**ВВЕДЕНИЕ**

На данный момент в стране и мире остро стоит проблема хранения, утилизации и переработки отходов. Большая часть отходов приходится на твердые бытовые, в том числе на изношенные шины различных транспортных средств. По примерным подсчетам на данный момент в мире имеются запасы порядка 35 миллионов тон, а ежегодный прирост составляет примерно 6-7 миллионов тон. Из упомянутого количества изношенных покрышек перерабатывается только 23-25%. Переработки производится либо методом сжигания с целью получения энергии, либо методом механического измельчения в различные фракции для дальнейшего использования в качестве различных внешних покрытий дорог, тротуаров, спортивных и детских площадок. Остальные 75% просто складируются на открытых полигонах или в подземных хранилищах из-за отсутствия рентабельного метода утилизации [1].

Следует так же отметить, что резина, складируемая на полигонах надземных или подземных, при контакте с дождевой или грунтовыми водами выделяет крайне вредные химические соединения и канцерогены такие как фенантрен, дифениламин и т. п. вещества с предельно допустимыми концентрациями 10мг/ воды.

Для справки: Европейский Союз запретил сжигание в атмосфере и захоронение в земле покрышек с 2003 года. Изношенные покрышки представляют собой вторичное сырье выгодное для дальнейшего использования: 25% технического углерода, 55-60% каучука, 10-15% металла. Поэтому экономически эффективный способ переработки позволит обеспечить не только рентабельность перерабатывающих производств, но и решить экологический аспект данной проблемы. Одним из наиболее перспективных и эффективных методов переработки является метод низкотемпературного пиролиза [2].

Низкотемпературный пиролиз – метод термического разложения сырья в закрытом реакторе при полной изоляции от кислорода, или при его небольшом количестве. В результате протекания пиролитической реакции на выходе из сырья получаются следующие вещества: твердый углеродный остаток (сажа), газовая фракция и ароматические углеводороды, т. е. синтетическое топливо.

С экологической и экономической точки зрения метод пиролиза обладает рядом преимуществ перед методом обычного сжигания. К тому же при правильной организации технологического процесса данный метод может быть полностью безотходным. Он позволяет получать конечные продукты (мазут, пиролизный газ, сажа), готовые для потребителей.

Однако способ пиролиза изношенных шин имеет и существенные недостатки: большая энергоёмкость производства и длительное время переработки, которое не позволяет увеличить производительность установок пиролиза, что в совокупности со слабо отработанной технологией, не получил широкого распространения несмотря на все преимущества [3].

Таким образом, **актуальность темы состоит** в совершенствовании технологических процессов пиролиза изношенных шин и в разработке устройств, систем контроля и управления пиролизной установкой по переработке изношенных шин, позволяющей повысить эффективность процессов пиролиза.

Повторное использование отходов резины в некоторой степени осуществлялось резиновой промышленностью практически с момента ее основания, и первые коммерческие мероприятия по переработке каучука путем регенерации начались вскоре после вулканизации х4ъ.

Переработка каучука путем производства вторичного каучука представляла достаточный коммерческий интерес в 19 веке для разработки трех различных типов процесса регенерации. Этими процессами были термический, нагревательный и варочный процессы, каждый из которых включал нагревание каучука до высокой температуры паром.

В процессах также использовались химические вещества (например, гидроксид натрия), называемые «регенерирующими агентами». Этот регенерированный каучук представлял собой материал, в котором как поперечные связи, так и химические связи основной цепи в основной цепи полимера были разорваны для получения черного материала с «сыроподобной» консистенцией, который можно было добавлять к новым резиновым смесям в качестве технологической добавки.

В этой роли он может улучшить качество резинового экструдата за счет уменьшения усадки и улучшения качества поверхности, а также действовать как «удешевляющий агент» для снижения затрат. Регенерированная резина является очень эффективным материалом при использовании в этих целях и по сей день продолжает оставаться коммерчески жизнеспособным продуктом для определенных секторов рынка. Были в дефиците, и для заполнения этого пробела требовалась переработанная резина (например, в виде регенерата).

