543) * 0.3) + (R544 / (S + R544 + R543) * 0.5) + (R543 / (S + R544 + R5$

$43) * 11)$

$G_a = GH_2 + R544 + S$

cat("Расход тепла с абгазами активации\n $Q_4 = G_{аб} * C_{аб} * t_{вых}$ =",
 $G_{аб} * C_{аб} * t_{вых}$, "кДж/ч \n")

Tab15.2=matrix(rep(0, 6*7),ncol=6, byrow=TRUE)

Tab15.2[1,1]=c("Приход")

Tab15.2[1,2]=c("кДж/ч")

Tab15.2[1,3]=c("%")

Tab15.2[1,4]=c("Расход")

Tab15.2[1,5]=c("кДж/ч")

Tab15.2[1,6]=c("%")

Tab15.2[2,1]=c("1. Уголь-сырец")

Tab15.2[2,2]=R5421

Tab15.2[2,3]= $R5421 / (G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000 + G_{ay} * C_{p} * t_{вых} + G_{аб} * C_{аб} * t_{вых}) * 100$

Tab15.2[2,4]=c("1, Активированный уголь")

Tab15.2[2,5]= $G_{ay} * C_{p} * t_{вых}$

Tab15.2[2,6]= $G_{ay} * C_{p} * t_{вых} / (G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000 + G_{ay} * C_{p} * t_{вых} + G_{аб} * C_{аб} * t_{вых}) * 100$

Tab15.2[3,1]=c("2, Газовый теплоноситель и активирующий агент(по разности)")

Tab15.2[3,2]= $(G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000 + G_{ay} * C_{p} * t_{вых} + G_{аб} * C_{аб} * t_{вых}) - R5421$

Tab15.2[3,3]= $((G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000 + G_{ay} * C_{p} * t_{вых} + G_{аб} * C_{аб} * t_{вых}) - R5421) / (G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000 + G_{ay} * C_{p} * t_{вых} + G_{аб} * C_{аб} * t_{вых}) * 100$

Tab15.2[3,4]=c("2, Тепло эндотермических реакций, в т.ч.:")

Tab15.2[3,5]= $G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000$

Tab15.2[3,6]= $(G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000) / (G_{c1} * 117000 + G_{c2} * 75000 + G_{ay} * C_{p} * t_{вых} + G_{аб} * C_{аб} * t_{вых}) * 100$

Tab15.2[4,4]=c("реакция 1")

Tab15.2[4,5]= $G_{c1} * 117000$

$Tab15.2[4,6]=Gc1*117000/(Gc1*117000+Gc2*75000+Gay*Cr^{*tвых}+Ga*Caб^{*tвых})*100$
 $Tab15.2[5,4]=c("реакция 2")$
 $Tab15.2[5,5]=Gc2*75000$
 $Tab15.2[5,6]=Gc2*75000/(Gc1*117000+Gc2*75000+Gay*Cr^{*tвых}+Ga*Caб^{*tвых})*100$
 $Tab15.2[6,4]=c("3, Абгазы активации")$
 $Tab15.2[6,5]=Ga*Caб^{*tвых}$
 $Tab15.2[6,6]=Ga*Caб^{*tвых}/(Gc1*117000+Gc2*75000+Gay*Cr^{*tвых}+Ga*Caб^{*tвых})*100$
 $Tab15.2[7,1]=c("ИТОГО")$
 $Tab15.2[7,2]=Gc1*117000+Gc2*75000+Gay*Cr^{*tвых}+Ga*Caб^{*tвых}$
 $Tab15.2[7,3]=100$
 $Tab15.2[7,4]=c("ИТОГО")$
 $Tab15.2[7,5]=Gc1*117000+Gc2*75000+Gay*Cr^{*tвых}+Ga*Caб^{*tвых}$
 $Tab15.2[7,6]=100$

cat("ПРИХОД ТЕПЛА\n")

cat(" \n")

tтс=tca

Crвр <- 2.0 #теплоемкость водных паров

Crводи=4.22# теплоемкость воды

Crасс <- 1.8 # теплоемкость асс

Crсав <- 1.26 # теплоемкость сушильного агента на входе

Crса <- 1.21 # теплоемкость сушильного агента возможно это абгазы активации тогда нужно их приравнять»

#Приход тепла

#Комментируем те части в которых есть неизвестная величина и разбиваем на слагаемые в которой ее нет

#Qts <- Gts*tca*Cpsav

Qs <- Gacc*Crass*tn+Gв*Срvodi*tn

#Расход тепла

QQ1 <- Gув*((totpa-тк)*Срvp+2260)

QQvs <- Gacc*Crass*(тк-tn)+Gв*Срvodi*(тк-tn)

#QQ3.1 <- Gtc*totpa*Срsa

QQ3.2 <- Gув*totpa*Срvp

#QQ4.1 <- 0.05*Gts*tca*Cpsav

QQ4.2 <- 0.05*Qs

#Составили баланс

#Gts*tca*Cpsav+Qs=QQ1+QQvs+QQ3.2+QQ4.2+Gtc*totpa*Срsa+0.05*Gts*tca*Cpsav

#Расставляем по местам

#Gts*tca*Cpsav-Gtc*totpa*Срsa-

0.05*Gts*tca*Cpsav=QQ1+QQvs+QQ3.2+QQ4.2-Qs

#Gts*(tca*Cpsav-totpa*Срsa-0.05*tca*Cpsav)=QQ1+QQvs+QQ3.2+QQ4.2-Qs

Gts=(QQ1+QQvs+QQ3.2+QQ4.2-Qs)/(tca*Cpsav-totpa*Срsa-0.05*tca*Cpsav)

#Gtc <- (Gув*((totpa-тк)*Срvodi+2260)+0.05*(Gacc*Саб*(тк-tn))+0.05*(Gв*Срvodi*(тк-tn)))/(0.95*(totpa-тк)*Срvodi-0.95*(тк-tn)*Срvodi-0.95*Gв*totpa*Срvodi)

Qts=Gts*тс*Cpsav # Тепло вносимое с сушильным агентом

Qc=Gacc*Crass*tn+Gв*Срvp*tn # Тепло поступающего сырья

Qprih=Qts+Qc

Расход тепла

$Q1 = G_{ув} * ((t_{отра} - t_k) * C_{рвodi} + 2260)$ # Расход тепа на удаление влаги

$Q_{vs} = G_{acc} * C_{расс} * (t_k - t_n) + G_{в} * C_{рвр} * (t_k - t_n)$ #Расход тепла на нагрев поступ. сырья

$Q2 = G_{ts} * t_{отра} * C_{рса}$ # Расход тепла с отраотным сушиьным агенто

$Q3 = (G_{ts} + G_{ув}) * t_{отра} * C_{рса}$

$Q4 = (Q_c + Q_{ts}) * 0.05$ #Потери тепла в окружающую среду

Tab15.3=matrix(rep(0, 6*9),ncol=6, byrow=TRUE)

