

Аннотация

Отчет 75 с., 34 рис., 75 источников, 6 таблиц, 3 прил.

ПИРОЛИЗ, РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ, ОТРАБОТАННОЕ МАСЛО, ПЕРЕРАБОТКА, ГОРЕЛКА, ДВС, ПИРОЛИЗНАЯ ЖИДКОСТЬ, УСТАНОВКА

Объектом исследования является технология получения пиролизной жидкости.

Цель работы - разработка технологии получения вторичных ресурсов и дальнейшее применение их в энергетических установка на базе ДВС.

В процессе работы:

- разработана и изготовлена экспериментальная установка;
- разработана и проверена технология получения пиролизной жидкости;
- проведен эксперимент и исследование полученного продукта.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1 Разработка технологии.....	8
Глава 2 Разработка и изготовление экспериментальной установки.....	12
2.1 Горелка на отработанном масле.....	12
2.2 Пиролизная установка.....	15
2.3 Пиролизная установка непрерывного действия	22
Глава 3 Методика проведения и обработка результатов испытаний	31
3.1 Проведение эксперимента на пиролизной установке	31
3.2 Определение фракционного состава жидкости	36
3.2.1 Требования к аппаратуре, материалам и реактивам	37
3.2.2 Требования к проведению испытаний.....	40
3.2.3 Проведение испытания.....	43
3.3 Определение октанового числа жидкости	45
3.3.1 Аппаратура для измерения октанового числа и последовательность проведения испытания	45
3.3.2 Требования к порядку проведения испытания	48
Глава 4 Использование пиролизной жидкости	53
4.1 Пиролизная жидкость.....	53
4.2 Использование пиротоплива в котлах	57
4.3 Использование пиротоплива в дизельных двигателях	59
4.4 Использование пиротоплива в газотурбинных двигателях.....	60
4.5 Использование пиротоплива в двигателях Стирлинга	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	65
ПРИЛОЖЕНИЕ А	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ В	75

ВВЕДЕНИЕ

Использование топлива в народном хозяйстве страны все время возрастает, так как бурное развитие промышленности органического синтеза (производство пластических масс, химических волокон, синтетических каучуков, красителей, растворителей и т. д.) требует огромное количество углеродного сырья, которое получается в результате химической переработки различных топлив. Все топлива можно разделить по агрегатному состоянию на твердые (угли, древесина, сланцы, торф), жидкие (нефть) и газообразные (природные и попутные газы), а по происхождению - на естественные и искусственные.

Искусственные топлива получают главным образом при переработке естественных топлив. Твердые искусственные топлива - кокс, полукокс, древесный уголь; жидкие - бензин, керосин, лигроин и др.; газообразные - генераторные газы, коксовый газ, газы переработки нефти и др.

В настоящее время в нефтеперерабатывающей промышленности все большее значение приобретают химические процессы. Они позволяют резко увеличить выход целевых продуктов и улучшить их качество. Термический крекинг осуществляют при высокой температуре и значительном давлении. В таких условиях молекулы тяжелых углеводородов расщепляются легче. Особой разновидностью крекинга является пиролиз. Он проводится при температуре 700-720 С и атмосферном давлении. Исходным материалом для этого процесса служат легкие фракции: нефтелигроин и керосин. Цель пиролиза — получение газа и ароматических углеводородов.

В процессе эксплуатации резинотехнических изделий (РТИ) возникает большое количество отходов. В частности, известна проблема утилизации РТИ используемых на автомобильном транспорте, основную массу которых составляют изношенные шины. [5]

Объемы образования и накопления отработанных шин достигают во всем мире огромных размеров. В России количество автотранспорта интенсивно

увеличивается и составляет в настоящее время около 56 млн. единиц. Количество изношенных шин растет пропорционально количеству автомобилей. Вышедшие из эксплуатации шины являются источником загрязнения окружающей среды [6].

В Самарской области постоянно увеличивающееся количество автомобильного транспорта дает большую экологическую нагрузку на земельные площади области, в виде вышедших из оборота автомобильных покрышек и резинотехнических изделий, а также горюче-смазочных материалов.

Сегодня наиболее распространённым способом переработки РТИ является захоронение на специальных полигонах, то есть мы «зарываем» в землю невозполнимые ресурсы (нефть, газ), теряем активные земли, которые можно использовать с пользой для населения. Срок естественного распада автомобильной шины – чуть более 110 лет. Все это время в окружающую среду освобождается бензол и другие токсические вещества [7].

Таким образом необходимы новые (перспективные) методы, позволяющие утилизировать РТИ. При этом необходимо учитывать следующие аспекты:

- экологическая безопасность (ликвидация несанкционированных свалок, которые заполнены длительно разлагающимся продуктом);
- биологическая безопасность (ликвидация мест размножения грызунов, насекомых, которые являются переносчиками инфекционных болезней);
- дорожное строительство (решение вопросов создания высокоэффективного асфальтового покрытия дорог;
- высвобождение земель для рекультивации;
- эстетическая составляющая (оборудование мест общественного пользования: игровые площадки, тротуары, места отдыха и т.д., а также многоцветными не пылящими покрытиями, современным оборудованием игровых и спортивных площадок);

- создание новых рабочих мест (сбор, складирование, отгрузка покрышек; специалисты по покрытиям и т.д.);

- возможность снижения себестоимости получения тепловой и электрической энергии предприятиями автомобильного транспорта [5].

Одним из методов, выполняющим все вышеперечисленные аспекты, является низкотемпературный пиролиз. Во многих странах перспективным решением проблемы считается сжигание шин с целью получения энергии и тепла, а также в качестве топлива в цементной промышленности. Таким путем можно добиться существенного сокращения объемов изношенных шин. Однако сжигание не выгодно ни с экономической, ни с экологической точек зрения [5].

Альтернативой сжиганию является пиролиз изношенных шин, протекающий с образованием газообразного и жидкого топлива (пиролизная жидкость, пиротопливо), и твердого углеродного остатка. Преимуществом пиролиза является его экологическая безопасность, вследствие протекания процесса в отсутствии атмосферного воздуха. Поэтому в пиролизных газах не содержатся такие токсичные соединения как диоксид серы, оксиды азота и оксид углерода [5].

В результате пиролиза образуются следующие компоненты:

- технический углерод, который используется в качестве наполнителя в производстве неответственных резин, пигмента для производства красок, углеродного адсорбента, взамен древесного активного угля;

- пиролизный газ, который является аналогом природного газа. Может использоваться на мини-котельных для получения тепловой и электрической энергии;

- металлокорд, используемый для нужд металлургической промышленности;

- синтетическая нефть, которая по своему составу практически идентична природной. При условии ее очистки, она способна заменить многие нефтепродукты [5].

Перерабатывая объём шин, требующих ежегодной утилизации в г. Тольятти, методом низкотемпературного пиролиза можно получить тепловой энергии в объёме 19000 ГКал или жидких углеводородов в объёме 7000 т. При этом получаемая прибыль может составить до 20 млн. руб. [5].

На предприятиях автомобильного транспорта помимо шин скапливается огромное количество отработанного масла. Так, например, на предприятии, имеющем парк автомобилей марки «Газель» в количестве 100 единиц, ежемесячно скапливается до 400 л отработанного моторного масла, при сжигании которого можно получить 3,3 Гкал тепловой энергии. При этом, в случае продажи данного количества масла по цене 3 руб. за 1 л, предприятие получит 1200 руб., а при его превращении в тепловую энергию экономия составит до 6000 руб. [5].

В настоящее время в г. Тольятти применяются методы утилизации шин путём переработки их в резиновую крошку и технологии сжигания резинотехнических изделий в пиролизных печах. Однако технологии переработки шин в углеводородное топливо, которое можно использовать в качестве источника энергии для двигателей внутреннего сгорания не используются [5].

Глава 1 Разработка технологии

1.1 Процесс пиролиза

Сегодня одним из главных процессов в нефтехимии является пиролиз — способ получения ненасыщенных и ароматических углеводородов из нефтяного сырья. Данный процесс происходит при температурах 700- 1000°С, при которых осуществляется нефтепродуктов на отдельные фракции. Следовательно, данный процесс позволяет обеспечить химическую промышленность различным углеводородным сырьем [24].

В зависимости от содержания серы в резине ее называют мягкой (2--8 % серы), полутвердой (12—20 % серы), твердой или эбонитом (25--30 % серы). Резиновые отходы образуются в сфере производства -- в процессах изготовления резинотехнических изделий (РТИ), товаров народного потребления, в шинной промышленности и сфере потребления (изношенные покрышки, резиновая обувь и т.п.) [25].

Производство РТИ занимает особое место среди отраслей резиновой промышленности. Широкий ассортимент продукции определяет разнообразие применяемых материалов, технологических приемов обработки, оборудования и производственных процессов [25].

Основными РТИ являются: конвейерные ленты, приводные ремни (плоские и клиновые), формовые изделия, товарная резина, прорезиненная ткань, техническая пластина. Резиновые невулканизированные и вулканизированные, резинотканевые невулканизированные и вулканизированные, текстильные и резинометаллические отходы являются важнейшими при производстве РТИ [25].

Кроме того, пиролиз нефти является отличным способом борьбы в случаях разлива нефти и нефтяного шлама. В данных случаях образуется достаточно большое количество мусора, загрязненного нефтью и нефтепродуктами [24].

И путем пиролиза можно максимально быстро и безопасно избавиться от подобного рода загрязнений, поскольку пиролиз мусора, содержащего нефть, является абсолютно безопасным с экологической точки зрения. Кроме того, в результате данного процесса можно получить энергию и вещества, которые можно использовать в химической промышленности. Рассмотрим, как происходит технология и процесс пиролиза нефти более подробно [24].

Основным назначением процесса пиролиза нефти и нефтепродуктов, являющегося наиболее жесткой формой термического крекинга — является получение непредельных газообразных водоронов, в первую очередь этилена и пропилена. Именно по этой причине пиролизные установки в нефтепереработке часто называют этиленовыми установками. Процесс пиролиза также может быть направлен и на получение ароматических углеводородов, среди которых:

- Бензол
- Толуол

По этой причине пиролиз нефти еще иногда называется ароматизацией нефти.

Схема превращений нефтяного сырья в процессе пиролиза внешне проста. Сырье поступает по трубам в печь, где поддерживается высокая температура. Там оно переходит в газообразную форму. Затем после выхода из печи полученный газ подвергают закалке путем впрыскивания воды [24].

После этого газ охлаждается. Как мы видим, тут соблюдается классический принцип работы обыкновенной печи: подготовили сырье — получили продукт — охладили его. Но полученный в результате пиролиза нефтяного сырья продукт еще не готов, поскольку продукты пиролиза должны пройти очистку и последующее разделение. Поэтому для такого процесса как

пиролиз нефтяного сырья необходима не только печь, но и ректификационные колонны [24].

Стоит отметить тот факт, что сырьевые базы процессов пиролиза нефтяного сырья в разных странах мира различны. Так, в США обычно используют для этих целей газообразные углеводороды, тогда как в Европе применяют бензиновую фракцию перегонки нефти. Все это явилось следствием разных исторических традиций использования нефти. Поскольку США обладают более старыми нефтехимическими традициями, нежели страны Европы, вполне естественно, что именно здесь первым началось активное развитие автомобильного транспорта [24].

Такие темпы роста количества автомобилей в США вызвало интенсивное потребление такого нефтепродукта как бензин, с целью обеспечения промышленности непредельными углеводородами использовали газообразные углеводороды (C₂ — C₅). Таким образом, именно газообразные углеводороды как избыточные продукты первичной переработки стали в США основой для нефтехимии [24].

Совершенно по-другому развивалась нефтехимия и нефтепереработка в Европе и в странах СНГ. Здесь продолжительное время перегонка нефти осуществлялась по топливно-масляной схеме, что означает, что основным продуктом переработки нефти являлись керосин и масла. Поскольку при данной схеме избыточным продуктом являлся бензин, именно на его базе и возникла нефтехимическая промышленность.

Посредством пиролиза нефтяного сырья добывают различные нефтепродукты, которые представляют собой это смеси различных углеводородов [24].

Все нефтепродукты могут быть классифицированы на следующие группы:

- Топливо
- Нефтяные масла
- Нефтяные битумы
- Нефтяные растворители

- Твердые углеводороды
- Прочие нефтепродукты

К первой группе нефтепродуктов относятся жидкие и газообразные топлива. Данные продукты занимают примерно 63% от общего числа нефтепродуктов. К топливам относятся углеводородные газы, бензины, дизельные и котельные топлива. Все нефтяные топлива подвергаются тщательной очистке, кроме котельного топлива, которое используется в качестве мазута [24].

Ко второй группе относятся нефтяные масла. Это разнообразные смазочные масла, которые могут использоваться для самых различных целей. Третью группу составляют технические нефтяные битумы, которые широко применяются в промышленности, особенно в строительной отрасли.

К четвертой группе относятся нефтяные растворители, используемые на производствах и в быту в качестве растворителей для разбавления красок, удаления загрязнений и промывки деталей [24].

В пятую группу попали твердые углеводороды: вазелины, петролатумы, церезины, парафины, озокериты и другие. Область применения подобных продуктов пиролиза нефти очень широка - медицина, пищевая, бумажная, резиновая, электротехническая промышленность, производство пластичных смазок и многое другое [24].

К шестой группе относятся вещества, используемые в качестве нефтехимического сырья – бензол, толуол, нафталин, ксилол, зеленое масло и др. Эти вещества помогают получить синтетический спирт, каучук и многое другое сырье [24].

Хотя способов переработки нефти существует достаточно много, именно пиролиз является одним из наиболее перспективных методик, поскольку он позволяет получить максимально возможное количество нефтепродуктов из шестой группы. Соответственно, он позволяет обеспечить нефтехимическую промышленность необходимым для работы сырьем. Однако, необходимо отметить, что сегодня существует еще один способ получения различных

нефтепродуктов, для которого вовсе не нужна сама нефть. И таким способом является переработка ТБО. Из обыкновенного мусора уже научились получать синтетическое топливо, что позволяет экономить такой не восполняемый природный ресурс как нефть [24].

Глава 2 Разработка и изготовление экспериментальной установки

2.1 Горелка на отработанном масле

Низкотемпературный пиролиз протекает при температуре 400 – 700 °С. Для переработки 15 кг резинотехнических изделий, данную температуру нужно поддерживать в течение 4 часов. Использование для этих целей газообразного топлива (пропанобутановая смесь) приведёт к достаточно ощутимым затратам материальных средств. Поэтому принято решение разработать и изготовить горелку на отработанном масле.

При анализе отечественного и зарубежного рынков, в зависимости от различных факторов, горелки можно условно разделить на несколько типов.

По типу топлива:

- газовые горелки работают на газе из магистрального газопровода или газгольдера. Подбор горелки производят по мощности с учетом минимального давления газа, при котором она может стабильно работать;

- жидкотопливные горелки предназначены для сжигания жидкого топлива. Производятся горелки, работающие на отработанном масле, мазуте, дизеле и т.д.

По способу подачи воздуха для горения:

- атмосферные горелки конструктивно проще наддувных и бывают только газовыми. Обогащение топлива воздухом для горения происходит благодаря инъекции. К преимуществам горелок данного типа можно отнести

высокую надежность и бесшумную работу. К недостаткам, высокую чувствительность к давлению газа, что в условиях России может быть критичным;

- наддувные или дутьевые горелки оснащены вентилятором, обеспечивающим принудительное обогащение топливной смеси. Бывают как газовыми, так и жидкотопливными, а также комбинированными.

Преимущества – работа на различных видах топлива, более высокий, чем у атмосферных горелок КПД, больше возможностей для управления работой горелки. Недостатками устройств данного типа являются: шум производимый вентилятором, зависимость от электричества.