Поэтому производство этих видов продукции было увеличено, но снижение стоимости синтетического и натурального каучука в 1950-х годах привело к снижению спроса на регенерированный каучук. Эта ситуация усугублялась рядом требовательных технологических разработок в течение 1960-х годов (например, шины со стальным брекером и радиальные шины), которые из-за доминирования шинной промышленности привели к появлению дополнительных технических и коммерческих преимуществ. ограничения на использование рекультивации [1].

Ситуация начала проявлять признаки изменения в начале 1970-х годов с нефтяными кризисами и сопутствующим значительным ростом цен на сырьевые товары, а также ростом интереса к охране окружающей среды для будущих поколений. В отличие от инициатив по переработке и устойчивому развитию в других областях науки и техники, исследования по переработке каучука стали вызывать больший интерес, а финансирование стало более доступным.

В дополнение к исследованиям по переработке резиновых отходов, которые все еще находились в вулканизированной форме (например, резиновая крошка), исследователи начали изучать новые методы разрушения сшитой матрицы, которая существует внутри материала (например, с помощью ультразвука), чтобы расширить возможности его повторного использования и реализовать потенциал производства высококачественных, ценных изделий из вторичного каучука, состоящих либо исключительно из вторичного каучука, либо, по крайней мере, содержащих очень высокая его доля. К середине 1980-х годов коммерческое использование переработанной резины, которая была произведена традиционными методами регенерации, было чрезвычайно небольшим.

**Цель исследования** - повышение эффективности процесса пиролиза изношенных шин за счет совершенствования технологических процессов и разработки специальных систем автоматизации и управления.

Для достижения цели поставлены и решены следующие взаимосвязанные задачи:

1) совершенствование существующих технологических процессов пиролиза изношенных шин с применением технических средств и систем автоматизации;

2) теоретическое обоснование и исследование способа пиролиза изношенных шин при автоматически изменяемом переменном давлении рециркулируемых газов;

3) математическое описание реактора пиролиза изношенных шин как объекта автоматического управления по давлению газов;

4) разработка устройства для измерения динамического расхода газов в крошке изношенных шин в автоматизированной системе управления (АСУ) процессом пиролиза при переменном давлении рециркулируемых газов;

5) разработка и исследование основных элементов и систем автоматизированного управления установками пиролиза изношенных шин при переменном давлении рециркулируемых газов.

**Объект исследования** - производственные процессы переработки изношенных шин способом пиролиза, включающие способы проведения пиролиза, средства и системы контроля и управления.

**Предмет исследования** - системы автоматизации технологических процессов пиролиза изношенных шин в реакторе при переменном давлении рециркулируемых газов в реакторе, включающие объект управления – реактор пиролиза изношенных шин и средства автоматизации.

**Практической значимостью работы обладают:**

1. устройство для создания переменного давления рециркулируемых реакторе пиролиза;
2. устройство для измерения динамического расхода рециркулируемых газов в АСУ процессом пиролиза;
3. АСУ установками пиролиза изношенных шин при переменном давлении рециркулируемых газов;
4. предложенные инженерные методики расчета устройств системы автоматического управления (САУ) амплитудой переменного давления рециркулируемых газов при пиролизе.

**В первом разделе** выпускной квалификационной работы приведен обзор аналогичных технических решений и технические средства автоматизации. Рассмотрены особенности аналогичных система автоматизированного управления комплексами пиролиза, преимущества и недостатки данных систем.

**Во втором разделе** выпускной квалификационной работы приведены теоретические положения и исследования влияния автоматически изменяемого переменного давления рециркулируемых газов на интенсификацию газообмена в крошке резинотехнических изделий в реакторе.

**В третьем разделе** ВКР приведены математические описания реактора пиролиза как объекта автоматического управления.

**В четвертом разделе** работы представлена разработка элементов и систем автоматического управления установками пиролиза изношенных шин в реакторе.

**В пятом разделе** проекта представлена разработка систем автоматического управления давлением газов в реакторе пиролиза при переменном давлении рециркулируемых газов, приведены функциональные и структурные схемы САУ.