Tab15.3[1,1]=c("Приход")

Tab15.3[1,2]=c("кДж/ч")

Tab15.3[1,3]=c("%")

Tab15.3[1,4]=c("Расход")

Tab15.3[1,5]=c("кДж/ч")

Tab15.3[1,6]=c("%")

Tab15.3[2,1]=c("1.Сушильный агент в т.ч.:")

Tab15.3[2,2]=Gts

Tab15.3[2,3]=Gts*100/(Gts+Gисх)

Tab15.3[2,4]=c("1. Высушенная древесина в т.ч.:")

Tab15.3[2,5]=Gвс

Tab15.3[2,6]=Gвс*100/(Gts+(Gв-Gвсыр)+Gвс)

Tab15.3[3,1]=c("N2-58,3%")

Tab15.3[3,2]=Gts*0.583

Tab15.3[3,3]=Gts*0.583*100/(Gts+Gисх)

Tab15.3[3,4]=c("абс. сух. древесина")

Tab15.3[3,5]=Gacc

Tab15.3[3,6]=Gacc*100/(Gts+(Gв-Gвсыр)+Gвс)

Tab15.3[4,1]=c("CO2-24,2%")

Tab15.3[4,2]=Gts*0.242

Tab15.3[4,3]=Gts*0.242*100/(Gts+Gисх)

$\text{Tab15.3}[4,4]=\text{c}(\text{"Вода"})$
 $\text{Tab15.3}[4,5]=\text{Gвсыр}$
 $\text{Tab15.3}[4,6]=\text{Gвсыр} * 100 / (\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр}) + \text{Gвс})$
 $\text{Tab15.3}[5,1]=\text{c}(\text{"H2O-17,5\%"})$
 $\text{Tab15.3}[5,2]=\text{Gts} * 0.175$
 $\text{Tab15.3}[5,3]=\text{Gts} * 0.175 * 100 / (\text{Gts} + \text{Gисх})$
 $\text{Tab15.3}[5,4]=\text{c}(\text{"2. Отработанный сушильный агент в т.ч.:"})$
 $\text{Tab15.3}[5,5]=\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр})$
 $\text{Tab15.3}[5,6]=(\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр})) * 100 / (\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр}) + \text{Gвс})$
 $\text{Tab15.3}[6,1]=\text{c}(\text{"2. Древесина в т.ч."})$
 $\text{Tab15.3}[6,2]=\text{Gисх}$
 $\text{Tab15.3}[6,3]=\text{Gисх} * 100 / (\text{Gts} + \text{Gисх})$
 $\text{Tab15.3}[6,4]=\text{c}(\text{"N2-48.5\%"})$
 $\text{Tab15.3}[6,5]=\text{Gts} * 0.485$
 $\text{Tab15.3}[6,6]=(\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр})) * 0.485 * 100 / (\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр}) + \text{Gвс})$
 $\text{Tab15.3}[7,1]=\text{c}(\text{"абс. сух. древесина"})$
 $\text{Tab15.3}[7,2]=\text{Gacc}$
 $\text{Tab15.3}[7,3]=\text{Gacc} * 100 / (\text{Gts} + \text{Gисх})$
 $\text{Tab15.3}[7,4]=\text{c}(\text{"CO-20.1\%"})$
 $\text{Tab15.3}[7,5]=\text{Gts} * 0.201$
 $\text{Tab15.3}[7,6]=(\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр})) * 0.201 * 100 / (\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр}) + \text{Gвс})$
 $\text{Tab15.3}[8,1]=\text{c}(\text{"вода"})$
 $\text{Tab15.3}[8,2]=\text{Gв}$
 $\text{Tab15.3}[8,3]=\text{Gв} * 100 / (\text{Gts} + \text{Gисх})$
 $\text{Tab15.3}[8,4]=\text{c}(\text{"H2O-31.4\%"})$
 $\text{Tab15.3}[8,5]=\text{Gts} * 0.314$
 $\text{Tab15.3}[8,6]=(\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр})) * 0.314 * 100 / (\text{Gts} + (\text{Gв} - \text{Gвсыр}) + \text{Gвс})$
 $\text{Tab15.3}[9,1]=\text{c}(\text{"ИТОГО"})$
 $\text{Tab15.3}[9,2]=\text{Gts} + \text{Gисх}$
 $\text{Tab15.3}[9,3]=100$

Tab15.3[9,4]=c("ИТОГО")
 Tab15.3[9,5]=Gts+(Gв-Gвсыр)+Gвс
 Tab15.3[9,6]=100

#FF
 FFFFFFFFFF

Tab15.4=matrix(rep(0, 6*9),ncol=6, byrow=TRUE)
 Tab15.4[1,1]=c("Приход")
 Tab15.4[1,2]=c("кДж/ч")
 Tab15.4[1,3]=c("%")
 Tab15.4[1,4]=c("Расход")
 Tab15.4[1,5]=c("кДж/ч")
 Tab15.4[1,6]=c("%")
 Tab15.4[2,1]=c("1. Древесина в т.ч.:")
 Tab15.4[2,2]=Qс
 Tab15.4[2,3]=Qс*100/(Qприh+Qс)
 Tab15.4[2,4]=c("1. Нагрев сырья до 100*С в т.ч.:")
 Tab15.4[2,5]=Qvs
 Tab15.4[2,6]=Qvs*100/(Qvs+Q1+Q2+Q4+Gв*Срvp*(тк-тн)+Gacc*Срpass*(тк-тн))
 Tab15.4[3,1]=c("а.с.д.")
 Tab15.4[3,2]=Gacc*Срpass*тн
 Tab15.4[3,3]=(Gacc*Срpass*тн)*100/(Qприh+Qс)
 Tab15.4[3,4]=c("а.с.д.")
 Tab15.4[3,5]=Gacc*Срpass*(тк-тн)
 Tab15.4[3,6]=(Gacc*Срpass*(тк-тн))*100/(Qvs+Q1+Q2+Q4+Gв*Срvp*(тк-
 тн)+Gacc*Срpass*(тк-тн))
 Tab15.4[4,1]=c("вода")
 Tab15.4[4,2]=Gв*Срvp*тн
 Tab15.4[4,3]=(Gв*Срvp*тн)*100/(Qприh+Qс)