После сравнения преимуществ и недостатков, выбор был остановлен на жидкотопливной горелке наддувного типа.

В результате анализа конструктивных особенностей жидкотопливных горелок наддувного типа принят во внимание патент РФ №2333422 «Устройства для сжигания топлива», который содержит корпус 1 с патрубками входа 2 и выхлопа 3, внутри которого последовательно и соосно размещены завихритель 4 с торцевой стенкой 5, оборудованной осевым окном 6 и соплом 7. Между стенками выхлопного патрубка 3 и сопла 7 образован кольцевой проход 8 (рисунок 1) [4].

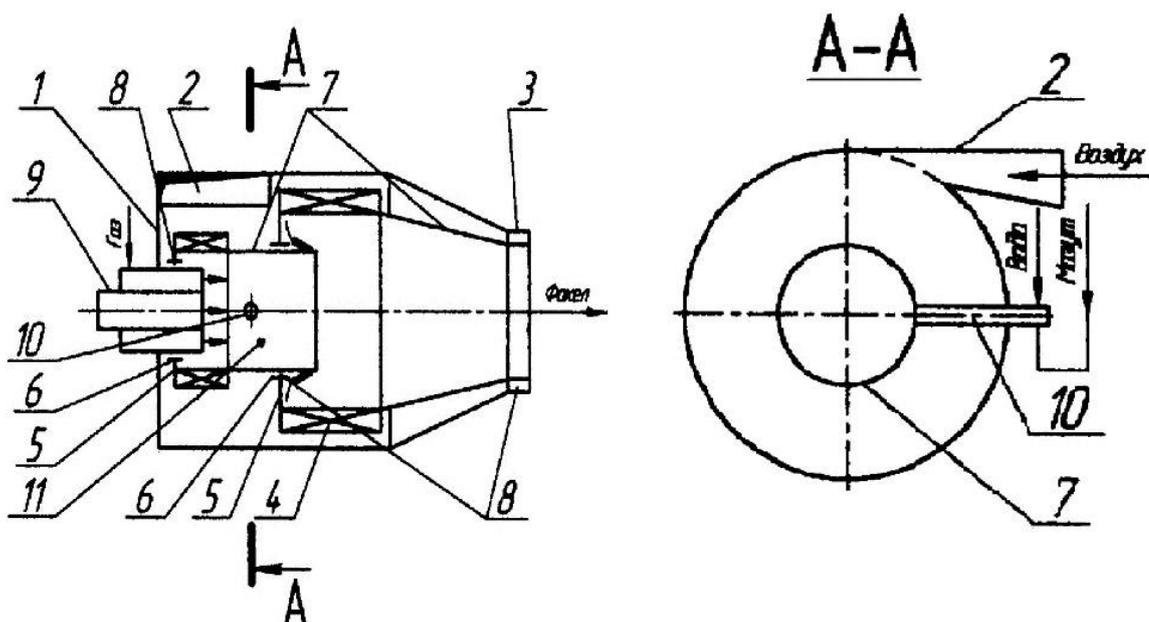
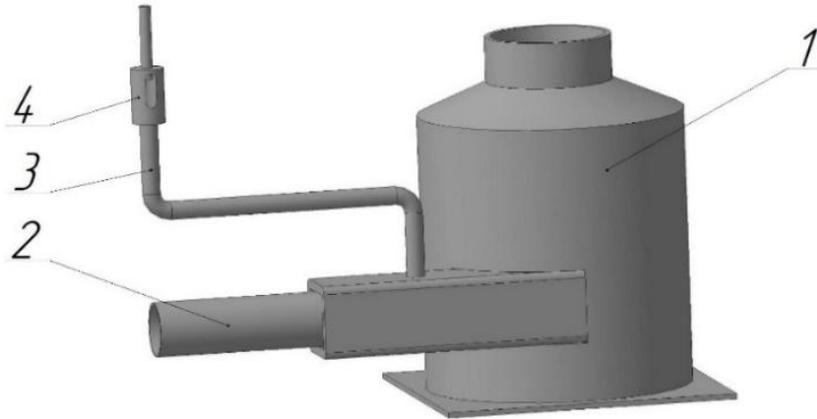


Рисунок 1 – Устройство для сжигания топлива [4]

На основании патента №2333422 была разработана 3D модель горелки (рисунок 2) и изготовлен экспериментальный образец горелки (рисунок 3).



1 – корпус; 2 – труба для подвода воздуха; 3 – трубка подачи масла;
4 – устройство для визуального контроля подачи масла

Рисунок 2 – 3D модель горелки

Порядок работы горелки на отработанном масле.

Перед началом работы, корпус 1 подогревается ацетиленовой горелкой, параллельно включается небольшая подача масла через трубку 3 и контролируется визуально колбой 4. После образования пламени подается воздух по трубе 2. Выключается ацетиленовая горелка. Регулируется подача масла и воздуха до установления стабильного пламени.



а)

б)

а – внешний вид, б – работа горелки

Рисунок 3 – Горелка

2.2 Пиролизная установка

Для переработки РТИ в настоящее время используют циклический и непрерывный методы. Первый метод заключается в проведении пиролиза резины в герметичной реторте (рисунок 4) погружаемой в камеру сгорания.

Процесс пиролиза длится от 4 до 7 часов. Недостатком данного метода является необходимость удаления реторты из камеры сгорания после окончания процесса для очистки от твердых продуктов, большое время остывания установки.



Рисунок 4 – Пиролизная установка циклического метода

Второй метод заключается в непрерывной подаче резинотехнических изделий (рисунок 5).

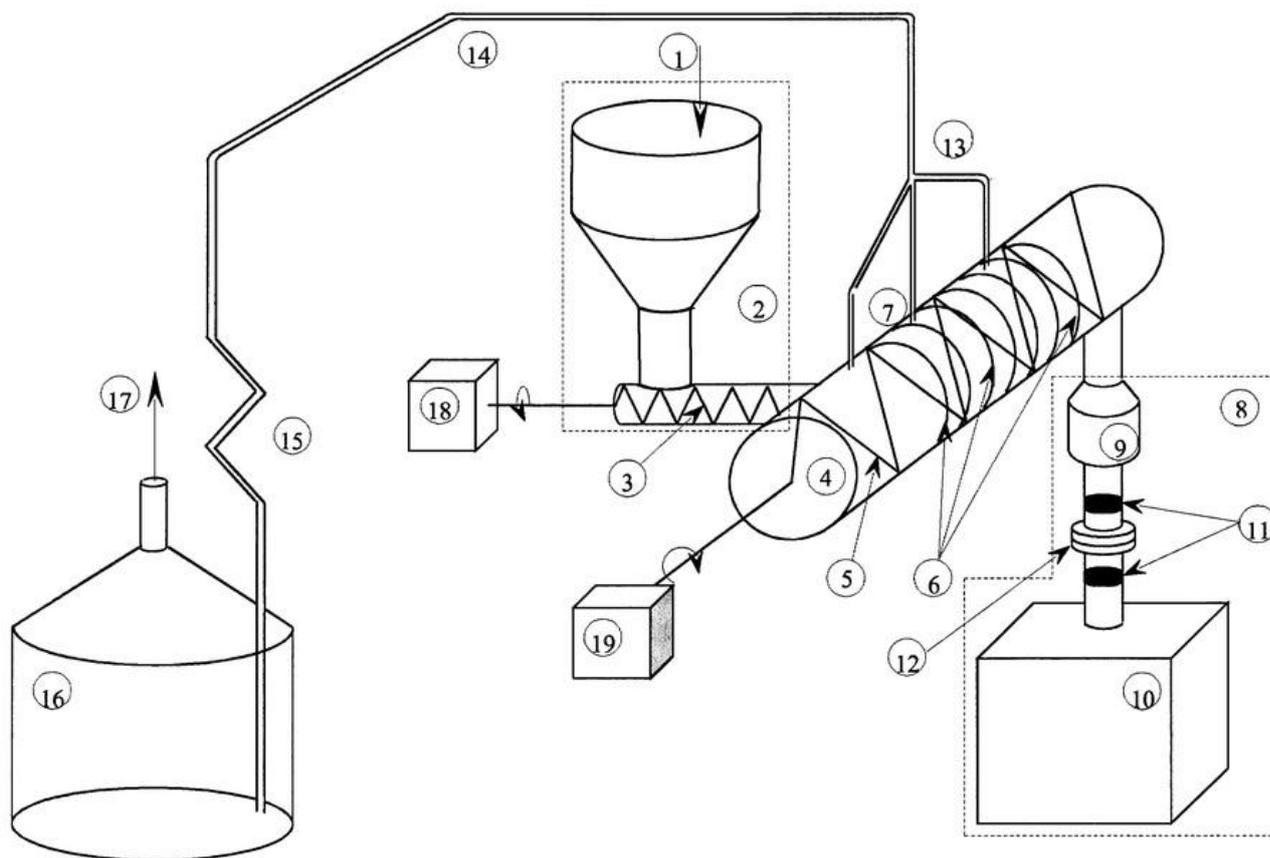


Рисунок 5 – Пиролизная установка непрерывного действия

Недостатком установки является сохранение герметичности в загрузочном бункере. Кроме того, установка оказывается работоспособной лишь при весьма жестком соблюдении соотношения размеров входного и выходного сечений пиролизной камеры, диаметра шнека к его длине, что также усложняет процесс изготовления устройства. Но при этом мы получаем автоматическую очистку от продуктов пиролиза.

Также известен патент РФ №2408654 Установка непрерывного действия для пиролиза углеродсодержащих материалов (рисунок 6) [59].

Установка непрерывного действия для пиролиза углеродсодержащих материалов, содержащая бункер-накопитель, соединенный со шнековым питателем, который осуществляет формирование герметичной пробки на границе питатель - реторта и непрерывную подачу обрабатываемого материала в реторту, при этом реторта выполнена в виде стальной трубы с продольным шнеком для плавного перемещения частиц обрабатываемого материала через зоны подсушки и пиролиза, расположенные в реторте от места загрузки материала в реторту к зоне разгрузки, причем между ретортой и зоной разгрузки установлена муфта переменного сечения для последующего формирования пробки из получаемого угольного материала для гарантированного обеспечения герметичности реторты и термостабильности процесса, зона разгрузки включает отвод-накопитель и приемный бункер угля, герметично присоединенные к отводу посредством разъема, нагрев реторты производится электрическим нагревателем, расположенным вне трубы реторты по всей ее длине, также к реторте подсоединена система газоотведения и газоконденсации [59].



1 – Бункер накопитель; 2 - Загрузочный модуль; 3 - Шнековый питатель приводимый во вращение узлом 18; 4 – Реторта; 5 - Главный шнек приводимый во вращение узлом 19; 6 - Электронагревательные элементы; 8 - Узел разгрузки 9 - Отвод-накопитель; 10 - Приемный бункер с заслонкой 11 и разъемом 12; 7 - Газосборные трубы; 13 – Концентратор; 14 – Магистраль; 15 – Конденсатор; 16 – Емкость; 17 – Отводчик неконденсируемых газов [59].

Рисунок 6 - Установка непрерывного действия для пиролиза углеродсодержащих материалов [59]

Недостаток данной установки использование электронагревателей и двух узлов для привода шнеков, что приводит к дополнительным затратам на эксплуатацию,

Для того чтобы понять технологию получения топлив, была спроектирована (рисунок 7), затем изготовлена установка с извлекаемым реактором (рисунок 8) и проведен эксперимент, показавший возможность разложения компонентов, содержащих углеводороды, на газообразное и жидкое топливо.

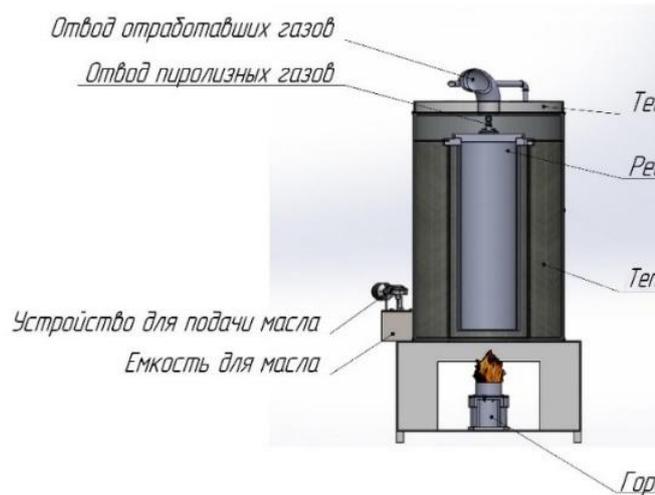


Рисунок 7 – 3D модель пиролизной установки и её схема

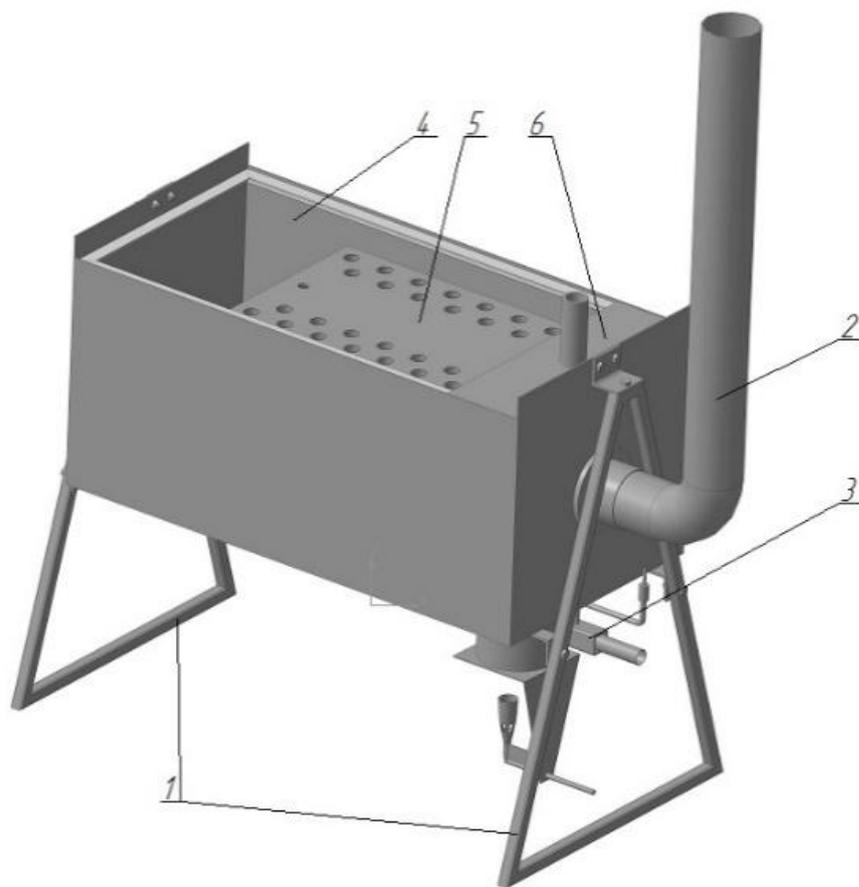


Рисунок 8 - Установка с извлекаемым реактором

Эксперимент показал, что данный способ имеет высокую трудоёмкость, требует большого количества времени, из-за невозможности перемешивания резинотехнических изделий внутри реактора.

Поэтому было принято решение разработать и изготовить пиролизную установку непрерывного действия.

Была разработана 3D модель пиролизной установки (рисунок 9) и изготовлен экспериментальный образец (рисунок 10).