**1. ОБЗОР CУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

При рассмотрении технологических процессов по переработке изношенных шин способом пиролиза, применяемых в России и за рубежом особое внимание уделялось автоматизации и управлению процессами пиролиза. Рассмотрим два способа пиролиза изношенных шин как наиболее типичных в отношении автоматизации технологических процессов [5].

На рис. 1.1 представлена схема установки для реализации способа термическойпереработки изношенных шин, с указаниемвсех имеющихся технических средств автоматизации.Реактор пиролиза изношенных шин 22 через выполненный в его верхнейчасти канал отбора пиролизного газа 11 и последовательно включенными в газопроводрегулятор расхода 12, вентилятор 18 и регулятор расхода 24 связан с газовойгорелкой 25 топки 16, а через канал отбора пиролизного газа 11, регуляторрасхода 12, вентилятор 18 и регулятор расхода 31 с горел очным устройствомгенератора восстановительного газа 26 через его первый впускной элемент 27. Топка 16 своим каналом отбора дымовых газов 13 через включенные в газопровод вентилятор 9, регулятор расхода 5, вентилятор 41, регулятор расхода39 и клапан 34 связан с теплогенератором 26 посредством его второго впускного элемента 30, а через вентилятор 9, клапан 5, вентилятор 41, регулятор расхода 39 и клапан 38 с нижней частью реактора 22 посредством впускного канала 33.

Канал отбора дымовых газов 13 связан с дымовой трубой 6 отвода дымовых газов в атмосферу. Теплогенератор восстановительного газа 26 выполнен таким образом, чтобы обеспечивалась возможность регулирования температуры подаваемых из него в реактор 22 газов до заданной величины. Для обеспечения устойчивости горения установка включает контур подачи атмосферного воздуха вентилятором 40 через клапан 35 в горелочное средство теплогенератора 26 посредством первого впускного элемента 27, а через клапан 28 в горелочное устройство 25 теплового агрегата 16.

Установка выполнена с устройством выделения жидкотопливной фракции, выполненным в виде конденсатора 19, подключаемого к каналу отбора пиролиз ного газа 11 через отсечной клапан 17 и регулятор расхода 12, а к резервуару для сбора жидкости 20 насосом 23.

Установка выполнена с контуром предварительного нагрева измельченных шин, находящихся в бункере 1, дымовыми газами, подаваемыми из канала отбора дымовых газов 13 теплового агрегата 16 вентилятором 9 через клапан 4 и входной патрубок 8 размещённого в бункере 1 нагревателя 2, из которого они выводятся через патрубок 3 в дымовую трубу 6. Датчик температуры 29 предназначен для контроля температуры в зоне реактора между впускным каналом 33 ввода дымовых газов и входным каналом теплогенератора 26 в реактор 22.

Контроль температуры в зоне пиролиза осуществляют датчиком 21, размещенным вблизи нижней части зоны пиролиза, и датчиком 14, размещённым вблизи верхней части зоны пиролиза. Контроль выхода газообразных продуктов пиролиза осуществляют датчиком 15, установленным вблизи канала отбора пиролизного газа 11. Реактор снабжен также датчиком уровня 10. Приемное устройство 36 для твёрдого остатка пиролиза связано с магнитным сепаратором 37 для разделения твёрдого остатка пиролиза на металлическую составляющую и углеродный остаток.

Регулирование температуры в зоне пиролиза осуществляется скоростью работы дозатора выгрузки и количеством греющего газа из камеры горения. Устойчивое горение должно быть достигнуто при максимально возможной подаче пиролизного газа (но не более 50 %) и минимальной подаче воздуха для горения. При таких условиях процесс пиролиза проходит наиболее оптимально. Выгружаемый углеродный остаток принимается в инвентарные транспортные контейнеры.

Регулирование температуры в зоне пиролиза осуществляется скоростью работы дозатора выгрузки и количеством греющего газа из камеры горения.