Tab15.4[4,4]=c("вода")
 Tab15.4[4,5]= $G_{в} * C_{pvp} * (t_k - t_n)$
 Tab15.4[4,6]= $(G_{в} * C_{pvp} * (t_k - t_n)) * 100 / (Q_{vs} + Q_1 + Q_2 + Q_4 + G_{в} * C_{pvp} * (t_k - t_n) + G_{acc} * C_{pass} * (t_k - t_n))$
 Tab15.4[5,1]=c("2. Сушильный агент")
 Tab15.4[5,2]= Q_{prih}
 Tab15.4[5,3]= $Q_{prih} * 100 / (Q_{prih} + Q_c)$
 Tab15.4[5,4]=c("2. Испарение и перегрев удалённой влаги")
 Tab15.4[5,5]= Q_1
 Tab15.4[5,6]= $Q_1 * 100 / (Q_{vs} + Q_1 + Q_2 + Q_4 + G_{в} * C_{pvp} * (t_k - t_n) + G_{acc} * C_{pass} * (t_k - t_n))$
 Tab15.4[6,1]=c("N2-58.3%")
 Tab15.4[6,2]= $Q_{prih} * 0.583$
 Tab15.4[6,3]= $(Q_{prih} * 0.583) * 100 / (Q_{prih} + Q_c)$
 Tab15.4[6,4]=c("3. Отработанный сушильный агент")
 Tab15.4[6,5]= Q_2
 Tab15.4[6,6]= $Q_2 * 100 / (Q_{vs} + Q_1 + Q_2 + Q_4 + G_{в} * C_{pvp} * (t_k - t_n) + G_{acc} * C_{pass} * (t_k - t_n))$
 Tab15.4[7,1]=c("CO2-24.2%")
 Tab15.4[7,2]= $Q_{prih} * 0.242$
 Tab15.4[7,3]= $(Q_{prih} * 0.242) * 100 / (Q_{prih} + Q_c)$
 Tab15.4[7,4]=c("4. Теплопотери")
 Tab15.4[7,5]= Q_4
 Tab15.4[7,6]= $Q_4 * 100 / (Q_{vs} + Q_1 + Q_2 + Q_4 + G_{в} * C_{pvp} * (t_k - t_n) + G_{acc} * C_{pass} * (t_k - t_n))$
 Tab15.4[8,1]=c("H2O-17.5%")
 Tab15.4[8,2]= $Q_{prih} * 0.175$
 Tab15.4[8,3]= $Q_{prih} * 0.175 * 100 / (Q_{prih} + Q_c)$
 Tab15.4[8,4]=c("-")
 Tab15.4[8,5]=c("-")
 Tab15.4[8,6]=c("-")
 Tab15.4[9,1]=c("ИТОГО")
 Tab15.4[9,2]= $Q_{prih} + Q_c$

Tab15.4[9,3]=100

Tab15.4[9,4]=c("ИТОГО")

Tab15.4[9,5]=Qvs+Q1+Q2+Q4+Gв*Срвр*(тк-тн)+Gacc*Срасс*(тк-тн)

Tab15.4[9,6]=100

Материальные и тепловые балансы пиролиза сырья

Tab15.5=matrix(rep(0, 3*8),ncol=3, byrow=TRUE)

Tab15.5[1,1]=c("Компоненты")

Tab15.5[1,2]=c("%масс.")

Tab15.5[1,3]=c("кг/ч")

Tab15.5[2,1]=c("Уголь")

Tab15.5[2,2]=c("25")

Tab15.5[2,3]=Gacc*0.25

Tab15.5[3,1]=c("Кислота")

Tab15.5[3,2]=c("8")

Tab15.5[3,3]=Gacc*0.08

Tab15.5[4,1]=c("Спиртопродукты")

Tab15.5[4,2]=c("2")

Tab15.5[4,3]=Gacc*0.02

Tab15.5[5,1]=c("Смолистые вещества")

Tab15.5[5,2]=c("16")

Tab15.5[5,3]=Gacc*0.16

Tab15.5[6,1]=c("Н/газы")

Tab15.5[6,2]=c("24")

Tab15.5[6,3]=Gacc*0.24

Tab15.5[7,1]=c("Реакционная вода")

Tab15.5[7,2]=c("25")

Tab15.5[7,3]=Gacc*0.25

Tab15.5[8,1]=c("Всего")

Tab15.5[8,2]=c("100")

Tab15.5[8,3]=Gacc

Tab15.6=matrix(rep(0, 3*6),ncol=3, byrow=TRUE)

Tab15.6[1,1]=c("Компоненты")

Tab15.6[1,2]=c("%масс.")

Tab15.6[1,3]=c("кг/ч")

Tab15.6[2,1]=c("CO2")

Tab15.6[2,2]=c("54,2")

Tab15.6[2,3]=Gacc*0.24*0.542

Tab15.6[3,1]=c("CO")

Tab15.6[3,2]=c("31,9")

Tab15.6[3,3]=Gacc*0.24*0.319

Tab15.6[4,1]=c("CH4")

Tab15.6[4,2]=c("13,1")

Tab15.6[4,3]=Gacc*0.24*0.131

Tab15.6[5,1]=c("H2")

Tab15.6[5,2]=c("0,8")

Tab15.6[5,3]=Gacc*0.24*0.008

Tab15.6[6,1]=c("Всего")

Tab15.6[6,2]=c("100")

Tab15.6[6,3]=Gacc*0.24

Приход тепла

Q561=Cpvp*Gacc*tk

Q562=Gyc*Cpvodi*tk

Q563=Gacc*1085

#Расход тепла 5.6

Q565=Gпаратеор*Cp*твых

Q566=(Gвсыр+Gyc)*(((250-тк)*1.94)+2260)

Gv56=Gвс*(Wк/тк)

$$Q567=Gacc*0.16*(((250-тк)*1.68)+419)$$

$$Q568=Gacc*0.08*(((250-118)*1.68)+406)$$

$$Q569=Gacc*0.02*(((250-66)*1.68)+1097.8)$$

$$Q5610=тогра*1.32*250$$

$$Gts56=(((Q565+Q566+Q567+Q568+Q569+Q5610+(Q561+Q562+Q563)*0.05)-$$
$$(Q561+Q562+Q563)))/((твых*Cpsav)-(твых*Cpsav*0.05)-(1.24*250))$$

$$Qprih56=Q561+Q562+Q563+Gts56*твых*Cpsav$$

$$Q5611=Gts56*1.24*250$$

$$Q5612=Qprih56*0.05$$

$$Q564=Gts56*твых*Cpsav$$

$$Tab15.7=matrix(rep(0, 6*15),ncol=6, byrow=TRUE)$$

$$Tab15.7[1,1]=c("Приход")$$

$$Tab15.7[1,2]=c("кДж/ч")$$

$$Tab15.7[1,3]=c("%")$$

$$Tab15.7[1,4]=c("Расход")$$

$$Tab15.7[1,5]=c("кДж/ч")$$

$$Tab15.7[1,6]=c("%")$$

$$Tab15.7[2,1]=c("1. Древесина в т.ч.:")$$

$$Tab15.7[2,2]=Gвс$$

$$Tab15.7[2,3]=Gвс*100/(Gвс+Gв)$$

$$Tab15.7[2,4]=c("Вода в т.ч.:")$$

$$Tab15.7[2,5]=Gv56+Gyc$$

$$Tab15.7[2,6]=(Gv56+Gyc)*100/(Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+Gacc*0.16+Gyc+Gv56+Gyc)$$