1 – опора; 2 – труба для отвода теплоты, 3 – горелка на отработанном масле; 4 – корпус; 5 – реактор; 6 – загрузочный бункер

Рисунок 9 – Пиролизная установка



Рисунок 10 – Экспериментальный образец пиролизной установки

Порядок работы пиролизной установки.

Горелка на отработанном масле устанавливается под корпус пиролизной установки 4. В бункер 6 загружается перерабатываемое сырье. Выходная труба загрузочного бункера соединяется с радиатором, после чего корпус установки закрывается крышкой. Включается горелка 3, которая при помощи регулировки подачи масла и воздуха выводится на рабочий режим. Производится нагрев реактора 5, в котором запускается механизм протекания низкотемпературного пиролиза. Об окончании пиролиза будет свидетельствовать понижение температуры реактора. Далее выключается горелка и после остывания установки производится сбор продуктов пиролиза (рисунок 11).



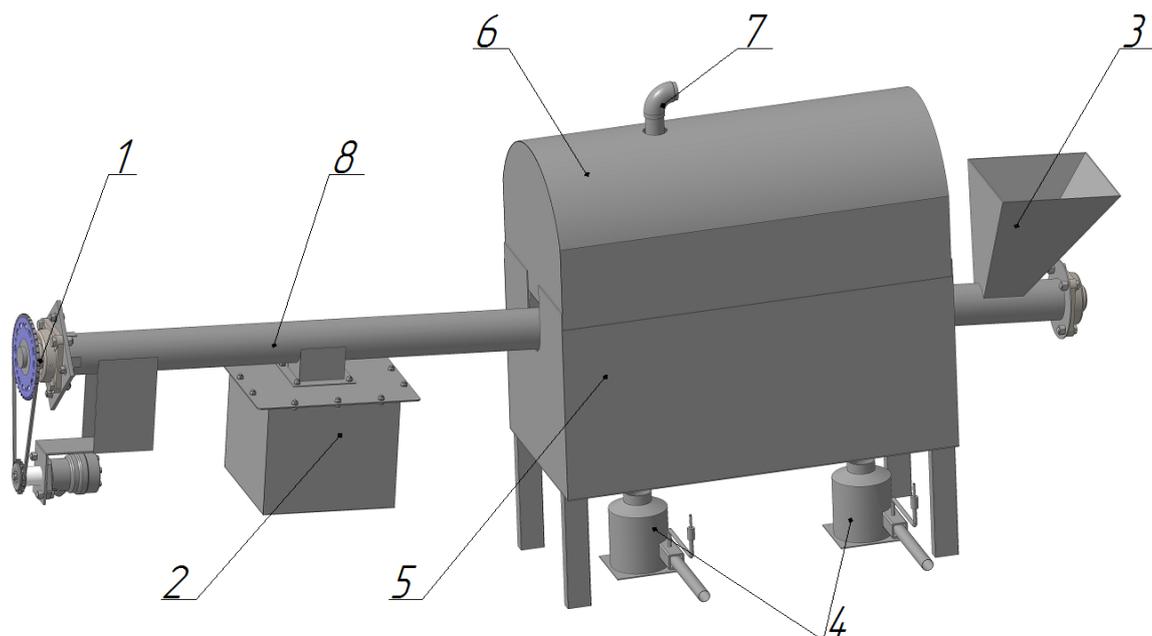
Рисунок 11 – Результаты эксперимента

2.3 Пиролизная установка непрерывного действия

Экспериментальный образец, представленный на рисунке 9, имеет недостаток связанный с необходимостью открывать бункер для загрузки новой партии перерабатываемого продукта, что приводит к попаданию кислорода в реактор. В связи с этим разработана и изготовлена установка со шнеком расположенным под углом 5 градусов, что обеспечивает постоянную герметизацию за счет присутствия перерабатываемого продукта в полостях шнека (рисунок 12,13)



Рисунок 12 - Изготовленная пиролизная установка непрерывного действия



1 – Привод шнека; 2 – Приёмный бункер твёрдого углерода; 3 – Загрузочный бункер РТИ; 4 – Масляные горелки; 5 – Корпус установки; 6 – Кожух; 7 – штуцер для отвода продуктов пиролиза; 8 – Труба со шнеком

Рисунок 13 - 3Д модель пиролизной установки непрерывного действия

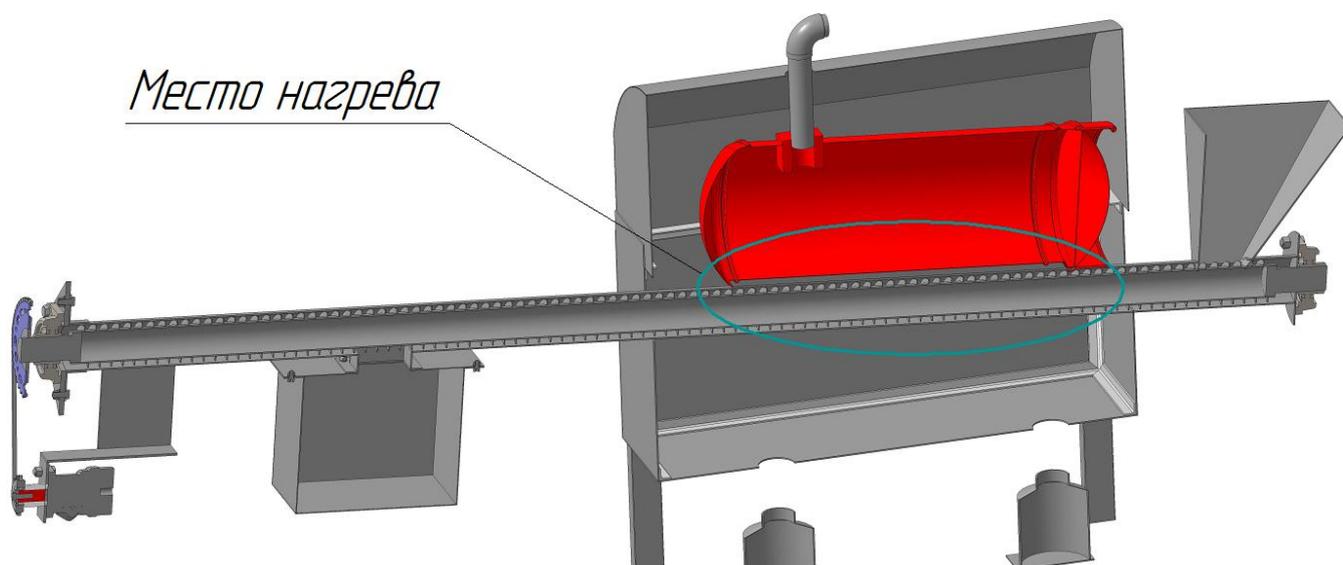


Рисунок 14 - Разрез пиролизной установки

Порядок работы установки.

Перед началом работы производится загрузка жидкого продукта через бункер 3, далее производится подключение к радиатору через штуцер 7.

Горелки 4 выводятся на рабочий режим и включается привод шнека 1, в области нагрева трубы со шнеком (рисунок 14) происходит разложение РТИ на углеводородсодержащие продукты, которые поступают в расширительное устройство в виде баллона и отводятся через штуцер 7 к теплообменнику. Оставшиеся продукты распада отводятся шнеком 8 в приёмный бункер 2 и в конце эксперимента выгружается. Скорость перемещения продукта регулируется частотным регулятором за счет изменения частоты вращения электродвигателя маслостанции.

В процессе эксперимента выявлены следующие недостатки:

- загрузочный бункер находится близко к реактору, что приводит к нагреву жидкого продукта и его выплескиванию за счет повышающегося давления в реакторе;

- в следствие невозможности изготовления шнека, соприкасающегося с трубой по всей площади её прогрева в процессе работы установки на трубе происходит отложение и пригорание продуктов распада, что приводит к снижению теплопередачи от трубы к продукту;

- объём загрузочного бункера недостаточен для того чтобы эффективно перерабатывать продукт с содержанием воды 50% и более;

- поверхность нагрева должна быть плоской с возможностью удаления пригоревших продуктов распада механическим способом.

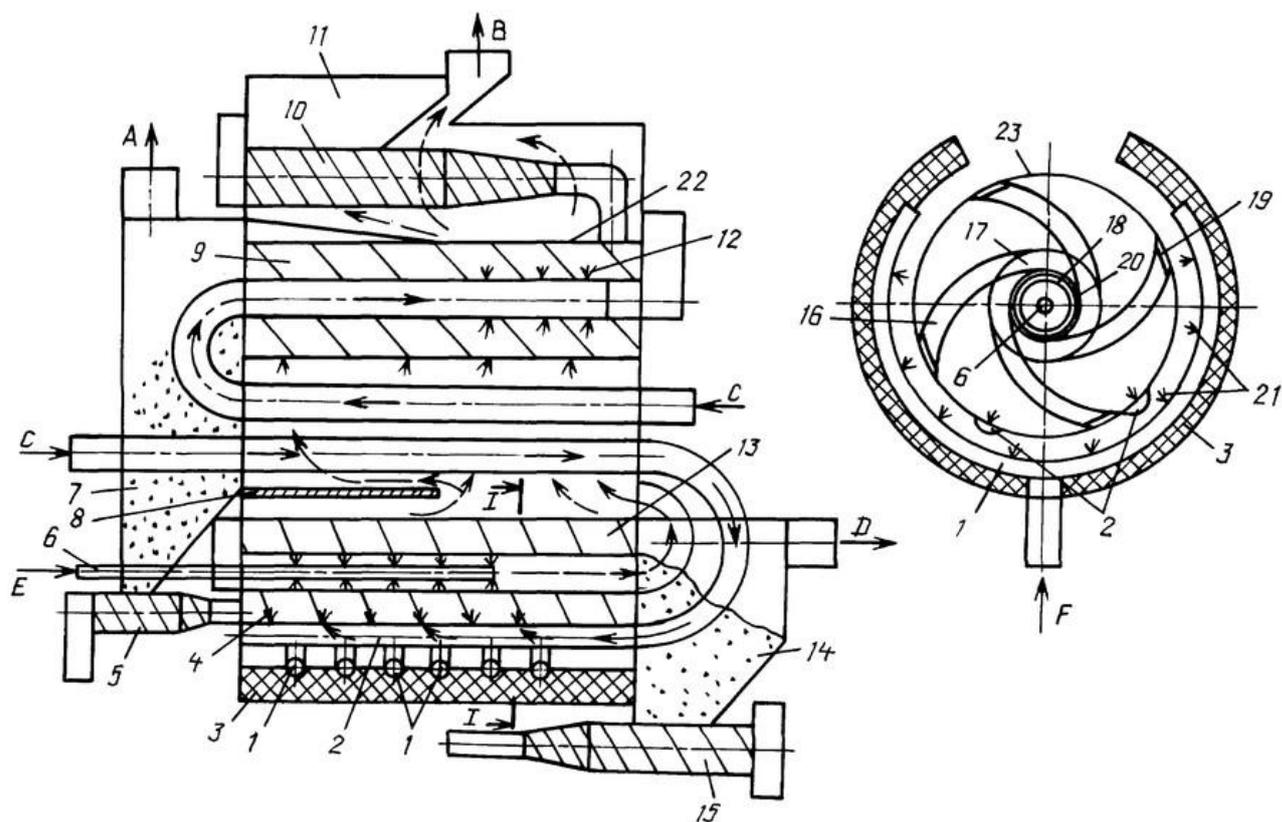
В связи с этим универсальная установка по пиролизу углеводородсодержащих продуктов должна иметь 2 реактора в которых перерабатываются отдельно твёрдые и жидкие отходы производства.

Опираясь на полученный опыт от выше представленных экспериментов, было принято решение изготовить установку позволяющую исключить недостатки разработанных ранее моделей.

Известен также патент РФ № 2416053 [58] со схожим принципом разрабатываемой установки.

Устройство для переработки - низкотемпературного пиролиза углеводородсодержащих твердых и жидких отходов (рисунок 15) содержит 2

герметичных горизонтальных реактора, установленных друг над другом, из которых реактор сушки - верхний, реактор пиролиза - нижний. Реакторы оснащены шнековыми питателями, камерами сбора обработанного продукта, каналами выхода парогазовых смесей, шнековым выгрузателем твердой составляющей из пиролизной камеры, каналом выхода дымовых газов. Реактор пиролиза оснащен газовыми горелками для прогрева до 450-500°C. В реакторах на неподвижных полых осях установлены лопастные шнеки, в полую ось реактора пиролиза вставлена газовая горелка. Реактор сушки прогревается до 150-200°C снаружи отходящими дымовыми газами, температура которых регулируется сетью труб, установленных между реакторами, и прокачкой через них холодного воздуха и/или технологического газа, и закачкой прогретых газов через полую ось. На корпусе реактора снизу приварены полутрубы для прокачки через них в полость реактора технологического газа через отверстия в корпусе реактора. Вращающиеся лопастные шнеки собраны из двух противоположно навитых и сваренных между собой полос с одинаковым шагом с возможностью вращения на неподвижной оси, по верхней полосе навита вертикальная полоса, к которой приварены лопасти. Лопасти шнеков на концах имеют скребки, установленные с уклоном назад. Технический результат: предотвращение накопления накипи и нагара на рабочих поверхностях [58].



1 - Газовые горелки и трубы подачи воздуха; 2 - Полутрубы, приваренные к реакторам, для прогрева технологического газа; 3 - Огнеупорная футеровка и теплоизоляция; 4,12 - Отверстия для прохода горячего технологического газа в реактор; 5,10 - Шнековые загрузчики с редуктором; 6 - Газовая горелка в полой оси шнека; 7 - Сборник сухого продукта; С - Выходы технологического газа и воздуха; 8 - Огнеупорная перемышка; 9, 13 - Лопастной шнек; А - Выход парогазовой смеси из реактора сушки; 11 - Загрузочный бункер с подогревом; В- Выход отработанных дымовых газов; Д - Выход парогазовой смеси из реактора пиролиза; 14 - Сборник твердой фракции; 16 - Шнек выгрузки; 17 - Поперечная навивка, приваренная на плоскостную навивку 20 с шагом 350-500 мм полосы 100*10 мм; 18 - Плоскостная навивка полосы 100*10 по трубе оси шнека диаметром 250-300 мм на длину реактора противоположной навивки 20; 19 - Скребок очистки; 20 - Плоскостная навивка поверх навивки 18 в противоположном направлении и приваренная к полосе 18; 21 - Факелы газовых горелок; 22, 23 - Корпуса реакторов; F - Входы газа и воздуха для газовых горелок [58].

Рисунок 15 – Устройство для переработки [58]

Недостатком данного вида установки является наличие 2 реакторов, что технологически усложняет конструкцию и увеличивает её габариты, а также возможность проведения обслуживания установки. Однако стоит отметить, что в установке присутствуют устройства для размешивания продукта во время пиролиза предотвращая образование накипи и нагара на рабочих поверхностях.

Расположение нагревающего элемента было выполнено в закрытом с 3 сторон коробе который позволял сохранять тепло выделяющееся от нагревательного элемента и обеспечивал удобство контроля пламени, выполнения обслуживания.

Со второго варианта установки был взят опыт с теплоизоляцией самого реактора и отвода продуктов сгорания нагревательного элемента (рисунок 10). Вариант установки показал высокие показатели температуры реактора в течение всего времени проведения эксперимента.

С третьего варианта установки был взят опыт со шнековой подачей перерабатываемого продукта (рисунок 12). Шнек обеспечивал непрерывную подачу продукта.

Далее в САПР была проработана конструкция установки с учетом всех недостатков приведенных выше установок, были подобраны: электродвигатель, пневмоцилиндр, редуктор, цепь, звездочки, ремень. Благодаря которым регулировался подъём и опускание внутренней части реактора, а также вращение для перемешивания перерабатываемого продукта.