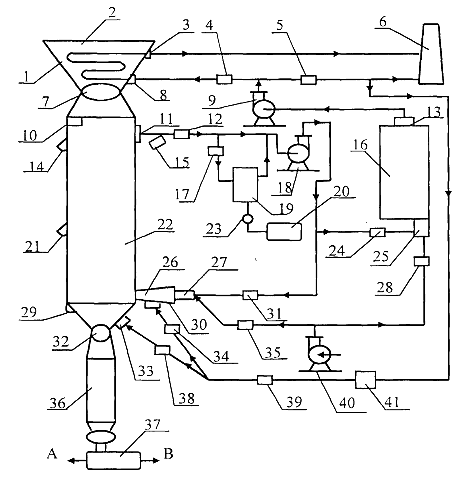


Рис. 1.1. Схема установки пиролиза изношенных шин с указанием технических средств автоматизации

Регулирование температуры в зоне пиролиза осуществляется скоростью работы дозатора выгрузки и количеством греющего газа из камеры горения. Устойчивое горение должно быть достигнуто при максимально возможной подаче пиролизного газа (но не более 50 %) и минимальной подаче воздуха для горения. При таких условиях процесс пиролиза проходит наиболее оптимально. Выгружаемый углеродный остаток принимается в инвентарные транспортные контейнеры.

Сырье к установке поставляется в контейнерах. Часовая подача сырья в установку пиролиза составляет 2-3 контейнера. Жидкие фракции, конденсируемые в конденсаторе, разделительной колонне, сепараторе аэрозолей (каплеотбойнике) и циклоне, отбираются самотеком в сборники. Все сливы жидкостно-топливной фракции из конденсатора, разделительной колонны и циклона оборудованы U-образными гидрозатворами во избегания подсоса воздуха в систему газоразделения. В конденсаторе осаждается преимущественно водная фракция с примесью высококипящих продуктов пиролиза, которые самотеком стекают по трубопроводу через полностью открытые задвижки и поступают в сборник [6].

Температура газовой смеси на выходе из конденсатора 6 не должна превышать 70 °С. Поток охлаждающей воды регулируется так, чтобы температура воды на выходе из конденсатора 6 не превышала 70°С. Основные жидкостно-топливные компоненты конденсируются в разделительной колонне 7 и самотеком собираются в сборнике.

В процессе работы установки периодически контролируется наличие пылевидных осадков в циклоне 10. По мере накопления осадков или при каждой остановке реактора производится опорожнение циклона. Отходы, полученные при очистке газоходов и оборудования газоразделения, утилизируются путем добавления к основному сырью.

**2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМОГО ПЕРЕМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ РЕЦИРКУЛИРУЕМЫХ ГАЗОВ НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ГАХООБМЕНА В КРОШКЕ ИЗНОШЕННЫХ ШИН ПРИ ПИРОЛИЗЕ В РЕАКТОРЕ**

**2.1. Вывод уравнений расхода и давления рециркулируемых газов для полости, соединенной через пневматическое сопротивление с газовым потоком в крошке изношенных шин при пиролизе в реакторе**

На рис. 2.1 приведена схема расположения крошек 2 изношенных шин, полостей между ними 3 и потоков рециркулируемых газов 4 в реакторе 1 [9]/

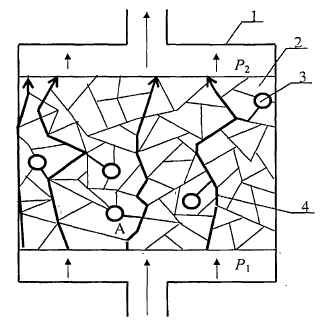


Рис. 2.1. Схема расположения крошек изношенных шин, полостей, между ними и потоков рециркулируемых газов в реакторе: 1 - реактор; 2 - крошка изношенной шины; 3 - газовая полость между крошками изношенных шин в реакторе; 4 - потоки рециркулируемых газов внутри реактора между крошками изношенных шин

Рециркулируемые газы при пиролизе изношенных шин в реакторе – это выделенные на специальных аппаратах газообразные углеводороды от С1 до С4. Рециркулируемые газы, подаваемые нагнетателем в нижнюю часть реактора 1, перемещаются по вертикали и взаимодействуют с перерабатываемым материалом в виде крошек изношенных шин.