$$Tab15.7[3,1]=c("а.с.д.")$$

$$Tab15.7[3,2]=Gacc$$

$$Tab15.7[3,3]=Gacc*100/(Gвс+Gв)$$

Tab15.7[3,4]=с("гигроскопическая")
 Tab15.7[3,5]=Gv56
 Tab15.7[3,6]=Gv56*100/(Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+Gacc*0.16+Gyc
 +Gv56+Gyc)
 Tab15.7[4,1]=с("вода")
 Tab15.7[4,2]=Gвсыр
 Tab15.7[4,3]=Gвсыр*100/(Gвс+Gв)
 Tab15.7[4,4]=с("реакционная")
 Tab15.7[4,5]=Gyc
 Tab15.7[4,6]=Gyc*100/(Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+Gacc*0.16+Gyc+
 Gv56+Gyc)
 Tab15.7[5,1]=с("2.Теплоноситель пиролиза в т.ч.:")
 Tab15.7[5,2]=Gв
 Tab15.7[5,3]=Gв*100/(Gвс+Gв)
 Tab15.7[5,4]=с("2.Уголь")
 Tab15.7[5,5]=Gyc
 Tab15.7[5,6]=Gyc*100/(Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+Gacc*0.16+Gyc+
 Gv56+Gyc)
 Tab15.7[6,1]=с("CO2")
 Tab15.7[6,2]=с("-")
 Tab15.7[6,3]=с("-")
 Tab15.7[6,4]=с("3.Смола")
 Tab15.7[6,5]=Gacc*0.16
 Tab15.7[6,6]=(Gacc*0.16)*100/(Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+Gacc*0.1
 6+Gyc+Gv56+Gyc)
 Tab15.7[7,1]=с("N2")
 Tab15.7[7,2]=с("-")
 Tab15.7[7,3]=с("-")
 Tab15.7[7,4]=с("4.Кислоты")
 Tab15.7[7,5]=Gacc*0.08

$\text{Tab15.7}[7,6] = (\text{Gacc} * 0.08) * 100 / (\text{Gв} + \text{Gacc} * 0.24 + \text{Gacc} * 0.02 + \text{Gacc} * 0.08 + \text{Gacc} * 0.16 + \text{Gyc} + \text{Gv56} + \text{Gyc})$
 $\text{Tab15.7}[8,1] = \text{c}(\text{"H2O"})$
 $\text{Tab15.7}[8,2] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[8,3] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[8,4] = \text{c}(\text{"5.Спирты"})$
 $\text{Tab15.7}[8,5] = \text{Gacc} * 0.02$
 $\text{Tab15.7}[8,6] = (\text{Gacc} * 0.02) * 100 / (\text{Gв} + \text{Gacc} * 0.24 + \text{Gacc} * 0.02 + \text{Gacc} * 0.08 + \text{Gacc} * 0.16 + \text{Gyc} + \text{Gv56} + \text{Gyc})$
 $\text{Tab15.7}[9,1] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[9,2] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[9,3] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[9,4] = \text{c}(\text{"6.Газы в т.ч.:"})$
 $\text{Tab15.7}[9,5] = \text{Gacc} * 0.24$
 $\text{Tab15.7}[9,6] = (\text{Gacc} * 0.24) * 100 / (\text{Gв} + \text{Gacc} * 0.24 + \text{Gacc} * 0.02 + \text{Gacc} * 0.08 + \text{Gacc} * 0.16 + \text{Gyc} + \text{Gv56} + \text{Gyc})$
 $\text{Tab15.7}[10,1] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[10,2] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[10,3] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[10,4] = \text{c}(\text{"CO2"})$
 $\text{Tab15.7}[10,5] = \text{Gacc} * 0.24 * 0.542$
 $\text{Tab15.7}[10,6] = (\text{Gacc} * 0.24 * 0.542) * 100 / (\text{Gв} + \text{Gacc} * 0.24 + \text{Gacc} * 0.02 + \text{Gacc} * 0.08 + \text{Gacc} * 0.16 + \text{Gyc} + \text{Gv56} + \text{Gyc})$
 $\text{Tab15.7}[11,1] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[11,2] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[11,3] = \text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.7}[11,4] = \text{c}(\text{"CO"})$
 $\text{Tab15.7}[11,5] = \text{Gacc} * 0.24 * 0.319$
 $\text{Tab15.7}[11,6] = (\text{Gacc} * 0.24 * 0.319) * 100 / (\text{Gв} + \text{Gacc} * 0.24 + \text{Gacc} * 0.02 + \text{Gacc} * 0.08 + \text{Gacc} * 0.16 + \text{Gyc} + \text{Gv56} + \text{Gyc})$

Tab15.7[12,1]=c("-")
 Tab15.7[12,2]=c("-")
 Tab15.7[12,3]=c("-")
 Tab15.7[12,4]=c("CH4")
 Tab15.7[12,5]=Gacc*0.24*0.131
 Tab15.7[12,6]=(Gacc*0.24*0.319)*100/(Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+
 Gacc*0.16+Gyc+Gv56+Gyc)
 Tab15.7[13,1]=c("-")
 Tab15.7[13,2]=c("-")
 Tab15.7[13,3]=c("-")
 Tab15.7[13,4]=c("H2")
 Tab15.7[13,5]=Gacc*0.24*0.008
 Tab15.7[13,6]=(Gacc*0.24*0.319)*100/(Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+
 Gacc*0.16+Gyc+Gv56+Gyc)
 Tab15.7[14,1]=c("-")
 Tab15.7[14,2]=c("-")
 Tab15.7[14,3]=c("-")
 Tab15.7[14,4]=c("7.Отработанный теплоноситель пиролиза CO2")
 Tab15.7[14,5]=Gв
 Tab15.7[14,6]=Gв*100/(Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+Gacc*0.16+Gyc+
 Gv56+Gyc)
 Tab15.7[15,1]=c("ИТОГО")
 Tab15.7[15,2]=Gвс+Gв
 Tab15.7[15,3]=c("100")
 Tab15.7[15,4]=c("ИТОГО")
 Tab15.7[15,5]=Gв+Gacc*0.24+Gacc*0.02+Gacc*0.08+Gacc*0.16+Gyc+Gv56+G
 yc
 Tab15.7[15,6]=c("100")

#FFFFFFFFFFFFFFFFFFFF

#Откуда древесина и вода??