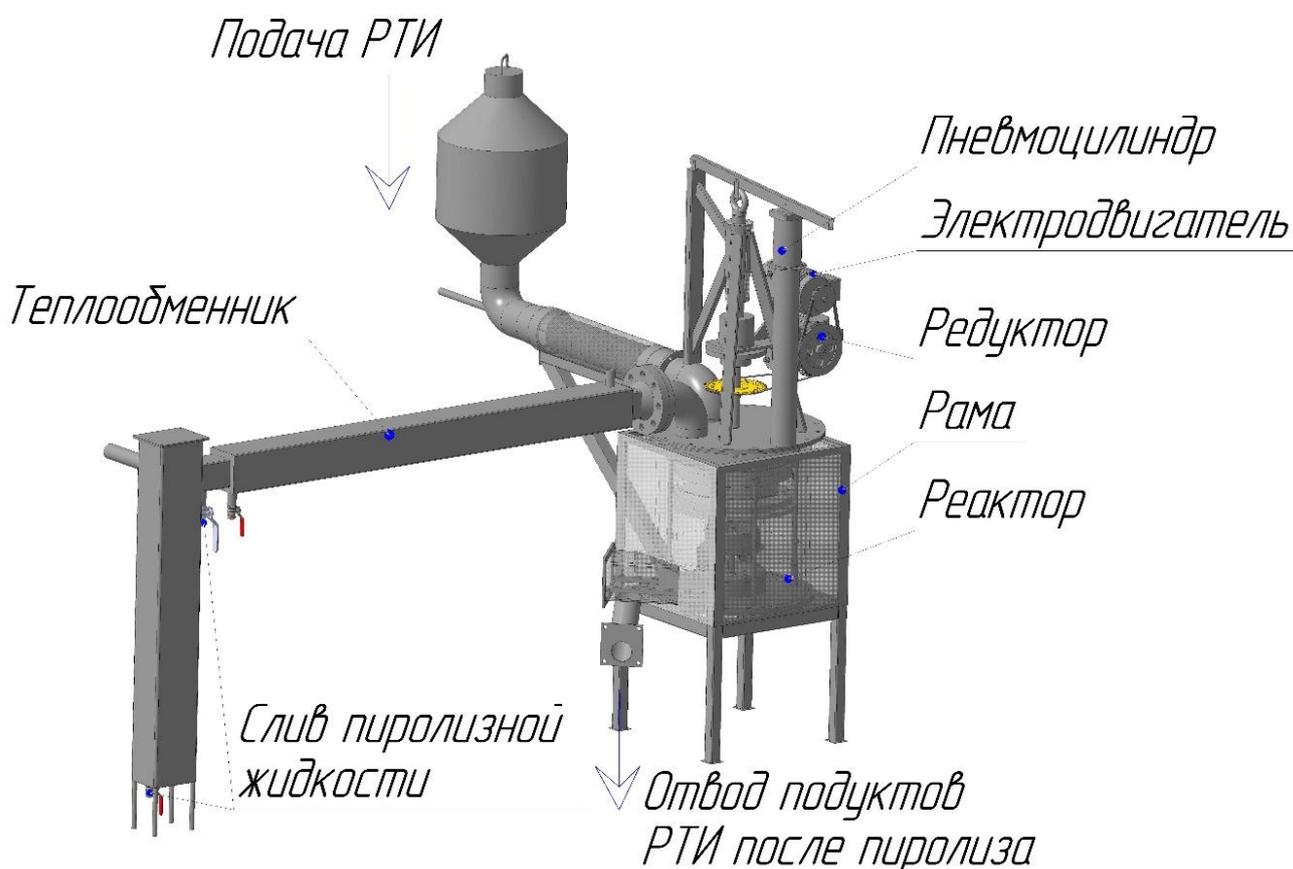


Рисунок 16 – 3Д модель установки

Порядок работы пиролизной установки.

Продукт закладывается в приёмочный бункер и при помощи шнека попадает в реактор. Далее бункер закрывается и запитывается система циркуляции воды. Включается электродвигатель и посредством ременной и цепной передачи приводится в движение вал реактора для размешивания поступающего продукта.

В нижнюю часть установки размещается горелка и закрывается листами соединяющимися с рамой установки. Горелка разогревается до температуры 150 – 200 °С и при помощи насоса из бака начинается подача отработавшего масла, далее производится нагрев реактора до температуры 700 – 800 °С. Поднятие внутреннего реактора для поступления нового продукта обеспечивается пневмоцилиндром. Для определения необходимости поднятия внутреннего реактора, со входной трубы теплообменника берутся значения температуры, указывающие на состоянии процесса низкотемпературного пиролиза и наличия в реакторе перерабатываемого продукта.

Об окончании процесса пиролиза свидетельствует понижение температуры реактора и входной трубы теплообменника. Следующим шагом производится удаление пиролизной жидкости из теплообменника и твердого углерода из реактора. Внешний вид установки представлен на рисунке 17



Рисунок 17 – Установка в работе

Технические характеристики установки:

- объем загружаемого вторичного ресурса 20 л.;
- температура реактора до 700 °С;
- планируемая производительность жидкости 30 л/ч;
- выход твердого углерода с 10 кг вторичного сырья составляет 20 л.

Система нагрева реактора.

Система нагрева реактора (рисунок 18) состоит из: масляного насоса, нагнетателя воздуха, частотного регулятора и горелочного устройства.

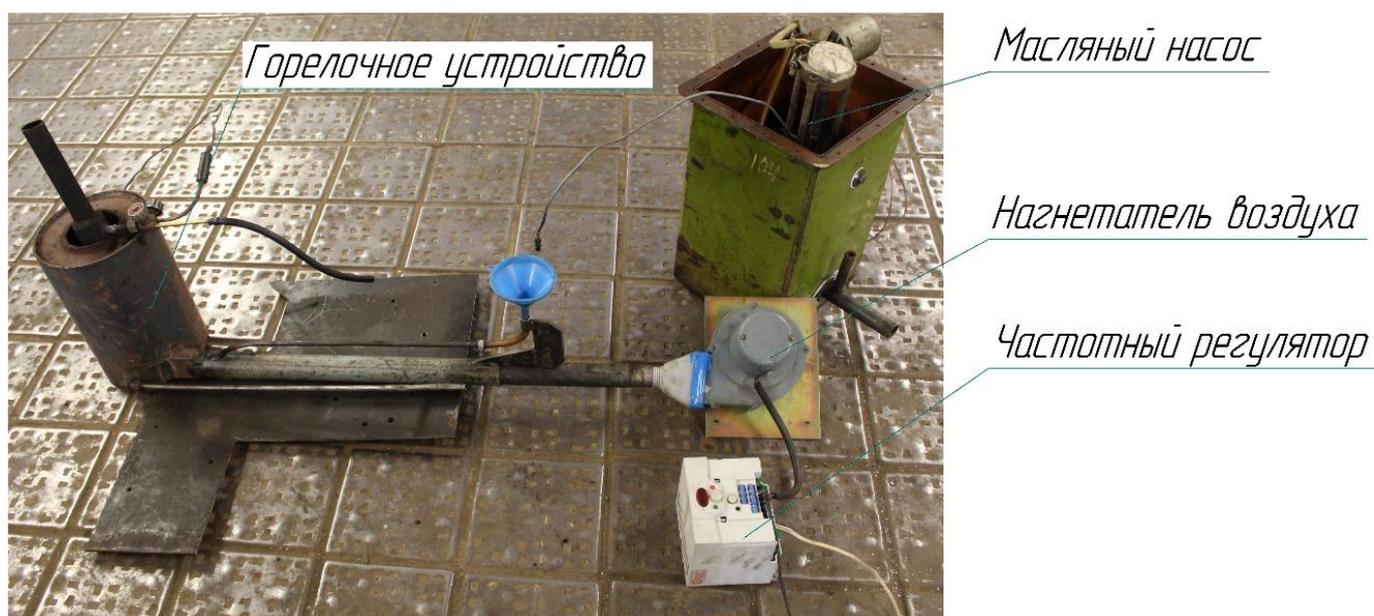
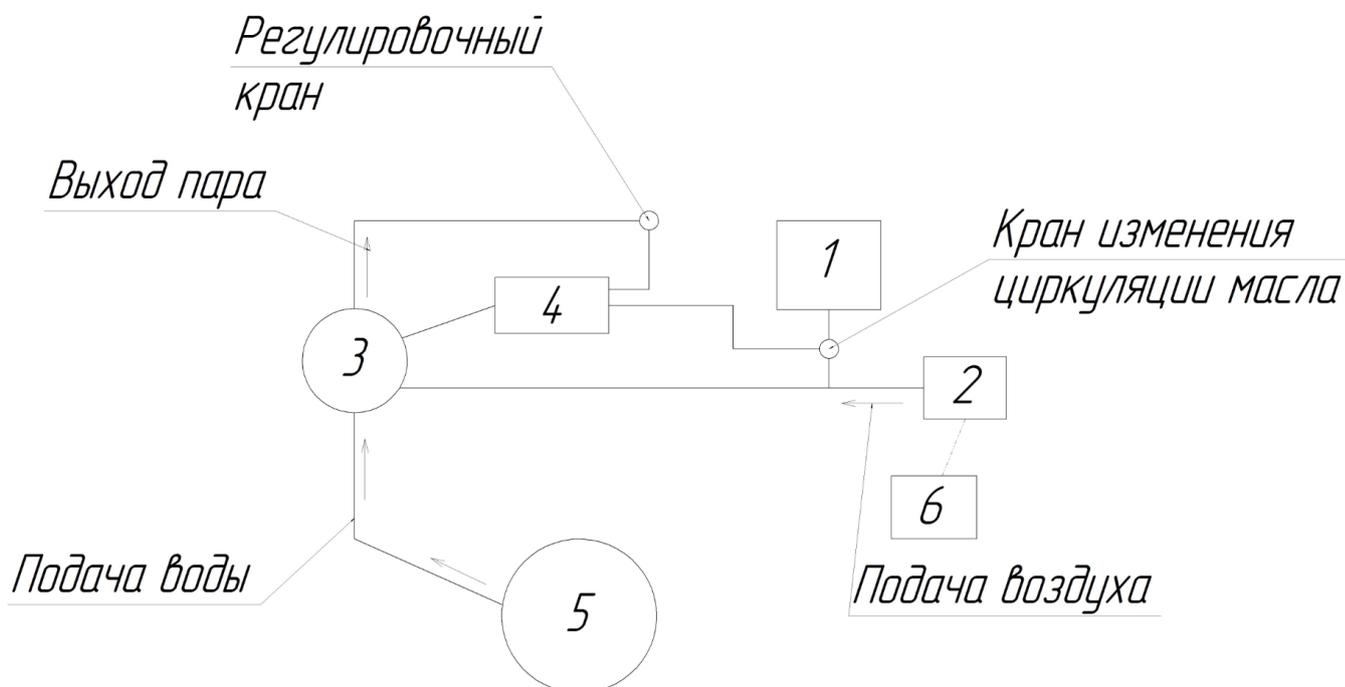


Рисунок 18 – Внешний вид системы нагрева

Порядок работы.

Производится запуск горелки путём добавления небольших порций бензина или подогрева её газовой горелкой, далее включаем нагнетатель воздуха и масляный насос (регулируем подачу масла через частотный регулятор до установления ровного пламени). Прекращаем подачу порций бензина или нагрев газовой горелкой.

Работа горелки со смешиванием пара с маслом происходит следующим образом (рисунок 19), после выхода на рабочий режим включается подача воды из резервуара 5 во внешний кожух горелки 3, а также включается подача масла краном по второму циркуляционному кругу в смеситель 4. Полученная паромасляная смесь попадает в горелку.



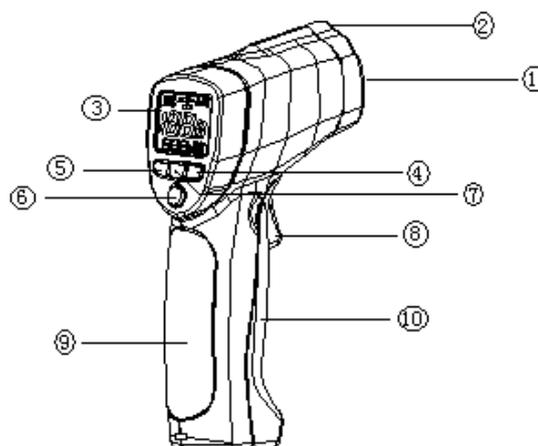
- 1 – Масляный насос; 2 – Нагнетатель воздуха; 3 – Горелка; 4 – Смеситель;
5 – Резервуар с водой; 6 – Частотный регулятор

Рисунок 19 – Принципиальная схема нагревательной системы

Глава 3 Методика проведения и обработка результатов испытаний

3.1 Проведение эксперимента на пиролизной установке

Оборудование: экспериментальная пиролизная установка (устройство установки представлено на рисунке 16), пирометр DT-8835 [10] устройство представлено на рисунке 20.



1 – Инфракрасный датчик, 2 – Лазерный указатель, 3 – ЖК-экран, 4 – Кнопка «Вниз», 5 – Кнопка «Вверх», 6 – Кнопка «Mode», 7 – Кнопка включения указателя/подсветки, 8 – Спусковой крючок, 9 – Рукоятка, 10 - Крышка батарейного отсека

Рисунок 20 – Устройство пирометра [10]

Дистанция и размер пятна измерения.

При увеличении расстояния до объекта измерения (D) диаметр пятна (S), на площади которого прибор измеряет температуру, становится больше. Зависимость диаметра пятна от расстояния до объекта для прибора показана на следующем рисунке. Фокусное расстояние прибора – 914мм (36"). В диаметре пятна сконцентрировано 90% измеренной прибором энергии. [10]

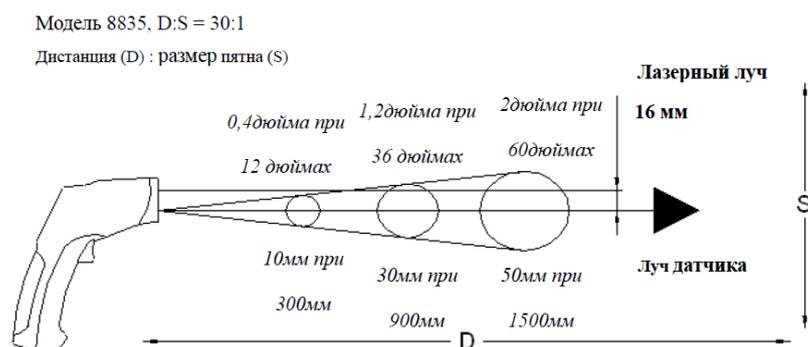


Рисунок 21 – Дистанция и размер пятна измерения [10]

Таблица 1 - Технические характеристики пирометра [10]

Измерение ТК	Температурный диапазон ТК	
	-50 до1370°C (-58 до2498°F)	
Единица измерения	-50 до1370°C	0,1°C
	-58 до1999,9°F	0,1°F
	2000 до2498°F	1°F
Точность	-50 до1000°C	±1,5% показания ±3°C(±5°F)
	1000 до1370°C	±1,5% показания ±2°C(±3,6°F)
Инфракрасное измерение		
Температурный диапазон IR		-50до 1050°C(-58до1922°F)
D:S		30:1
Единица измерения		0,1°C (0,1°F)
Точность	50до-20°C (-58до-4°F)	±5°C (±9°F)
	-20до 200°C (-4 до392°F)	±1,5% показания ±2°C(±3,6°F)
	200 до538°C (392 до1000°F)	±2,0% показания ±2°C(±3,6°F)

	538 до 1050°C (1000 до 1922°F)	±3,5% показания ±5°C(±9°F)
Быстродействие	Менее 1 секунды	
Спектральный диапазон	8-14 мкм	
Коэффициент теплового излучения	Цифровая регулировка: 0,10 – 1,0	
Индикация перегрузки	символы «-OL», «OL» на ЖК-экране	
Знак измерения	автоматически положительное значение знаком (+) не отмечается; знак минус (-) указывает на отрицательное значение	
Лазерный диод	мощность <1мВт, длина волны 630-670нм, лазерная установка, класс 2 (II)	
Температура эксплуатации	0 - 50°C (32 - 122°F)	
Температура хранения	-20 - 60°C (-4 - 140°F)	
Относительная влажность	10-90 % при эксплуатации, <80 % при хранении	
Источник питания	Элемент питания 9В, NEDA 1604А, IEC 6LR61 или аналогичный	
Вес	290г (10,2 унции)	
Размеры	100x56x230мм (3,9x2,2x9,0")	
Безопасность	«СЕ» соответствует ЭМС	

Точность: соответствует температуре 18 до 28°C (64 до 82°F), влажности менее 80% [10].