Газовую полость *А* с объемом *Vk* и при давлении *Рк* (рис. 2.1) между крошками изношенных шин в реакторе, соединенную с потоком рециркулируемых газов 4 внутри реактора, представим в виде схемы, приведенной на рис. 2.2 и состоящей из пневматического сопротивления 2 для протекания рециркулируемых газов в выделенную газовую полость 1 от потока 3 рециркулируемых газов в реакторе пиролиза.

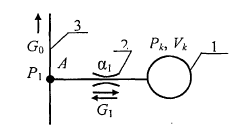


Рис. 2.2 - Пневматическая схема прохождения рециркулируемых газов внутри реактора между потоком рециркулируемых газов и газовой полостью межу крошками изношенных шин через пневматическое сопротивление.

Рециркулируемые газы (газообразные углеводороды) подаются в нижнюю часть реактора 1 (рисунок 2.1) специальной системой автоматического управления под переменным давлением Па, которое определяется по выражению:

(2.1)

где - статическая составляющая давления рециркулируемых газов, Па;  *-* переменная составляющая давления рециркулируемых газов, Па; *Рх,*  - амплитуда и частота переменной составляющей давления рециркулируемыхгазов, Па, ; *t—* время, с.

Из верхней части реактора 1 рециркулируемые газы при постоянном давлении отводятся с использованием регулятора давления.

Расход рециркулируемых газов через пневматическое сопротивление 2 (рисунок 2.3) проводимостью на основании формулы расхода среды через линейные дроссели с учетом выражения (2.1)

(2.2)

После преобразования этого выражения по Лапласу, считая и переменными величинами, получим

(2.3)

где *s* - оператор Лапласа.

Для газовой полости 1 (рис. 2.2) как для пневматической емкости уравнение Клапейрона - Менделеева имеет вид

(2.4)

где - масса рециркулируемых газов в полости 1, кг; *R* - газовая постоянная рециркулируемых газов, '; *Т -* абсолютная температура газов, К.

Дифференцируя по времени выражение (4) по переменным величинам

применительно к пневматической схеме (рисунок 2.3), получим

(2.5)

Изменение массы рециркулируемых газов по времени в полости 1 равно расходу газов через пневматическое сопротивление 2 проводимостью , то есть

(2.6)

С учетом (6) выражение (5) принимает вид

(2.7)

или после преобразования по Лапласу

(2.8)

Определяем из выражения (8) давление в газовой полости 1 (рисунок 3)

(2.9)

C учетом выражений (3) и (9) получим

(2.10)

Чтобы провести обратное преобразование по Лапласу выражения (2.10) необходимо его привести к табличным слагаемым и определить оригинал функции.

(2.11)

В выражении (1) *Px(t) -* амплитуда колебаний переменной составляющей

давления перед пневматическим сопротивлением с проводимостью (рисунок 3).

Из выражения (2.11) следует, что расход газов через пневматическое сопротивление, расположенное между потоком рециркулируемых газов и газовой полостью межу крошками изношенных шин:

- прямо пропорционален амплитуде *Рх (t)* исходных колебаний в точке А (рисунок 3 ), умноженной на частоту колебаний *;*

- прямо пропорционален проводимости пневматического сопротивления или обратно пропорционален гидравлическому сопротивлению этого пневматического сопротивления

- расход газов через пневматическое сопротивление горизонтальной плоскости в полость между крошками изношенных шин в реакторе будет изменяться от минимального до максимального значения только в том случае, если будут изменения (колебания) давления в точке А (рисунок 2.3).

Для того чтобы определить давление в газовой полости 1 (рисунок 2.3) приравняем расходы газов по выражениям (2.3) и (2.8) и переходим от изображений функции по Лапласу к оригиналу:

(2.12)

В этой формуле- амплитуда переменного давления в точке А (рисунок 2.3). Из выражения (2.12) видно, что если частота переменного давления равна нулю, тогда расход через пневматическое сопротивление равен нулю и давление в газовой полости также равно нулю.