Tab15.8=matrix(rep(0, 6*11),ncol=6, byrow=TRUE)

Tab15.8[1,1]=c("Приход")

Tab15.8[1,2]=c("кДж/ч")

Tab15.8[1,3]=c("%")

Tab15.8[1,4]=c("Расход")

Tab15.8[1,5]=c("кДж/ч")

Tab15.8[1,6]=c("%")

Tab15.8[2,1]=c("1. Древесина в т.ч.:")

Tab15.8[2,2]=Q561+Q562

Tab15.8[2,3]=(Q561+Q562)*100/((Q561+Q562)+Q563+Q564)

Tab15.8[2,4]=c("1. Жидкие продукты в т.ч.:")

Tab15.8[2,5]=Q568+Q569+Q567+Q566

Tab15.8[2,6]=(Q568+Q569+Q567+Q566)*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q566)

Tab15.8[3,1]=c("а.с.д.")

Tab15.8[3,2]=Q561

Tab15.8[3,3]=Q561*100/((Q561+Q562)+Q563+Q564)

Tab15.8[3,4]=c("Вода")

Tab15.8[3,5]=Q566

Tab15.8[3,6]=Q566*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q566)

Tab15.8[4,1]=c("вода")

Tab15.8[4,2]=Q562

Tab15.8[4,3]=Q562*100/((Q561+Q562)+Q563+Q564)

Tab15.8[4,4]=c("Смолы")

Tab15.8[4,5]=Q567

Tab15.8[4,6]=Q567*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q566)

Tab15.8[5,1]=с("2. Тепло реакции термического разложения")

Tab15.8[5,2]=Q563

Tab15.8[5,3]=Q563*100/((Q561+Q562)+Q563+Q564)

Tab15.8[5,4]=с("Спирты")

Tab15.8[5,5]=Q569

Tab15.8[5,6]=Q569*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q56

б)

Tab15.8[6,1]=с("3. Теплоноситель пиролиза")

Tab15.8[6,2]=Q564

Tab15.8[6,3]=Q564*100/((Q561+Q562)+Q563+Q564)

Tab15.8[6,4]=с("Кислоты")

Tab15.8[6,5]=Q568

Tab15.8[6,6]=Q568*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q56

б)

Tab15.8[7,1]=с("-")

Tab15.8[7,2]=с("-")

Tab15.8[7,3]=с("-")

Tab15.8[7,4]=с("2. Уголь")

Tab15.8[7,5]=Q565

Tab15.8[7,6]=Q565*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q56

б)

Tab15.8[8,1]=с("-")

Tab15.8[8,2]=с("-")

Tab15.8[8,3]=с("-")

Tab15.8[8,4]=с("3. Н/газы")

Tab15.8[8,5]=Q5610

Tab15.8[8,6]=Q5610*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q5

66)

Tab15.8[9,1]=с("-")

Tab15.8[9,2]=с("-")

Tab15.8[9,3]=c("-")

Tab15.8[9,4]=c("4. Отработанный теплоноситель пиролиза")

Tab15.8[9,5]=Q5611

Tab15.8[9,6]=Q5611*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q566)

Tab15.8[10,1]=c("-")

Tab15.8[10,2]=c("-")

Tab15.8[10,3]=c("-")

Tab15.8[10,4]=c("5. Теплопотери")

Tab15.8[10,5]=Q5612

Tab15.8[10,6]=Q5612*100/(Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q566)

Tab15.8[11,1]=c("ИТОГО")

Tab15.8[11,2]=(Q561+Q562)+Q563+Q564

Tab15.8[11,3]=c("100")

Tab15.8[11,4]=c("ИТОГО")

Tab15.8[11,5]=Q5612+Q5611+Q5610+Q565+Q568+Q569+Q567+Q566

Tab15.8[11,6]=c("100")

РАСЧЁТ УТОЧНЁНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ТЕПЛОВЫХ БАЛАНСОВ АКТИВАЦИИ 5.7

#5.7.2

#Приход

#1. Уголь сырец = Gус

#2.

N2

CO2

паров H2O

#Расход

#1. Активированный уголь = Gay

#2. Абгазы активации = GH2+R544+S

#CO2 = S

#Co = Z

#P2 = GH2

#3 Отработанный теплоноситель

#N2 =

#CO2 =

#паров H2O =

Q5731=Gyc*Cr*твых

Q5733=Gay*Cr*твых

Crсрс=1.5

G573c=R543/12

Q57341=Gc1*117000

G573c2=R544/12

Q57342=G573c2*75000

Q5734=(Gc1*117000)+(G573c2*75000)

#Q5731+Gdg*Crpass*(твых+100)=Q5733+Q5734+Gdg*Cr*твых+(Q5731+Gdg*Crpass*(твых+100))*0.05

Gdg=(Q5733+Q5734+Q5731*0.05-Q5731)/(Crpass*(твых+100)-Crса*твых-0.05*Crpass*(твых+100))

Tabl5.9=matrix(rep(0, 6*8),ncol=6, byrow=TRUE)

Tabl5.9[1,1]=с("Приход")

Tabl5.9[1,2]=с("кДж/ч")

Tabl5.9[1,3]=с("%")

Tabl5.9[1,4]=с("Расход")

Tabl5.9[1,5]=с("кДж/ч")

Tabl5.9[1,6]=с("%")

Tabl5.9[2,1]=с("1. Уголь-сырец")

Tabl5.9[2,2]=Gyc

$\text{Tab15.9[2,3]} = G_{yc} * 100 / (G_{yc} + G_{dg})$
 $\text{Tab15.9[2,4]} = c(\text{"1. Активированный уголь"})$
 $\text{Tab15.9[2,5]} = G_{ay}$
 $\text{Tab15.9[2,6]} = G_{ay} * 100 / (G_{dg} - G_{\text{паратеор}} + G_{H2} + R_{544} + S + G_{ay})$
 $\text{Tab15.9[3,1]} = c(\text{"2. Теплоноситель-активирующий агент в т.ч.:"})$
 $\text{Tab15.9[3,2]} = G_{dg}$
 $\text{Tab15.9[3,3]} = G_{dg} * 100 / (G_{yc} + G_{dg})$
 $\text{Tab15.9[3,4]} = c(\text{"3. Абгазы активации в т.ч.:"})$
 $\text{Tab15.9[3,5]} = G_{H2} + R_{544} + S$
 $\text{Tab15.9[3,6]} = (G_{H2} + R_{544} + S) * 100 / (G_{dg} - G_{\text{паратеор}} + G_{H2} + R_{544} + S + G_{ay})$
 $\text{Tab15.9[4,1]} = c(\text{"пары воды"})$
 $\text{Tab15.9[4,2]} = G_{\text{паратеор}}$
 $\text{Tab15.9[4,3]} = G_{\text{паратеор}} * 100 / (G_{yc} + G_{dg})$
 $\text{Tab15.9[4,4]} = c(\text{"CO2"})$
 $\text{Tab15.9[4,5]} = S$
 $\text{Tab15.9[4,6]} = S * 100 / (G_{dg} - G_{\text{паратеор}} + G_{H2} + R_{544} + S + G_{ay})$
 $\text{Tab15.9[5,1]} = c(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.9[5,2]} = c(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.9[5,3]} = c(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.9[5,4]} = c(\text{"CO"})$
 $\text{Tab15.9[5,5]} = R_{544}$
 $\text{Tab15.9[5,6]} = R_{544} * 100 / (G_{dg} - G_{\text{паратеор}} + G_{H2} + R_{544} + S + G_{ay})$
 $\text{Tab15.9[6,1]} = c(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.9[6,2]} = c(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.9[6,3]} = c(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.9[6,4]} = c(\text{"H2"})$
 $\text{Tab15.9[6,5]} = G_{H2}$
 $\text{Tab15.9[6,6]} = G_{H2} * 100 / (G_{dg} - G_{\text{паратеор}} + G_{H2} + R_{544} + S + G_{ay})$
 $\text{Tab15.9[7,1]} = c(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.9[7,2]} = c(\text{"-"})$