Зона обзора: Необходимо убедиться в том, что размер объекта измерения соответствует требуемому значению. Чем меньше объект, тем ближе следует поднести к нему прибор. Для повышения точности размер объекта измерения должен быть в два раза больше рекомендуемого значения (размера пятна) [10].

Место проведения: Лаборатория стендовых испытаний кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

Ход эксперимента:

- 10⁰⁰ Производился пуск установки и горелки;
- с 10³⁰ по 11⁴⁵ производился замер температуры входной трубы в теплообменник. Результаты сведены в таблицу 2;

Таблица 2 – Результаты замеров

Время	10 ³⁰	10 ³⁵	10 ⁴⁰	10 ⁴⁵	10 ⁵⁵	11 ⁰⁵	11 ¹⁰	11 ⁴⁵
Т°C	24	28	40	51	68	75	160	90

- на всём протяжении работы горелки её температура составляла 743 – 810°C (рисунок 22)



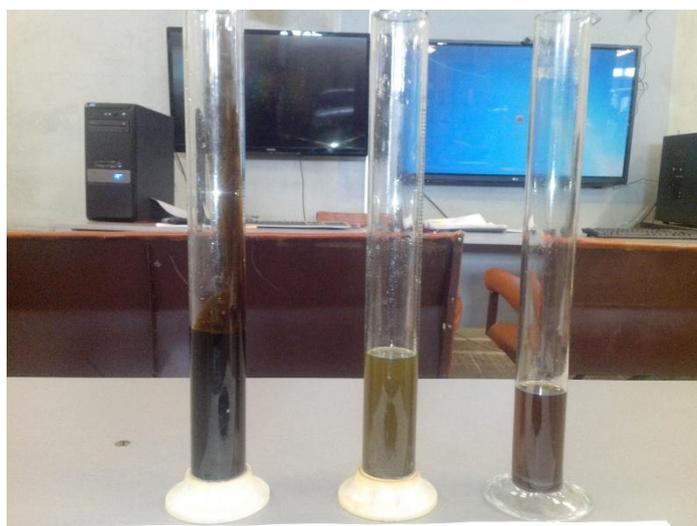
Рисунок 22 – Работа горелки

- с 1145 до 12³⁰ наблюдалось снижение температуры, было принято решения о завершении эксперимента;

- После окончания эксперимента были слиты 3 образца жидкости (рисунок 24) с 2 частей теплообменника и с выходной трубы реактора (рисунок 23), а также твёрдый углерод (рисунок 25)



Рисунок 23 – Места забора жидкости



а) б) в)

а – образец №3, б – образец №2, в – образец №1

Рисунок 24 – Образцы полученных жидкостей

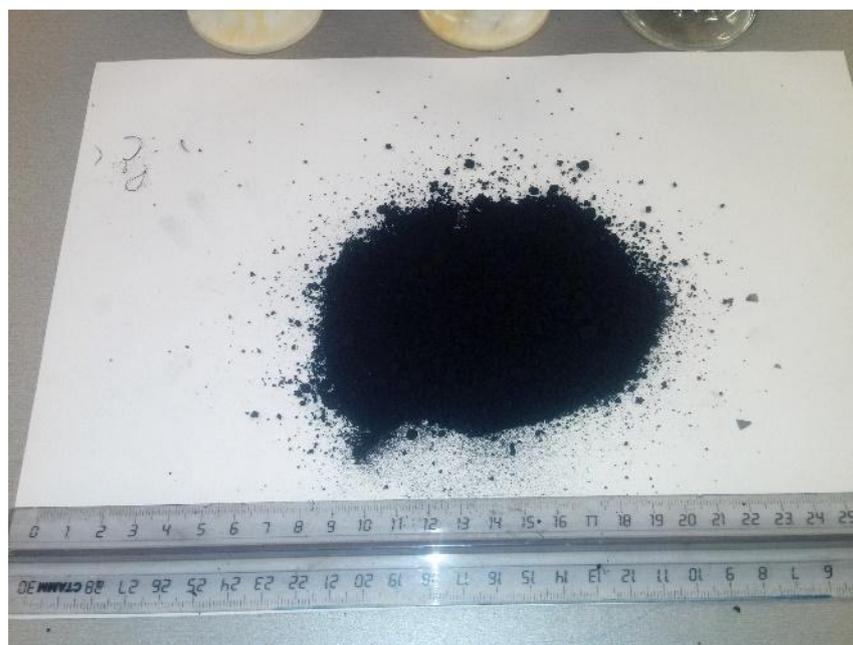


Рисунок 25 – Образец твердого углерода

Классифицирование и сравнение образцов.

- Образец №1 имеет тёмно-коричневый цвет, легко воспламеняется, прозрачный, обладает малой вязкостью;
- Образец №2 имеет бледно-зелёный цвет, а после нескольких недель окрасился в цвет как у образца №1, легко воспламеняется, прозрачный, обладает малой вязкостью;

- Образец №3 имел тёмный цвет, не воспламеняется, не прозрачный, обладает большой вязкостью;
- Образец твёрдого углерода состоит из маленьких частиц до 5 мм, визуальное сравнение с первым экспериментом представлено на рисунке 26.



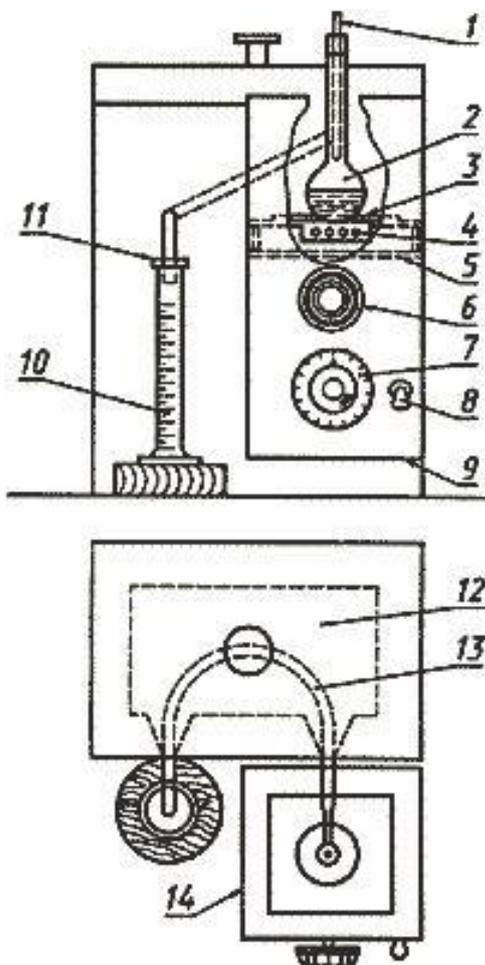
Рисунок 26 – Образцы первого и второго экспериментов

3.2 Определение фракционного состава жидкости

После проведенного сравнения образцов над образцом №1 проводилось определение фракционного состава по методу А по ГОСТ 2177-99 на ручном аппарате для перегонки нефтепродуктов АРНС-1Э (рисунок 29) находящейся при кафедре «Энергетические машины и системы управления».

3.2.1 Требования к аппаратуре, материалам и реактивам

Сущность метода заключается в перегонке 100 см^3 испытуемого образца при условиях, соответствующих природе продукта, и проведении постоянных наблюдений за показаниями термометра и объемами конденсата [8]. Используемый аппарат относится к типу 2 (рисунок 27).



1 - термометр; 2 - колба для перегонки; 3 - асбестовая прокладка;
4 - электрический нагревательный элемент; 5 - подставка; 6 - ручка для регулирования положения колбы; 7 - диск для регулирования нагрева; 8 - выключатель; 9 - открытое дно кожуха; 10 - мерный цилиндр; 11 - фильтровальная бумага; 12 - охлаждающая баня; 13 - трубка холодильника; 14 – кожух [8]

Рисунок 27 - Аппарат типа 2 (с применением электрического нагревателя) [8]

Трубка холодильника должна быть изготовлена из цельнотянутой латунной трубки. Длина трубки 560 мм, наружный диаметр 14 мм, толщина стенки от 0,8 мм до 0,9 мм [8].

Трубка холодильника должна быть установлена так, чтобы часть ее длиной приблизительно 390 мм была погружена в охлаждающую среду, верхний конец трубки выступал из охлаждающей бани на 50 мм, а нижний - на 114 мм. Верхний выступающий конец трубки должен находиться под углом 75° к вертикали. Часть трубки, находящейся внутри охлаждающей бани, может быть прямой или изогнутой [8].

Средний наклон должен составлять 0,26 мм на 1 мм трубки холодильника (эквивалентно углу в 15°), а участок погруженной части трубки холодильника должен иметь наклон не менее 0,24 мм и не более 0,28 мм на 1 мм трубки холодильника. Выступающая нижняя часть трубки холодильника длиной 76 мм должна быть изогнута вниз и слегка назад для обеспечения контакта конденсата со стенкой мерного цилиндра в точке, расположенной на расстоянии от 25 до 32 мм ниже верхней кромки мерного цилиндра. Нижний конец трубки холодильника обрезают под острым углом, чтобы он мог соприкоснуться со стенкой мерного цилиндра [8].

Вместимость охлаждающей бани должна быть рассчитана не менее чем на $5,5 \text{ дм}^3$ охлаждающего агента. Трубка холодильника должна быть расположена в охлаждающей бане так, чтобы ее осевая линия находилась на расстоянии не менее 32 мм ниже верхней части корпуса бани на входе и не менее 19 мм над дном бани в месте выхода [8].

Расстояние между трубкой холодильника и стенками бани должно быть не менее 13 мм, за исключением участков трубки, прилегающих к местам ее входа и выхода. Допускается использовать различные устройства, состоящие из нескольких трубок при условии, что они удовлетворяют требованиям, а вместимость охлаждающей бани должна быть не менее $5,5 \text{ дм}^3$ в расчете на каждую трубку [8].

Кожух типа 2 высотой 440 мм, длиной 200 мм, шириной 200 мм изготавливают из листового металла толщиной около 0,8 мм с окошечком на передней стороне [8].

Открытое дно кожуха должно быть на расстоянии 50 мм от основания, на котором установлен аппарат. На задней стороне кожуха должно быть овальное отверстие для паропроводной трубки. На передней стенке кожуха должна быть ручка для регулирования положения колбы. При использовании электрического нагревателя (рисунок 27) для обеспечения плавного нагрева применяется регулятор нагрева, обеспечивающий плавное регулирование напряжения [8].

Нагреватель и регулятор нагрева монтируют в нижней части кожуха. Часть кожуха, расположенная над прокладкой для колбы, должна быть такой же, как при использовании газовой горелки. Однако нижняя часть может отсутствовать, а нагреватель, регулятор напряжения и верхняя часть кожуха поддерживаются любым способом [8].

Допускается использовать электронагреватель (рисунок 27) взамен газовой горелки при условии, что он может обеспечивать проведение перегонки с заданной скоростью. Для этой цели подходят нагревательные устройства с малой тепловой мощностью от 0 до 1000 Вт [8].

В аппарате типа 2 с электрическим нагревателем (рисунок 27) верхняя часть электронагревателя состоит из керамической плитки или плитки из другого жаропрочного материала с центральным отверстием, соответствующим размерам, указанным в таблице. Толщина по ободу центрального отверстия составляет от 3 до 6 мм, диаметр отверстия 50 мм. Нагревательное устройство может перемещаться таким образом, чтобы теплообмен с колбой осуществлялся только через отверстие в прокладке колбы [8].

Цилиндр мерный с носиком и оплавленными краями вместимостью 100 см³ и ценой деления 1 см³. Форма основания цилиндра может быть любой, но она должна обеспечивать устойчивость пустого цилиндра, установленного на поверхности при угле наклона к горизонтальной линии 15°.

Конструкционные особенности и допуски для мерного цилиндра

показаны на рисунке 28. Допускается использовать приемник Крау при условии, что размеры по вертикали и длина шкалы соответствуют указанным на рисунке 26 [8].

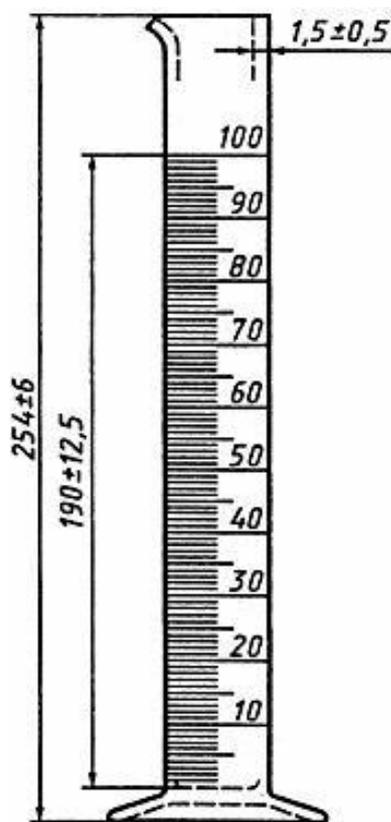


Рисунок 28 - Мерный цилиндр вместимостью 100 см³, с ценой деления 1 см³, допуск ±1,0 см³ [8]

3.2.2 Требования к проведению испытаний

Нагревают колбу для перегонки с ее содержимым. Регулируют нагрев так, чтобы период времени между началом нагрева и температурой начала кипения соответствовал указанному в таблице 1. После того, как отмечена температура начала кипения, цилиндр ставят так, чтобы кончик холодильника соприкасался с его внутренней стенкой, а конденсат стекал по стенке. Продолжают регулировать нагрев с таким расчетом, чтобы скорость перегонки от 5%-ного отгона до получения 95 см³ отгона в мерный цилиндр была постоянной для всех групп. Если перегонка не удовлетворяет требованиям, приведенным в таблице, то ее следует повторить [8].

От начала кипения до конца испытания записывают все необходимые данные для расчета. [8].

Эти данные включают показания термометра при указанном проценте отгона или процент отгона при заданном показании термометра, или то и другое. Объемы продукта в мерном цилиндре измеряют с погрешностью не более $0,5 \text{ см}^3$, а все показания термометра - с погрешностью не более $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ до $300 \text{ }^\circ\text{C}$ и не более $1 \text{ }^\circ\text{C}$ до $370 \text{ }^\circ\text{C}$ [8].

При наблюдаемом начале разложения продукта, если при перегонке температура поднимается до $370 \text{ }^\circ\text{C}$, прекращают нагревание. В остальных случаях руководствуются требованиями [8].

Регулируют нагрев так, чтобы время от образования 95 см^3 отгона до температуры конца кипения соответствовало требованиям, указанным в таблице. Если это условие не выполнено, то испытание повторяют, изменяя условия регулирования нагрева [8].