**2.2. Теоретические исследования влияния автоматически изменяемого переменного давления рециркулируемых газов на интенсификацию газообмена в крошке изношенных шин при пиролизе в реакторе**

**2.2.1. Изменение расхода газов в газовую полость и давления в ней в зависимости от частоты переменного давления газов на входе в реактор.** При исследованиях изменения расхода рециркулируемых газов через пневматическое сопротивление в газовую полость крошки изношенных шин в зависимости от частоты переменного давления рециркулируемых газов на входе в реактор используется выведенная для пневматической схемы, приведенной на рисунке 2.2, формула (2.11).

Для расчётов, выбрав в качестве рабочей среды воздух и руководствуясь практической необходимостью и скоростями протекания газа через микрощели, принимаем следующие данные: *R =* 29,27 ; Т = 293 К; = 90 мм3 - объем газовой полости в крошке изношенных шин; *=* 0,5с - постоянная времени для газовой полости с пневматическим сопротивлением (по рисунку 2.2).

Так как

тогда (2.13)

Принимаем для дальнейших расчетов *ах -* 0,02 м-с, тогда расход газа получим в мм /с.

Время *t* в формуле (2.12) для исследования влияния частоты на расход рециркулируемых газов через пневматическое сопротивление 2 (2.2) выбираем равным 1 с, то есть *t* = 1 с. Переменную составляющую давления рециркулируемых газов, подаваемых в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин выбираем равным 30 мм. вод. ст., то есть *Px(t)=* 30 мм. вод. ст. = 300 Па.

Таким образом, входящие в выражение (2.12) величины имеют следующие значения:  *=* 0,5 с; = 0,02 м\*с; *t=* 1 с; *Px(t)=* 30 мм. вод. ст. = 300 Па.

Результаты вычислений по выражению (2.12) с принятыми значениями параметров занесены в таблицу 2.1, по которой построен график на рисунке 4.

Таблица 2.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,1 | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,5 | 2 | 10 | 100 |
|  | 0 | 0,26 | 1,89 | 2,02 | 2,06 | 1,97 | 1,07 | -4,27 | -2,86 |



Рис. 2.4. Изменение расхода рециркулируемых газов через пневматическое сопротивление в газовую полость крошки изношенных шин в зависимости от частоты переменного давления рециркулируемых газов на входе в реактор

Из графика на рисунке 2.4 следует, что максимальное значение расхода рециркулируемых газов отмечается при частоте изменения переменного давления газов = 1,1 . Известно, что =  *f*, где *f* - частота колебаний, Гц, где *Т-* период колебания, с. Из этих выражений определяем

(2.14)

Это очень важные значения потому, что с таким периодом и с такой частотой наиболее целесообразно изменять с помощью проектируемой системы автоматического управления переменное давление рециркулируемых газов, подаваемых в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин.

Исследование изменения давления рециркулируемых газов в газовой полости, соединенной через пневматическое сопротивление с газовым потоком в крошке изношенных шин, в зависимости от частоты переменного давления рециркулируемых газов на входе в реактор проводится по формуле (2.11).

Входящие в выражение (2.11) величины имеют выше принятые значения:

*=* 0,5 с; *t=* 1 с; *Px(t)=* 300 Па; *е* =2,718.

Полученные результаты вычислений по выражению (2.11) занесены в таблицу2.2, по которой построен график на рисунке 2.5.

Таблица 2.2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,9 | 1 | 1,1 | 2 | 10 |
|  | 0 | 17,03 | 33,92 | 140,78 | 153,24 | 164,81 | 219, | 49,85 |



Рисунок 2.5. Изменение давления рециркулируемых газов в газовой полости, соединенной через пневматическое сопротивление с газовым потоком в крошке изношенных шин, в зависимости от частоты переменного давления рециркулируемых газов на входе в реактор

Из графика на рисунке 2.5 следует, что максимальное значение давления рециркулируемых газов отмечается при частоте изменения переменного давления газов . Выше установлено, что максимальное значение расхода рециркулируемых газов *G\ (t)* отмечается при частоте изменения переменного давления газов . Различия связаны с различием непосредственно формул (8) и (13). Неравенство этих частот связано с тем, что при частоте расход газов максимален. При увеличении частоты расход не увеличивается потому, что сопротивление канала возрастает и в полость как бы нагнетается некоторое дополнительное давление при уменьшающемся расходе газов.