Tab15.9[7,3]=c("-")

Tab15.9[7,4]=c("3. Отработанный теплоноситель в т.ч.:")

Tab15.9[7,5]=Gdg-Гпаратеор

Tab15.9[7,6]=(Gdg-Гпаратеор)*100/(Gdg-Гпаратеор+GH2+R544+S+Gay)

Tab15.9[8,1]=c("ИТОГО")

Tab15.9[8,2]=Gyc+Gdg

Tab15.9[8,3]=c("100")

Tab15.9[8,4]=c("ИТОГО")

Tab15.9[8,5]=Gdg-Гпаратеор+GH2+R544+S+Gay

Tab15.9[8,6]=c("100")

5.7.3

#Q5731=Gyc*Ср*твых

#Q5733=Gay*Ср*твых

#Срсрс=1.5

#G573c=R543/12

#Q57341=Gc1*117000

#G573c2=R544/12

#Q57342=G573c2*75000

#Q5734=(Gc1*117000)+(G573c2*75000)

#Q5731+Gdg*Сpass*(твых+100)=Q5733+Q5734+Gdg*Ср*твых+(Q5731+Gdg*Сpass*(твых+100))*0.05

#Gdg=(Q5733+Q5734+Q5731*0.05-Q5731)/(Сpass*(твых+100)-Срса*твых-0.05*Сpass*(твых+100))

Q5732=Gdg*Сpass*(твых+100)

Q573prih=(Q5731)+(Gdg*Сpass*(твых+100))

Q5735=Gdg*Ср*твых

Q5736=((Q5731)+(Gdg*Сpass*(твых+100)))*0.05

```

Tabl5.11=matrix(rep(0, 6*7),ncol=6, byrow=TRUE)
Tabl5.11[1,1]=c("Приход")
Tabl5.11[1,2]=c("кДж/ч")
Tabl5.11[1,3]=c("%")
Tabl5.11[1,4]=c("Расход")
Tabl5.11[1,5]=c("кДж/ч")
Tabl5.11[1,6]=c("%")
Tabl5.11[2,1]=c("1. Древесный Уголь-сырец")
Tabl5.11[2,2]=Q5731
Tabl5.11[2,3]=Q5731*100/(Q5731+1710*Gdg)
Tabl5.11[2,4]=c("1. Активированный уголь")
Tabl5.11[2,5]=Q5733
Tabl5.11[2,6]=Q5733*100/(Q5736+Gdg*1020+Q5734+Q5733)
Tabl5.11[3,1]=c("2, Теплоноситель активации")
Tabl5.11[3,2]=1710*Gdg
Tabl5.11[3,3]=(1710*Gdg)*100/(Q5731+1710*Gdg)
Tabl5.11[3,4]=c("2. Эндотермические реакции активации")
Tabl5.11[3,5]=Q5734
Tabl5.11[3,6]=Q5734*100/(Q5736+Gdg*1020+Q5734+Q5733)
Tabl5.11[4,1]=c("-")
Tabl5.11[4,2]=c("-")
Tabl5.11[4,3]=c("-")
Tabl5.11[4,4]=c("3. Теплопотери")
Tabl5.11[4,5]=Q5736
Tabl5.11[4,6]=Q5736*100/(Q5736+Gdg*1020+Q5734+Q5733)
Tabl5.11[5,1]=c("-")
Tabl5.11[5,2]=c("-")
Tabl5.11[5,3]=c("-")
Tabl5.11[5,4]=c("4. Отработанный теплоноситель в т.ч.:")
Tabl5.11[5,5]=Gdg*1020

```

Tab15.11[5,6]=(Gdg*1020)*100/(Q5736+Gdg*1020+Q5734+Q5733)

Tab15.11[6,1]=c("-")

Tab15.11[6,2]=c("-")

Tab15.11[6,3]=c("-")

Tab15.11[6,4]=c("Теплопотери")

Tab15.11[6,5]=Q5736

Tab15.11[6,6]=Q5736*100/(Q5736+Gdg*1020+Q5734+Q5733)

Tab15.11[7,1]=c("ИТОГО")

Tab15.11[7,2]=Q5731+(1710*Gdg)

Tab15.11[7,3]=c("100")

Tab15.11[7,4]=c("ИТОГО")

Tab15.11[7,5]=Q5736+Gdg*1020+Q5734+Q5733

Tab15.11[7,6]=c("100")

#5.8

#5.8.1

Tab15.12=matrix(rep(0, 3*13),ncol=3, byrow=TRUE)

Tab15.12[1,1]=c("Компоненты")

Tab15.12[1,2]=c("кг/ч")

Tab15.12[1,3]=c("%")

Tab15.12[2,1]=c("1. Вода в т.ч.:")

Tab15.12[2,2]=Gv56+Gacc*0.25

Tab15.12[2,3]=(Gv56+Gacc*0.25)*100/(Gv56+Gacc*0.25+Gacc*0.16+Gacc*0.08+Gacc*0.02+Gacc*0.24)

Tab15.12[3,1]=c("гигроскопическая")

Tab15.12[3,2]=Gv56

Tab15.12[3,3]=Gv56*100/(Gv56+Gacc*0.25+Gacc*0.16+Gacc*0.08+Gacc*0.02+Gacc*0.24)

Tab15.12[4,1]=c("реакционная")