Отмечают температуру конца кипения (температуру вскипания) или температуру конца перегонки (температуру выпаривания). При необходимости записывают оба значения и прекращают нагревание. Если по достижении температуры конца кипения (температуры выкипания) не вся жидкость испарилась со дна колбы, объем этой жидкости принимают за остаток [8].

По мере поступления конденсата через конденсаторную трубку в цилиндр отмечают его объем с интервалом в 2 мин до тех пор, пока два последовательных измерения не дадут одинаковых результатов [8].

Тщательно измеряют этот объем, записывают его значение с точностью до $0,5 \text{ см}^3$ как процент отгона (выхода) [8].

После охлаждения колбы ее содержимое выливают в конденсат, собранный в цилиндре, и дают ему стечь до тех пор, пока не будет наблюдаться значительное увеличение объема жидкости в мерном цилиндре, записывают этот объем с точностью до $0,5 \text{ см}^3$ как восстановленный общий процент продукта [8].

Допускается измерять объем охлажденного остатка, содержащегося в колбе, сливая его в цилиндр вместимостью 10 см³, за общий восстановленный процент принимают сумму значений установленного объема и объема конденсата. Процент потерь равен разности 100 и общего восстановленного процента [8].



Рисунок 29 – Перегонка образцов



а)



б)

а – остаток от перегонки; б – полученная жидкость после перегонки

Рисунок 30 – Получившийся остаток и результат перегонки

3.2.3 Проведение испытания

Первая перегонка жидкости осуществлялась 14.09.2015 до температуры 352°C, начальная температура кипения составила 140°C, полученный цвет тёмный. График результатов представлен на рисунке 31.

Вторая перегонка жидкости осуществлялась 12.05.2016 до температуры 286°C, начальная температура кипения составила 62°C, полученный цвет темно-коричневый. График результатов представлен на рисунке 32.

Третья перегонка жидкости осуществлялась 13.05.2016 до температуры 216°C и поддерживалась до испарения 80% образца, начальная температура кипения составила 65°C, полученный цвет бледно желтый.

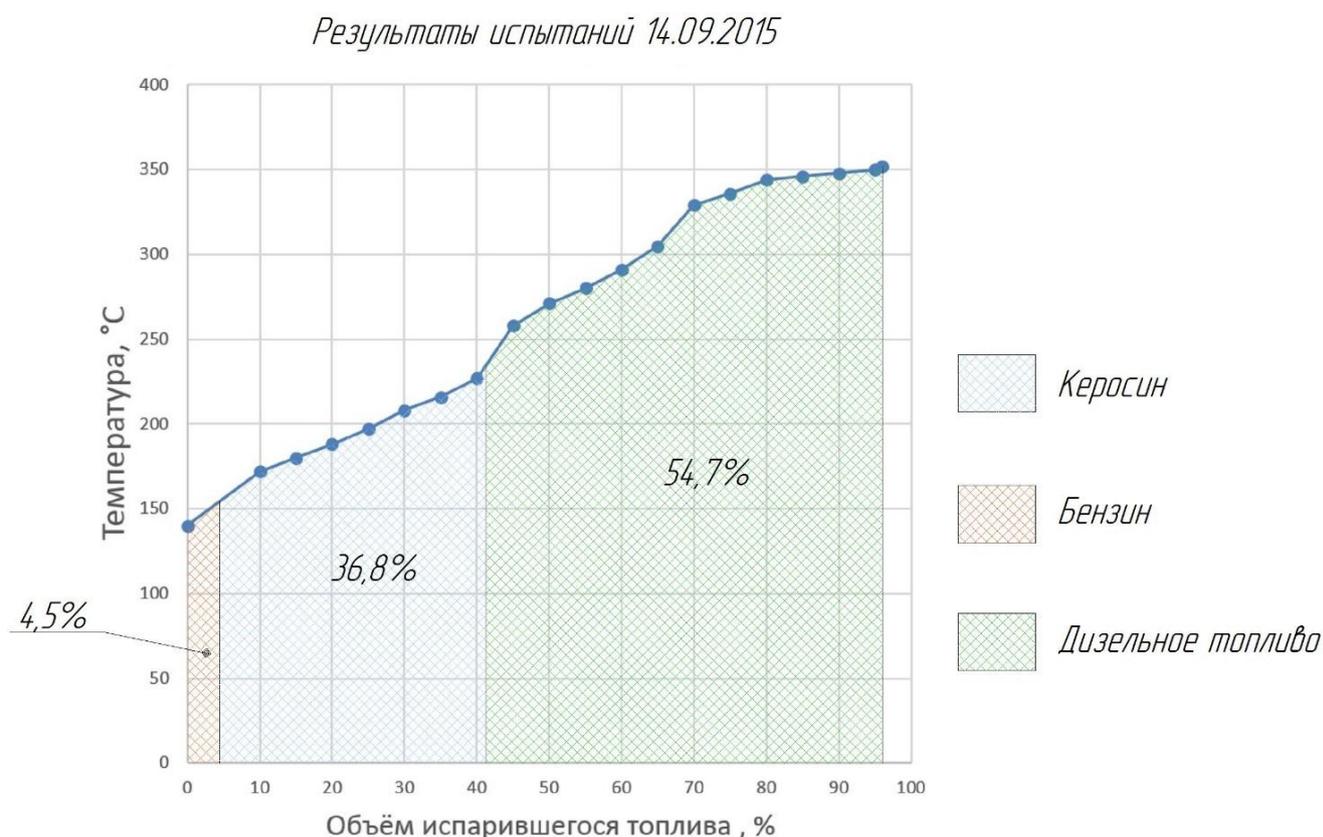


Рисунок 31 – График результатов от испытания 14.09.2015

Результаты испытаний 12.05.2016

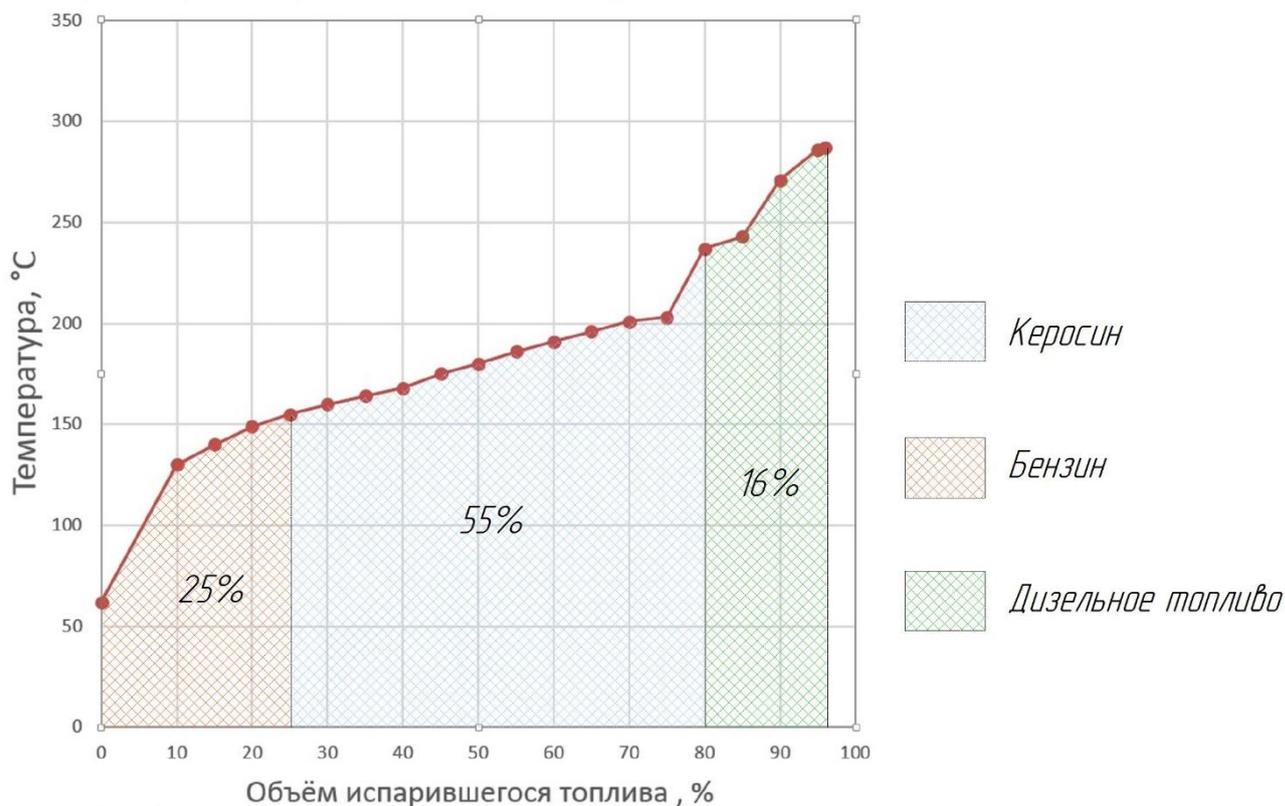


Рисунок 32 - График результатов испытания 12.05.2016

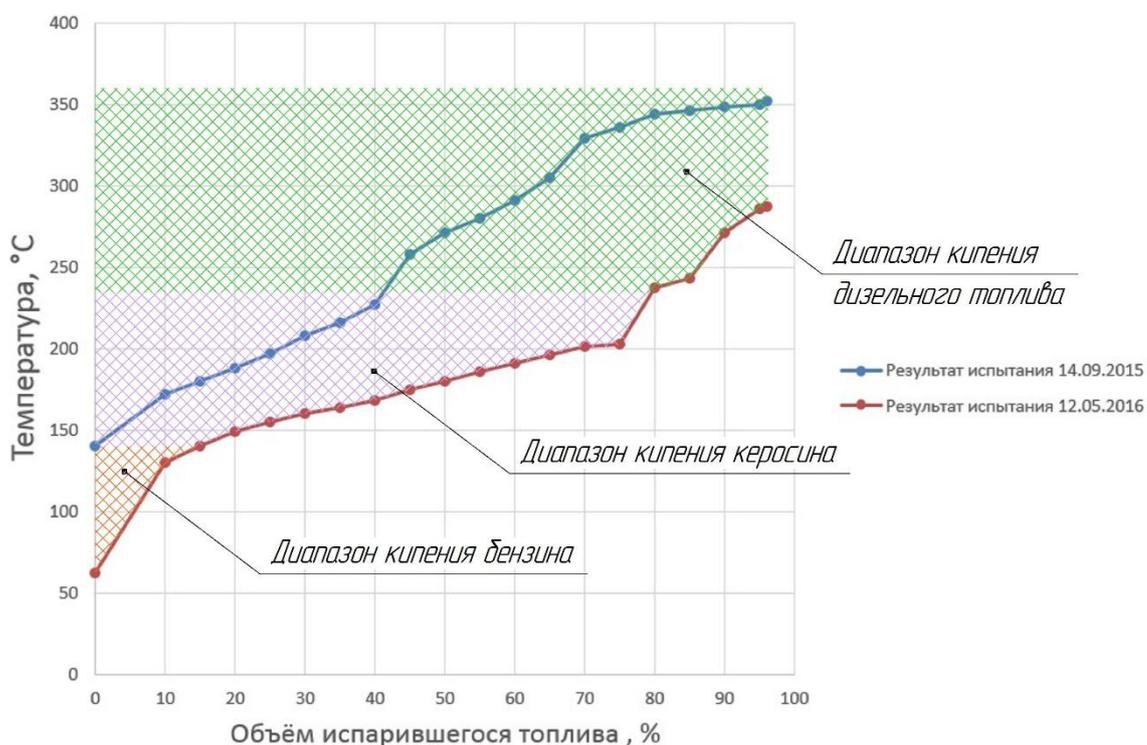


Рисунок 33 – Сводный график двух результатов определения фракционного состава жидкостей

3.3 Определение октанового числа жидкости

После определения фракционного состава, образец с перегонки было решено испытать на установке УИТ-85 находящейся при кафедре «Энергетические машины и системы управления».

3.3.1 Аппаратура для измерения октанового числа и последовательность проведения испытания

Универсальной аппаратурой для определения октановых чисел топлив по моторному и исследовательскому методам служит испытательная одноцилиндровая установка модели УИТ-85 [9,27], показанная на рисунке 34.



Рисунок 34 - Одноцилиндровая установка модели УИТ-85

Установка состоит из стационарного одноцилиндрового поршневого двигателя внутреннего сгорания с переменной степенью сжатия, двухскоростного асинхронного электродвигателя с переключателем скоростей, пульта управления с контрольно-измерительными приборами и

вспомогательным оборудованием, смонтированными на общей фундаментной плите [9,27].

Для измерения интенсивности детонации при определении октановых чисел топлив на установке УИТ-85 используется электронный детонометр с магнитострикционным датчиком и указателем детонации [9,27].

Детонометр предназначен для замера скорости изменения давления в цилиндре двигателя при детонационном сгорании топлива [9,27].

Магнитострикционный датчик ввертывается в камеру сгорания двигателя и своей мембраной воспринимает изменение давления, возникающее при сгорании топлива. Мембрана датчика воспринимает не общее повышение давления, а только импульс удара детонационной волны [9,27].

Колебания мембраны передаются магнитострикционному стержню датчика, вызывая изменение его сопротивления постоянному магнитному потоку. В результате в обмотке стержня возникает напряжение, пропорциональное скорости нарастания давления, которое поступает на вход детонометра. Импульсный сигнал с датчика поступает на фильтр низких частот детонометра с полосой пропускания от 0 до 2,8 кГц. Высокочастотные составляющие сигнала, возникающие от вибрации стенок цилиндра, стука клапанов и колебаний стержня датчика, в фильтре отфильтровываются [9,27].

Для измерения интенсивности детонации при определении октановых чисел топлив на установке УИТ-85М используется электронный детонометр с датчиком магнитострикционным и указателем детонации [9,27].

Детонометр предназначен для замера скорости изменения давления в цилиндре двигателя при детонационном сгорании топлива [9,27].

Магнитострикционный датчик ввертывается в камеру сгорания двигателя и своей мембраной воспринимает изменение давления, возникающее при сгорании топлива. Мембрана датчика воспринимает не общее повышение давления, а только импульс удара детонационной волны [9,27].

Колебания мембраны передаются магнитострикционному стержню датчика, вызывая изменение его сопротивления постоянному магнитному

потоку. В результате в обмотке стержня возникает напряжение, пропорциональное скорости нарастания давления, которое поступает на вход детонатора. Импульсный сигнал с датчика поступает на фильтр низких частот детонатора с полосой пропускания от 0 до 2,8 кГц. Высокочастотные составляющие сигнала, возникающие от вибрации стенок цилиндра, стука клапанов и колебаний стержня датчика, в фильтре отфильтровываются [9,27].