**2.2.2.** **Определение в процентах обновления газов в полости, соединенной с потоком газов в реакторе пиролиза.** Рассмотрим схему, приведенную на рисунке 3 и отражающую протекание рециркулируемых газов в полость 1 через пневматическое сопротивление 2 от потока газов 3 в реакторе пиролиза изношенных шин.

Целесообразно определить обновление рециркулируемых газов в полости 1, соединенной через пневматическое сопротивление 2 с потоком газов 3 в реакторе пиролиза изношенных шин, например, на 50 %, и установить как на это обновление газов в полости 1 влияет переменное давление подводимое в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин.

Для газовой полости 1 (рисунок 2.3) как для пневматической ёмкости уравнение Клапейрона - Менделеева имеет вид (2.4).

Для конкретного примера, когда давление в полости 1 равно начальному значению , принимая объем полости неизменной, выражение (2.4) принимает вид

(2.15)

В соответствии с выражением (15) в полости 1 находится масса газа

(2.16)

Для другого момента времени, когда в полости 1 будет давление *,* масса газа в этой полости будет

(2.17)

Допустим, что масса газа составляет 100 *%,* тогда масса газа составляет *х* %.

Из этих соотношений определяем относительное, в процентах, изменение массы газа 5 в полости в зависимости от изменения давления

(2.18)

Если исходное давление в реакторе будет, например =5 мм вод. ст. = 50 Па и при колебании давление возрастает на 5 мм. вод. ст. = 50 Па до 100 Па, то есть  *=* 100 Па, тогда масса газа в полости составит

(2.19)

и обновление массы газа в камере составит 200 % -100 % =100 %.

Если исходное давление в реакторе будет, например, 300 мм вод. ст. = 3000 Па и при колебании давление возрастает на 300 Па до = 3300 Па, тогда

(2.20)

и обновление массы газа в камере составит 110 % - 100 % = 10 %.

Таким образом, изменяя соотношение статического и переменного давлений можно добиться необходимого обновления газов в полостях крошки изношенных шин в реакторе в процессе пиролиза.

**Список используемой литературы**

1. Лобачёва, Г.К. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки: Учеб. пособие для вузов Г.К. Лобачёва, В.Ф. Желтобрюхов, И.И. Прокопов, А.П. Фоменко. - Волгоград: ВГУ, 2016. - 176 с.
2. Тямкин С.А. Способ термической переработки изношенных шин / С.А. Тямкин // Перспектива. Сборник статей молодых учёных. - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2017. - №10. - С. 467-471.
3. Технологии переработки и утилизации отходов. (<http://www.waste.>[org.ua/modules.](http://org.ua/modules)php?name:=Forums&file:=viewtopic&t=2&postda ys=0&postorder=asc&start=0). Проверено 13.01.22 г.
4. Леонов В.Е., Сиворина А.Г. Утилизация автомобильных шин / В.Е. Леонов, А.Г. Сиворина // Безопасность жизнедеятельности. - 2022. - №1. - С. 30-32.
5. Минхайдарова Г.В. Экологические аспекты утилизации твердого остатка пиролиза изношенных шин: дис. канд. пед. наук Г.В. Минхайдарова. - Казань: Казан, гос. технол. ин-т, 2014 - 140 с.
6. Продукты пиролиза отработанных автопокрышек - источник альтернативных видов топлива ([http://ualin.com/index.php?aid:=234)](http://ualin.com/index.php?aid:=234) Проверено 25.04.22 г.
7. Переработка изношенных шин: Монография / Э. М. Соколов, Б. Н. Оладов, Н. И, Володин, В. А. Тимофеев, Н. М. Качурин, М. А. Иваницкий. - Тула: ТГУ, 1999.-134 с.
8. Родионов А.И, Клушин B.H., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности /Основы энвайронменталистики/: Учебник для студентов технических и технологических специальностей. 3-е изд. перераб. и доп. / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. - Калуга: Издательство Н. Бочкарёвой, 2000. - 800 с.