Tab15.12[4,2]=Gacc*0.25

$$\text{Tab15.12}[4,3]=\frac{(\text{Gacc} \cdot 0.25) \cdot 100}{(\text{Gv}56+\text{Gacc} \cdot 0.25+\text{Gacc} \cdot 0.16+\text{Gacc} \cdot 0.08+\text{Gacc} \cdot 0.02+\text{Gacc} \cdot 0.24)}$$

$$\text{Tab15.12}[5,1]=\text{c}(\text{"2. Смола"})$$

$$\text{Tab15.12}[5,2]=\text{Gacc} \cdot 0.16$$

$$\text{Tab15.12}[5,3]=\frac{(\text{Gacc} \cdot 0.16) \cdot 100}{(\text{Gv}56+\text{Gacc} \cdot 0.25+\text{Gacc} \cdot 0.16+\text{Gacc} \cdot 0.08+\text{Gacc} \cdot 0.02+\text{Gacc} \cdot 0.24)}$$

$$\text{Tab15.12}[6,1]=\text{c}(\text{"3. кислоты"})$$

$$\text{Tab15.12}[6,2]=\text{Gacc} \cdot 0.08$$

$$\text{Tab15.12}[6,3]=\frac{(\text{Gacc} \cdot 0.08) \cdot 100}{(\text{Gv}56+\text{Gacc} \cdot 0.25+\text{Gacc} \cdot 0.16+\text{Gacc} \cdot 0.08+\text{Gacc} \cdot 0.02+\text{Gacc} \cdot 0.24)}$$

$$\text{Tab15.12}[7,1]=\text{c}(\text{"4. Спирты"})$$

$$\text{Tab15.12}[7,2]=\text{Gacc} \cdot 0.02$$

$$\text{Tab15.12}[7,3]=\frac{(\text{Gacc} \cdot 0.02) \cdot 100}{(\text{Gv}56+\text{Gacc} \cdot 0.25+\text{Gacc} \cdot 0.16+\text{Gacc} \cdot 0.08+\text{Gacc} \cdot 0.02+\text{Gacc} \cdot 0.24)}$$

$$\text{Tab15.12}[8,1]=\text{c}(\text{"5. Н/газы в т.ч.:"})$$

$$\text{Tab15.12}[8,2]=\text{Gacc} \cdot 0.24$$

$$\text{Tab15.12}[8,3]=\frac{(\text{Gacc} \cdot 0.24) \cdot 100}{(\text{Gv}56+\text{Gacc} \cdot 0.25+\text{Gacc} \cdot 0.16+\text{Gacc} \cdot 0.08+\text{Gacc} \cdot 0.02+\text{Gacc} \cdot 0.24)}$$

$$\text{Tab15.12}[9,1]=\text{c}(\text{"CO2"})$$

$$\text{Tab15.12}[9,2]=\text{Gacc} \cdot 0.24 \cdot 0.542$$

$$\text{Tab15.12}[9,3]=\frac{(\text{Gacc} \cdot 0.24 \cdot 0.542) \cdot 100}{(\text{Gv}56+\text{Gacc} \cdot 0.25+\text{Gacc} \cdot 0.16+\text{Gacc} \cdot 0.08+\text{Gacc} \cdot 0.02+\text{Gacc} \cdot 0.24)}$$

$$\text{Tab15.12}[10,1]=\text{c}(\text{"CO"})$$

$$\text{Tab15.12}[10,2]=\text{Gacc} \cdot 0.24 \cdot 0.319$$

$$\text{Tab15.12}[10,3]=\frac{(\text{Gacc} \cdot 0.24 \cdot 0.319) \cdot 100}{(\text{Gv}56+\text{Gacc} \cdot 0.25+\text{Gacc} \cdot 0.16+\text{Gacc} \cdot 0.08+\text{Gacc} \cdot 0.02+\text{Gacc} \cdot 0.24)}$$

$$\text{Tab15.12}[11,1]=\text{c}(\text{"CH4"})$$

$$\text{Tab15.12}[11,2]=\text{Gacc} \cdot 0.24 \cdot 0.131$$

$$\text{Tab15.12}[11,3]=\frac{(\text{Gacc} \cdot 0.24 \cdot 0.131) \cdot 100}{(\text{Gv}56+\text{Gacc} \cdot 0.25+\text{Gacc} \cdot 0.16+\text{Gacc} \cdot 0.08+\text{Gacc} \cdot 0.02+\text{Gacc} \cdot 0.24)}$$

Tab15.12[12,1]=c("H2")
 Tab15.12[12,2]=Gacc*0.24*0.008
 Tab15.12[12,3]=(Gacc*0.24*0.008)*100/(Gv56+Gacc*0.25+Gacc*0.16+Gacc*0.08+Gacc*0.02+Gacc*0.24)
 Tab15.12[13,1]=c("Итого")
 Tab15.12[13,2]=Gv56+Gacc*0.25+Gacc*0.16+Gacc*0.08+Gacc*0.02+Gacc*0.24
 Tab15.12[13,3]=c("100")

#СЖИГАНИЕ H2

H2=1.2

X582=244696*H2/2

X583=H2*16/2

X584=X583*77/23

X585=H2*18/2

Tab15.13=matrix(rep(0, 6*14),ncol=6, byrow=TRUE)

Tab15.13[1,1]=c("Компоненты парогазов")

Tab15.13[1,2]=c("Расход кг/ч")

Tab15.13[1,3]=c("Расход воздуха кг/ч")

Tab15.13[1,4]=c("N2")

Tab15.13[1,5]=c("CO2")

Tab15.13[1,6]=c("H2O")

Tab15.13[2,1]=c("1")

Tab15.13[2,2]=c("2")

Tab15.13[2,3]=c("3")

Tab15.13[2,4]=c("4")

Tab15.13[2,5]=c("5")

Tab15.13[2,6]=c("6")

Tab15.13[3,1]=c("Газовая фаза в т.ч.:")

Tab15.13[3,2]=Gacc*0.24

Tab15.13[3,3]=X5814+X5813+X5815+X5816+X584+X589

$\text{Tab15.13}[3,4]=X584+X5810+X5814$
 $\text{Tab15.13}[3,5]=X5815+\text{Gacc}*0.24*0.542+X5810$
 $\text{Tab15.13}[3,6]=X585+X5816$
 $\text{Tab15.13}[4,1]=\text{c}(\text{"H2"})$
 $\text{Tab15.13}[4,2]=\text{Gacc}*0.24*0.008$
 $\text{Tab15.13}[4,3]=X584$
 $\text{Tab15.13}[4,4]=X584$
 $\text{Tab15.13}[4,5]=\text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.13}[4,6]=X585$
 $\text{Tab15.13}[5,1]=\text{c}(\text{"CO"})$
 $\text{Tab15.13}[5,2]=\text{Gacc}*0.24*0.319$
 $\text{Tab15.13}[5,3]=X589$
 $\text{Tab15.13}[5,4]=X589$
 $\text{Tab15.13}[5,5]=X5810$
 $\text{Tab15.13}[5,6]=\text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.13}[6,1]=\text{c}(\text{"CO2"})$
 $\text{Tab15.13}[6,2]=\text{Gacc}*0.24*0.542$
 $\text{Tab15.13}[6,3]=\text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.13}[6,4]=\text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.13}[6,5]=\text{Gacc}*0.24*0.542$
 $\text{Tab15.13}[6,6]=\text{c}(\text{"-"})$
 $\text{Tab15.13}[7,1]=\text{c}(\text{"CH4"})$
 $\text{Tab15.13}[7,2]=\text{Gacc}*0.24*0.131$
 $\text{Tab15.13}[7,3]=X5814+X5813+X5815+X5816$
 $\text{Tab15.13}[7,4]=X5814$
 $\text{Tab15.13}[7,5]=X5815$
 $\text{Tab15.13}[7,6]=X5816$
 $\text{Tab15.13}[8,1]=\text{c}(\text{"Паровая фаза в т.ч.:"})$
 $\text{Tab15.13}[8,2]=(\text{Gv56}+\text{Gacc}*0.25)+(\text{Gacc}*0.16)+(\text{Gacc}*0.08)+(\text{Gacc}*0.02)$
 $\text{Tab15.13}[8,3]=X5828+X5827+X5834+X5821$