Таблица 3 - Стандартные условия работы двигателя установки [9,27]

1. Двигатель	одноцилиндровый, бензиновый, четырехтактный
2. Диаметр цилиндра	85 мм
3. Ход поршня	115 мм
4. Рабочий объем цилиндра	0,652 л
5. Степень сжатия	Переменная от 4 до 10
6. Число оборотов двигателя:	
а) моторный метод	900±9 об/мин
б) исследовательский метод	600±6 об/мин
7. Направленно вращения коленчатого вала со стороны маховика	левое (против часовой стрелки)
8. Зажигание	искровое
9. Смазка	принудительная под давлением
10. Сорт масла	МС-20 ГОСТ 21743-76
11. Охлаждение	жидкостное, термосифонноиспарительного типа
12. Охлаждающая жидкость	дистиллированная вода (при барометрическом давлении ниже 724 мм рт.ст. с добавлением этиленгликоля)
13. Температура охлаждающей жидкости	100±2°C
14. Питание топливом	от карбюратора с четырьмя поплавковыми камерами и бачками
15. Питание воздухом	из атмосферы через систему охлаждения СОТ-1, что обеспечивает постоянную влажность всасываемого воздуха
16. Температура воздуха (исследовательский метод)	52°C±1°C поддерживается автоматически
17. Температура топливоздушнoй смеси (моторный метод)	149°C±1°C поддерживается автоматически
18. Запуск и поддержание постоянных оборотов двигателя	асинхронным двухскоростным электродвигателем АИРМ 132М6/4 мощностью 6,7/7,5 кВт при скорости вращения 960/1440 об/мин.
19. Фазы газораспределения при зазоре между штоками и коромыслами клапанов 0.25 мм на холодном двигателе:	
а) клапан впуска	открытие 10° ± 2° после ВМТ, закрытие 34° ± 2° после ВМТ
б) клапан выпуска	открытие 40° ± 2° до ВМТ, закрытие 15° ± 2° после ВМТ
в) перекрытие клапанов	5° ± 2°
Способ измерения интенсивности детонации	Электронный детонатором с указателем детонации
21. Габаритные размеры:	
а) высота от фундамента	1700 мм
б) длина (без колонки на всасывании)	1300 мм
в) ширина (без ресивера на выпуске)	1000 мм
22. Масса установки	1000 кг
23. Потребляемая мощность при 380 В	11 кВт

3.3.2 Требования к порядку проведения испытания

Запуск двигателя. Проверяют зазоры в клапанах, в прерывателе и свече зажигания. Проверяют наличие охлаждающей жидкости в системе охлаждения. Подогревают масло в картере до 50-60 °С и включают для прогрева детонометр [9,27].

Открывают доступ проточной воды в змеевик конденсатора и выхлопной ресивер. Наливают в бачок карбюратора топливо и устанавливают степень сжатия, обеспечивающую отсутствие детонации. Включают электромотор, зажигание, подогреватели воздуха и топливовоздушной смеси и подачу топлива из бачка карбюратора. После прогрева двигателя в течение 20-25 мин переводят его работу на испытуемое топливо и устанавливают стандартный режим испытания [9,27].

Регулировка состава топливовоздушной смеси на максимальную интенсивность детонации.

При установившемся стандартном режиме и работе на испытуемом топливе устанавливают степень сжатия так, чтобы интенсивность детонации была несколько ниже стандартной величины (40-45 делений по указателю детонации). Записывают это значение и уровень топлива по мерному стеклу и приступают к регулировке состава топливовоздушной смеси на максимальную интенсивность детонации [9,27].

Повышают уровень топлива через интервалы в одно деление по мерному стеклу и для каждого нового уровня топлива записывают показания указателя детонации. Обогащение смеси продолжают до тех пор, пока показания указателя детонации не уменьшатся на 3-4 деления по сравнению с наибольшим значением [9,27].

Устанавливают уровень топлива в положение, соответствующее наибольшему показанию указателя детонации, и снижают уровень топлива через интервал в одно деление, записывая полученные при этом показания указателя детонации [9,27].

Обеднение смеси продолжают до тех пор, пока показания указателя детонации не уменьшатся на 3-4 деления [9,27].

Устанавливают уровень топлива на деление, при котором наблюдалась наибольшая интенсивность детонации, или между делениями, при которых наблюдалась наибольшая детонация одинаковой интенсивности, и изменяют его на одно деление в каждую сторону. Если показания указателя детонации при этом увеличиваются, то уровень топлива на максимальную интенсивность детонации определен неправильно и всю регулировку следует повторить. При проведении регулировки необходимо следить, чтобы отсчеты по указателю детонации для каждого уровня регистрировались после того, как стрелка прибора придет в состояние равновесия [9,27].

Регулировка степени сжатия для получения стандартной интенсивности детонации на испытуемом топливе [9,27].

Установив уровень испытуемого топлива на максимальную интенсивность детонации, изменением степени сжатия доводят показания указателя детонации до 55 делений. Полученная при этом степень сжатия остается неизменной в течение всего последующего испытания этого топлива [9,27].

После регулировки степени сжатия на стандартную интенсивность детонации выключают зажигание. Если двигатель мгновенно прекратит работу, установка пригодна для проведения испытания топлива. Если мгновенного прекращения работы не происходит, то состояние двигателя неудовлетворительно и следует проверить, и удалить отложения на свече зажигания и в камере сгорания [9,27].

Сравнение испытуемого топлива со смесями эталонных топлив.

Смеси эталонных топлив выбирают таким образом, чтобы показание указателя детонации для испытуемого топлива находилось между показаниями двух смесей эталонных топлив, отличающихся не более чем на две единицы [9,27].

Во второй бачок карбюратора заливают смесь эталонных топлив с октановым числом, близким к предполагаемому октановому числу испытуемого топлива. Переключают кран карбюратора на второй бачок и регулируют состав топливовоздушной смеси на максимальную интенсивность детонации. Когда стрелка указателя детонации достигнет равновесия, фиксируют показания указателя детонации и определяют, детонирует выбранная смесь эталонных топлив сильнее или слабее, чем испытуемое топливо [9,27].

В соответствии с полученными результатами в третий бачок карбюратора заливают смесь эталонных топлив с большим или меньшим октановым числом. Переключают кран карбюратора на третий бачок, регулируют состав топливовоздушной смеси на максимальную интенсивность детонации и, когда стрелка достигнет равновесия, фиксируют показания указателя детонации [9,27].

Если показание указателя детонации на испытуемом топливе не находится между показаниями этих эталонных смесей или не равно показанию одной из них, первую эталонную смесь сливают из карбюратора, а вместо нее заливают третью эталонную смесь, отличающуюся от второй эталонной смеси не более чем на 2 октановые единицы [9,27].

Если показание указателя детонации на образце находится между показаниями эталонных смесей, рассчитывают приблизительную величину октанового числа образца по полученным показаниям указателя детонации [9,27].

Пользуясь тремя бачками карбюратора, отрегулированными на максимальную интенсивность детонации, регистрируют повторно аналогичную серию показаний. Последовательность снятия показаний на смесях эталонных топлив должна быть обратной последовательности в первой серии, что позволяет выявить влияние остатков образца во всасывающей системе двигателя, которые могут исказить истинные показания интенсивности детонации на эталонных топливах [9,27].

При переключении двигателя с одного топлива на другое необходимо выждать не менее 1 мин, чтобы обеспечить установившийся режим работы двигателя в равновесное состояние стрелки указателя детонации [9,27].

При переключении двигателя с этилированного бензина на неэтилированную эталонную смесь и обратно это время увеличивается до 3-5 мин [9,27].

Для получения достоверных результатов испытания количество показаний указателя детонации должно быть не менее указанных:

- два показания указателя детонации на испытуемом топливе и два на каждом эталонном топливе - если разность оценок, вычисленных из первой и второй серии показаний, не превышает 0,3 октановой единицы и среднее показание указателя детонации испытуемого топлива находится в пределах (55 ± 3) деления [9,27];

- три показания указателя детонации на испытуемом топливе и три на каждом эталонном топливе - если разность оценок, вычисленных из первой и второй серии показаний, не превышает 0,5 октановой единицы, а оценка, полученная из третьей серии показаний, находится между оценками первой и второй серии и среднее арифметическое значение показаний образца в пределах (55 ± 3) делений [9,27].

Если разность оценок по двум сериям превышает 0,5 октановой единицы или оценка, полученная в третьей серии, не находится между оценками первых двух серий, то все показания бракуют и повторяют [9,27].

Если требования выполнены, следует убедиться в том, что показание индикатора степени сжатия находится в пределах $\pm 0,5$ мм для октановых чисел ниже 85 или в пределах $\pm 0,6$ мм для октановых чисел выше 85 от значений, соответствующих стандартной интенсивности детонации по табл.4-6 с учетом поправки на барометрическое давление для октанового числа эталонного топлива, эквивалентного по детонационной стойкости испытуемому топливу [9,27].

Если показания индикатора степени сжатия не соответствуют указанной величине, проверяют регулировку детонометра, и повторяют испытание топлива [9,27].

Остановка двигателя.

Выключают детонометр, подачу топлива, зажигание и подогреватели топливовоздушной смеси и воздуха; дают двигателю поработать вхолостую 1-2 мин и выключают электромотор [9,27].

Проворачивают маховик до положения верхней мертвой точки в такте сжатия, отключают подачу воды [9,27].

Результаты замера.

Замер октанового числа на установке УИТ-85 моторным методом показал значение $73,2 \pm 2$.

Глава 4 Использование пиролизной жидкости

4.1 Пиролизная жидкость

Жидкие продукты пиролиза представляет собой высокоокисленные углеводороды со значительным содержанием воды, как исходной, так и образовавшейся в результате реакции. Может присутствовать также твердое углистое вещество. Пиротопливо имеет гораздо более высокую энергетическую плотность по сравнению с исходным сырьем, которая сравнима с энергетической плотностью, например, дизельного топлива. Однако его элементарный состав и вязкость существенно отличаются от традиционных жидких топлив, а теплота сгорания практически вдвое ниже (таблицы 4,5) [36].

Таблица 4 – Сравнение энергетических характеристик различных топлив [36]

Сырье	Объемная плотность, кг/м ³	Теплота сгорания МДж/кг (сух. Масс.)	Энергетическая плотность, ГДж/м ³
Солома	100	20	2
Древесная щепа	400	20	8
Углистое вещество	300	30	9
Пиротопливо	1200	23	28
Этанол	800	28	22
Дизельное топливо	800	45	36

Таблица 5 – Сравнение характеристик пиротоплива и традиционных жидких топлив [36]

Параметры	Пиротопливо	Дизельное топливо	Мазут
Плотность (при 15°C), кг/м ³	1220	850	960
Кинематическая вязкость (при 50°C), сантистокс	13	2,5	351
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	17,5	42,9	40,7
Содержание золы, % (масс.)	0,13	<0,01	0,03
Содержание воды, % (масс.)	20,5	0,1	0,1
Элементарный состав, %			
углерод	48,5	86,3	86,1
водород	6,4	12,8	11,8
кислород	42,5	0,9	0
сера	0	0,15...0,30	2,1

Качество пиротоплива полученного пиролизом, может быть недостаточным для его использования в коммерческих целях. Поэтому применяются различные технологии повышения качества, которые можно разделить на физические и химические. Физические методы заключаются в фильтрации жидкости/паров для удаления углистого вещества, формировании эмульсий с углеводородами и добавлении растворителей. К химическим методам относят реакцию со спиртами, каталитическое дезоксигенирование (удаление кислорода), гидрогенизацию и каталитический (цеолитовый) крекинг в паровой фазе [36].

Использование древесной пиролизной жидкости.

Продукты переработки пиролизной жидкости уже применяется в различных отраслях промышленности: как возобновляемое топливо, в производстве ванилина, при получении коптильных жидкостей, в производстве стекольных замазок и в некоторых отраслях строительства. Одним из направлений применения жидких продуктов быстрого пиролиза древесины является модификация фенолоформальдегидных смол. Использование отходов деревообрабатывающих производств в виде пиролизной жидкости расширяет сырьевую базу производства фенолформальдегидных смол [35].

Использование пиролизной жидкости в качестве альтернативы фенола в производстве фенолоформальдегидных смол является одним из перспективных направлений [35].

Модифицированная пиролизной жидкостью фенолоформальдегидная смола имеет приемлемые качественные характеристики при значительном снижении стоимости и токсичности. Учитывая, что пиролизная жидкость может быть получена из древесных отходов и низко качественной древесины, данная технология может быть востребована на ряде предприятий деревообрабатывающей и лесной отрасли при производстве композиционных материалов. Замещение фенола при синтезе ФФС пиролизной жидкостью снижает стоимость полученной смолы на 29,6 % [35].

Смола древесная омыленная (СДО) является лесохимическим продуктом, получаемым из древесной смолы. СДО применяется в качестве воздухововлекающей и пластифицирующей добавки в бетон с целью уменьшения расхода цемента. Пиролизная жидкость, как и древесная смола, используемая для производства СДО, содержит значительное количество жирных и смоляных кислот, определяющих свойства СДО. Учитывая данное обстоятельство, было проведено исследование процесса переработки пиролизной жидкости в смолу древесную омыленную [35].

Использование пиролизной жидкости из биомассы.

На сегодняшний день имеется опыт использования пиротоплива в котлах, дизельных и газотурбинных двигателях. Начаты исследования по сжиганию пиролизных масел в двигателе Стирлинга. Области применения пиротоплива различны в разных странах. Например, в Швеции и Финляндии перспективным считается использование пиротоплива как заменителя котельного топлива, а в Дании, Италии, Финляндии и Великобритании – совместное производство теплоты и электроэнергии на дизельных электростанциях [36].

Для оценки возможности использования пиролизных масел в качестве топлива наиболее важными являются следующие показатели: теп; лота сгорания, содержание твердых частиц, со; держание воды, вязкость, стабильность, гомогенность, температура воспламенения. Качество пиротоплива, полученного быстрым пиролизом из биомассы, может быть недостаточным для его использования в коммерческих целях (в первую очередь, в двигателях). Поэтому применяются различные технологии повышения качества, которые можно разделить на физические и химические. Физические методы заключаются в фильтрации жидкости/паров для удаления углистого вещества, формировании эмульсий с углеводородами и добавлении растворителей. К химическим методам относят реакцию со спиртами, каталитическое дезоксигенирование (удаление кислорода), гидрогенизацию и каталитический (цеолитовый) крекинг в паровой фазе [36].

4.2 Использование пиротоплива в котлах

Вопросом применения пиротоплива в котлах занимается ряд организаций в Европе, США и Канаде. Несмотря на ряд очевидных трудностей по сравнению со сжиганием традиционного топлива (низкая теплота сгорания, большое содержание воды, кислотность), использование пиротоплива как заменителя легкого котельного топлива считается одним из наиболее перспективных способов его утилизации. Во многом это связано с высокой стоимостью нефтепродуктов и постоянной тенденцией к ее увеличению. Работы в этой области ведутся в двух направлениях. С одной стороны, системы сжигания адаптируются к пиролизным маслам (установка специальных горелок на существующих котлах), что позволяет избежать дорогостоящей процедуры повышения качества топлива. С другой стороны, совершенствуют саму технологию быстрого пиролиза с целью получения более качественного жидкого продукта [36].

В 2003-2005 гг. ряд организаций под руководством VTT (Финляндия) в рамках проекта COM; BIO, финансируемого Европейской Комиссией, выполнили широкомасштабное исследование по сжиганию пиротоплива в котлах мощностью 0,05...10 МВт. Пиротопливо производилось на пилотной установке производительностью 500 кг древесины/ч, работающей по технологии Forestera™. Критериями качества считалось содержание твердых частиц на уровне < 0,05% масс. и воды - 23...25% масс. Для улучшения качества пиротоплива использовалось приготовление эмульсий (10% пиролизной жидкости + 90% легкого котельного топлива) и горячая фильтрация в паровой фазе. Тесты по сжиганию пиротоплива проводились на котле компании Fortum Oy мощностью до 1 МВт и на тепловой станции Arsta с котлом 9 МВт (Стокгольм). На бытовом котле 50 кВт, спроектированном и построенном компанией CSGI (Италия), исследовалось сжигание пиротоплива и эмульсий [36].

Результаты экспериментов, выполненных на котле CSGI 50 кВт показали, что для избежания коррозии при перекачке пиротоплива требуется насос из нержавеющей стали. Поскольку такой вариант является очень дорогостоящим, была разработана специальная технология “Niploy process” для нанесения никелевого покрытия толщиной 50 микрон на элементы обычного насоса. Такое покрытие делает поверхность стойкой к коррозии, истиранию, тепловому удару (от +200 °С до –192 °С) и снижает коэффициент трения [36].