Tab15.13[8,4]=X5821+X5828+X5834
Tab15.13[8,5]=X5822+X5829+X5835
Tab15.13[8,6]=X5823+X5830+X5837+Gv56+Gyc
Tab15.13[9,1]=c("Смола")
Tab15.13[9,2]=Gacc*0.16
Tab15.13[9,3]=X5821
Tab15.13[9,4]=X5821
Tab15.13[9,5]=X5822
Tab15.13[9,6]=X5823
Tab15.13[10,1]=c("Спирты")
Tab15.13[10,2]=Gacc*0.02
Tab15.13[10,3]=X5828+X5827
Tab15.13[10,4]=X5828
Tab15.13[10,5]=X5829
Tab15.13[10,6]=X5830
Tab15.13[11,1]=c("Кислоты")
Tab15.13[11,2]=Gacc*0.08
Tab15.13[11,3]=X5834
Tab15.13[11,4]=X5834
Tab15.13[11,5]=X5835
Tab15.13[11,6]=X5837
Tab15.13[12,1]=c("Гигроскопическая H2O")
Tab15.13[12,2]=Gv56
Tab15.13[12,3]=c("-")
Tab15.13[12,4]=c("-")
Tab15.13[12,5]=c("-")
Tab15.13[12,6]=Gv56
Tab15.13[13,1]=c("Реакционная H2O")
Tab15.13[13,2]=Gacc*0.25
Tab15.13[13,3]=c("-")

Tabl5.13[13,4]=c("-")
 Tabl5.13[13,5]=c("-")
 Tabl5.13[13,6]=Gyc
 Tabl5.13[14,1]=c("ИТОГО")
 Tabl5.13[14,2]=(Gv56+Gacc*0.25)+(Gacc*0.16)+(Gacc*0.08)+(Gacc*0.02)+(Gacc*0.24)
 Tabl5.13[14,3]=X5828+X5827+X5834+X5821+X5814+X5813+X5815+X5816+X584+X589
 Tabl5.13[14,4]=X5821+X5828+X5834+X584+X5810+X5814
 Tabl5.13[14,5]=X5823+X5830+X5837+Gv56+Gyc+X585+X5816
 Tabl5.13[14,6]=X5823+X5830+X5837+Gv56+Gyc+X585+X5816

 Tabl5.14=matrix(rep(0, 5*13),ncol=5, byrow=TRUE)
 Tabl5.14[1,1]=c("Компоненты парогазов")
 Tabl5.14[1,2]=c("Расход кг/ч")
 Tabl5.14[1,3]=c("Теплотворная способность МДЖ/кг")
 Tabl5.14[1,4]=c("Расход O2 кг/ч")
 Tabl5.14[1,5]=c("Количество получаемого тепла МДж/ч")
 Tabl5.14[2,1]=c("Газовая фаза в т.ч.:")
 Tabl5.14[2,2]=Gacc*0.24
 Tabl5.14[2,3]=
 Tabl5.14[2,4]=X5813+X588+X583
 Tabl5.14[2,5]=
 Tabl5.14[3,1]=c("H2")
 Tabl5.14[3,2]=Gacc*0.24*0.008
 Tabl5.14[3,3]=
 Tabl5.14[3,4]=X583
 Tabl5.14[3,5]=
 Tabl5.14[4,1]=c("CO")
 Tabl5.14[4,2]=Gacc*0.24*0.319

Tab15.14[4,3]=c("-")
Tab15.14[4,4]=X588
Tab15.14[4,5]=
Tab15.14[5,1]=c("CO2")
Tab15.14[5,2]=Gacc*0.24*0.542
Tab15.14[5,3]=
Tab15.14[5,4]=c("-")
Tab15.14[5,5]=c("-")
Tab15.14[6,1]=c("CH4")
Tab15.14[6,2]=Gacc*0.24*0.131
Tab15.14[6,3]=c("-")
Tab15.14[6,4]=X5813
Tab15.14[6,5]=
Tab15.14[7,1]=c("Парогазовая фаза в т.ч.:")
Tab15.14[7,2]=(Gv56+Gacc*0.25)+(Gacc*0.16)+(Gacc*0.08)+(Gacc*0.02)
Tab15.14[7,3]=
Tab15.14[7,4]=X5820+X5827+X5833
Tab15.14[7,5]=
Tab15.14[8,1]=c("Смола")
Tab15.14[8,2]=Gacc*0.16
Tab15.14[8,3]=
Tab15.14[8,4]=X5820
Tab15.14[8,5]=
Tab15.14[9,1]=c("Спирты")
Tab15.14[9,2]=Gacc*0.02
Tab15.14[9,3]=
Tab15.14[9,4]=X5827
Tab15.14[9,5]=
Tab15.14[10,1]=c("Кислоты")
Tab15.14[10,2]=Gacc*0.08

Tab15.14[10,3]=
Tab15.14[10,4]=X5833
Tab15.14[10,5]=
Tab15.14[11,1]=c("Гигроскопическая Н2О")
Tab15.14[11,2]=Gv56
Tab15.14[11,3]=c("-")
Tab15.14[11,4]=c("-")
Tab15.14[11,5]=c("-")
Tab15.14[12,1]=c("Реакционная Н2О")
Tab15.14[12,2]=Gacc*0.25
Tab15.14[12,3]=c("-")
Tab15.14[12,4]=c("-")
Tab15.14[12,5]=c("-")
Tab15.14[13,1]=c("ИТОГО")
Tab15.14[13,2]=(Gv56+Gacc*0.25)+(Gacc*0.16)+(Gacc*0.08)+(Gacc*0.02)+(Gacc*0.24)
Tab15.14[13,3]=
Tab15.14[13,4]=
Tab15.14[13,5]=0