Крупномасштабные испытания по совместному сжиганию пиротоплива и угля были проведены на тепловой электростанции Manitowac (Wisconsin, США). Пиротопливо, полученное по RTP-технологии быстрого пиролиза, использовалось для коммерческого производства электроэнергии. За месяц было наработано 370 часов совместного сжигания топлив и обеспечено 5% подвода теплоты для котла 20 МВт. Не было зафиксировано никакого негативного влияния на работу котла по сравнению с его функционированием в обычном режиме (на угле) [36].

В настоящее время единственной коммерческой установкой, регулярно использующей пиротопливо для выработки тепловой энергии, является котел компании Red Arrow Products (Wisconsin, США). Котел мощностью 5 МВт с вихревой горелкой расположен на пиролизной станции, работающей по RTP-технологии быстрого пиролиза. Он использует в качестве топлива не только нерастворимую в воде фракцию пиролизных масел (пиролитический лигнин), но и углистое вещество и пиролизный газ. Пиротопливо подается в зону горения через форсунку из нержавеющей стали и распыляется для перемешивания с воздухом углистое вещество и пиролизный газ подаются по другим топливным системам. Пиролизная станция и котел успешно работают уже более десяти лет (с 1993 г.). Выполненные в 1994 г. замеры по эмиссии из котла показали, что эмиссия CO составляет 17%, NO_x –1,2%, формальдегида – 0,2% от допустимого уровня [36].

4.3 Использование пиротоплива в дизельных двигателях

Утилизация пиротоплива в дизельных двигателях с целью выработки электроэнергии является достаточно перспективным направлением, но еще далеким от широкого коммерческого применения. Для возможности использования в двигателе к качеству пиротоплива предъявляются более жесткие требования, чем для сжигания в котле. Основные проблемы связаны с высоким SO_x ; содержанием золы в пиротопливе, высокой вязкостью и низким pH. Наиболее активно проблемой использования пиротоплива в дизельных двигателях занимаются Ormrod Diesel (Великобритания) и Wartsila Diesel Oy (Финляндия) (таблица 4) [36].

Таблица 6 – Организации, занимающиеся испытанием двигателей на пиротопливе [36]

Название	Вид двигателя	Мощность, кВт
Orenda Acrospace Corporation, Канада	Газотурбинный двигатель	2500
Wartsila Diesel, Финляндия	Дизельный двигатель	1500
Ormrod Diesel, Великобритания	Дизельный двигатель	250
VTT Energy, Финляндия	Дизельный двигатель	84 и 4,8
Университет Rostock, Германия	Газотурбинный двигатель	75

Еще первые испытания по сжиганию пиротоплива в одном цилиндре двигателя V32, выполненные Wartsila Diesel Oy в 1993 г. показали, что КПД работы двигателя составляет 44,9% (по $Q_{нр}$), а эмиссия NO_x и CO ниже, чем при работе на традиционном топливе, хотя общая эмиссия углеводородов немного выше. Wartsila Diesel Oy создала дизельную электростанцию мощностью 1,5 МВтэ для работы на пиротопливе, испытания и доработка которой проходили в VTT. Результаты позволили сделать вывод, что при наращивании мощности двигателя не предвидится существенных проблем, вплоть до 15 МВтэ. [36].

Компания Ormrod Diesel выполнила успешные тестовые испытания по сжиганию пиротоплива в модифицированном двухтактном дизельном двигателе мощностью 250 кВт. Три цилиндра из шести были адаптированы под сжигание пиролизных масел с использованием до 5% дизтоплива в качестве пилотного (подсветки) для инициации процесса горения (три других цилиндра на период экспериментов были закрыты). В двигателе использовалось пиротопливо без какой-либо предварительной обработки, всего было наработано более 400 часов.

Замеры эмиссии показали, что кроме выбросов CO все остальные показатели ниже таковых при работе двигателя на дизтопливе [36].

Исследования, проведенные VTT Energy (Финляндия) на двигателях мощностью 4,8 кВт и 84 кВт показали, что они могут эффективно работать на пиролизных маслах, но для зажигания необходимо обязательно применять пилотное топливо. При этом эмиссия CO, NO_x и углеводородов находится примерно на том же уровне, что и при работе на обычном дизтопливе. Другими организациями, которые имеют опыт использования пиротоплива в дизельных двигателях, являются CNR Institut Motori (Италия), университет Kansas (США), MIT (США), BTG (Нидерланды) [36].

Применение эмульсий с дизельным топливом в небольших двигателях изучают Pasquali Macchine Agricole (Италия) и университет Kassel (Германия). Обобщение опыта этих организаций, накопленного к настоящему времени, показывает, что устойчивая и длительная работа дизельного двигателя на пиролизных маслах возможна только при условии выполнения довольно

существенных модификаций элементов двигателя и применения коррозионностойких материалов [36].

4.4 Использование пиротоплива в газотурбинных двигателях

Первые эксперименты по использованию пиролизной жидкости в газовых турбинах были выполнены Teledyne CAE (США) в начале 1980-х годов. Пиротопливо, полученное медленным пиролизом из лесных и сельскохозяйственных отходов, сжигалось на экспериментальном стенде с газовой турбиной J69-T-29. Используемое жидкое топливо по своим свойствам было близко к пиротопливу, получаемому быстрым пиролизом, но имело большее содержание углерода и более высокую вязкость. Результаты экспериментов показали, что эмиссия СО выше, чем при сжигании традиционных легких топлив, а эмиссия СН и NO_x на том же уровне. Проблемой было зашлаковывание выхлопной секции двигателя золой, содержащейся в пиротопливе [36].

Пиротопливо для двигателя производится по RTP-технологии компании Ensyn. Перед подачей в камеру сгорания газотурбинного двигателя пиротопливо проходит через систему подготовки и предварительного подогрева. Горение пиротоплива происходит в двух выносных камерах сгорания цилиндрического типа, имеющих воспламенители. В состав двигателя входит также компрессор, состоящий из девяти осевых ступеней и одной центробежной (степень сжатия 12:1) и трехступенчатая осевая турбина. Частота вращения ротора – 14 тыс. об/мин. На валу двигателя установлен планетарный редуктор, соединенный с электрогенератором. Расход топлива составляет 15 кг/с, КПД – 28,5%. Газотурбинный двигатель соответствует стандарту качества ISO 2314 [36].

В 2003 г. Orenda Aerospace Corporation провела длительные тесты по сжиганию в турбине трех видов пиротоплива от различных крупных производителей. Было использовано более 13 тыс. л в газотурбинном двигателе и 8 тыс. л на испытательном стенде. Результаты экспериментов продемонстрировали техническую возможность использования пиролизных масел в качестве топлива для газовых турбин. Было установлено, что эмиссия NO_x составляет около половины от уровня эмиссии при сжигании дизельного топлива, а выбросы SO₂ практически отсутствуют. Эмиссия СО и твердых

частиц чуть выше по сравнению с дизельным топливом. Были разработаны требования к качеству пиротоплива, согласно которым определяется его пригодность для применения в турбине.

4.5 Использование пиротоплива в двигателях Стирлинга

В последнее время стал изучаться вопрос о возможности использования пиротоплива в двигателе Стирлинга. Организация ZSW (Германия) провела эксперименты по сжиганию пиролизных масел на когенерационной установке с двигателем Стирлинга мощностью 25 кВт. Установка оборудована модифицированной горелкой FLOX (беспламенное окисление), которая включает воздушную форсунку. Эксперименты продемонстрировали техническую возможность сжигания пиротоплива в двигателе, при этом эмиссия загрязняющих веществ не превышала установленные в Германии нормы. Однако тепловой и электрический КПД установки был невысоким (в сумме 50...60%). Возможно, это было связано с геометрией камеры сгорания и отсутствием предварительного подогрева воздуха перед распылением [36].

Для полученной пиролизной жидкости на установке (рисунок 14) предложены следующие варианты реализации:

- по результатам определения октанового числа было замечено, что данная жидкость воспламенялась на моторном методе, в то время как на исследовательском методе воспламенения не происходило, из-за недостаточной температуры в системе. Следовательно, в ДВС должно быть установлено устройство для предварительного подогрева топливной смеси;

- на сегодняшний день в дизельгенераторах повсеместно используют остаточные (тяжелые) топлива которые представляют собой моторное топливо для среднеоборотных дизелей (марки ДТ и ДМ) и мазуты (марки Ф-5 и Ф-12). Остаточные (тяжелые) топлива используются в дизелях, оборудованных

системами топливоподготовки (сепарации и подогрева), а также специальной топливной аппаратурой (ТНВД и форсунками). Данный вид топлива серьезно влияет на экологию из-за своего состава. Полученная пиролизная жидкость позволяет уменьшить экологическую нагрузку, так как в своём составе имеет соединения бензиновых и керосиновых компонент (рисунок 30).

- определение октанового числа пиролизной жидкости показало значение 73,2. В настоящее время на рынке присадок имеется большое множество наименований способных повысить октановое число (ОЧ) вплоть до 20 ед., антидетонатор Synergent Octano повышает ОЧ в среднем на 25 ед. (4 % на прямогонных бензинах с ОЧ 62 м.м.) [67]. Используя сочетание полученной пиролизной жидкости после её вторичной прогонки и добавления приведённой выше присадки можно добиться $OЧ = 92$ единиц, что подходит для большинства ДВС;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Спроектированы и изготовлены экспериментальные образцы пиролизной установки и горелок на отработанном масле;
2. Проведены испытания установки, в ходе которых было переработано 15 кг отходов с линии производства резиновой крошки ООО «Поволжские вторичные ресурсы» (ООО «ПОВТОР») и получены следующие результаты: пиролизная жидкость 3,3л., твердый углерод 5613 г., остаток в виде не переработанной массы 4696 г;
3. Определен фракционный состав полученных жидкостей (Приложение А,Б,В);
4. Определено октановое число жидкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Отчет ОАО «СИБУР — Русские шины» об утилизации шин в 2011 году [Электронный ресурс]. URL: [http://www.sibrustyre.ru/files/editors/Doc/Российский рынок автомобильных шин в 2011 году.pdf](http://www.sibrustyre.ru/files/editors/Doc/Российский_рынок_автомобильных_шин_в_2011_году.pdf) (Дата обращения: 01.09.2014);

2 Производство резиновой крошки Тольятти, утилизация покрышек Тольятти, переработка шин [Электронный ресурс]. URL: <http://ecologysystemlt.ru> (Дата обращения: 2.09.2014);

3 **МОБИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШИН В.В. Пронин, А.В. Шульпин, Р.С. Казеенков** Научный руководитель **В.А. Ивлиев** «Студенческие Дни науки в ТГУ»: научно-практическая конференция (Тольятти, 1 – 25 апреля 2014 года): сборник студенческих работ: в 2 ч./отв. за вып. С.Х. Петерайтис. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014. – Ч.1. – 263 с: обл.;

4 Пат. 2333422 Российская Федерация, МПК F23C3/00. Устройства для сжигания топлива, отличающиеся формой камеры сгорания / Тюкин Константин Константинович (RU); патентообладатель Тюкин Константин Константинович (RU) - 2006132141/06, 06.09.2006; опубл. 10.09.2008.

5 Установка для получения тепловой энергии путём переработки углеводородосодержащих продуктов **В.В. Пронин, А.В. Шульпин, Р.С. Казеенков, В.А. Ивлиев** «Труды IV международной научно-технической конференции (Резниковские чтения)» (Тольятти 27-29 мая 2015 года): в 2 ч. / ред. кол. А.В. Гордеев [и др.]. – Тольятти: ТГУ, 2015. – Ч. 2. – 491 с. : обл.

6 Количество автомобилей всех типов [Электронный ресурс]. URL: <http://в-деталях.рф/гибдд-подсчитала-количество-автомоб/218934> (Дата обращения: 05.05.2016)

7 Утилизация покрышек [Электронный ресурс]. URL: <http://promdrob.ru/priem-avtomobil-ny-h-shin-v-pererabotku/> (Дата обращения: 05.05.2016)

8 ГОСТ 2177-99. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава [Электронный ресурс]. URL: http://snipov.net/c_4727_snip_104555.html (Дата обращения 01.05.2016)

9 ГОСТ 511-82. Топливо для двигателей. Моторный метод определения октанового числа (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-511-82> (Дата обращения 01.05.2016)

10 Пирометр модели DT-8835 инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: http://pyrometr.ru/images/pirometr/instrukciya/DT-8835_ru.pdf (Дата обращения: 01.05.2016)

11 **Хитрин Л.Н.** Физика горения и взрыва / **Л.Н. Хитрин.**- М.: Изд-во Московского ун-та, 1957.- 442 с.

12 **Смаль Г.Ф.** Альтернативные топлива для автомобилей / **Г.Ф. Смаль, Е.Е. Арсенов.** – М.: Транспорт, 1979.- 151 с.

13 Постановление Президиума РАН «Об утверждении основных направлений фундаментальных исследований» № 233 от 01.07.2003// Поиск № 35(745). -2009 - 29 августа.

14 Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ. Указ Президента РФ № 899, 07.07.2011.

15 Перспективные автомобильные топлива: виды, характеристики, перспективы / пер. с англ. **А.П. Чочия**; под ред. Я.Б. Чертова. – М.: Транспорт, 1982.- 319 с.

16 **Новиков А.М.** Методология / А.М. Новиков, Д.А. Новиков.- М.: Синтег, 2007.- 668 с.

17 **Новицкий П.В.** Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф.- Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-е, 1985.- 248 с.

18 **Льюис Б.** Горение, пламя и взрывы в газах / Б.Льюис, Г.Эльбе.- М.: Изд-во иностранной литературы, 1948.- 448 с.

19 **Льотко В.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / **В. Льотко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян** – М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. - 311 с.

20 **Кассандрова О.Н.** Обработка результатов наблюдений / **О.Н. Кассандрова, В.В. Лебедев.** - М.: Наука, 1970. - 104 с.

21 ГОСТ Р 8.563–1996. Методики выполнения измерений. - М.: Госстандарт России, 1996. - 20 с.

22 ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений. - М.: Госстандарт России, 2002. - 51 с.

23 **Вагнер В.А.** Основы теории и практика использования альтернативных топлив в дизелях: дис. д-ра техн. наук: 05.04.02 / **Вагнер Виктор Анатольевич.** – Барнаул, АлГУ им. Ползунова, 1995. - С. 222.

24 Пиролиз нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс]. URL: <http://ztbo.ru/o-tbo/stati/piroliz/piroliz-nefti-i-nefteproduktov> (Дата обращения: 01.05.2016)

25 **Пальгунов П.П., Сумароков М.В.** П 14 Утилизация промышленных отходов. - М • Стройиздат, 1990. -352с.: ил. - (Охрана окружающей природной среды).

26 ГОСТ 2177-82. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-2177-82> (Дата обращения 01.05.2016)

27 ГОСТ 8226-82. Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-8226-82> (Дата обращения 01.05.2016)

28 **Забелкин, С.А.** Энергетическое использование пиролизной жидкости / **С.А. Забелкин, А.Н. Грачёв, В.Н. Башкиров, Ф.И. Мулламухаметов** // Вестник Казанского технологического университета. 2010. - №10 - С. 369-375.

29 ГОСТ Р ЕН ИСО 3405-2007. Нефтепродукты. Метод определения фракционного состава при атмосферном давлении [Электронный ресурс]. URL: http://snipov.net/c_4727_snip_115086.html (Дата обращения 01.05.2016)

30 Cantrell, K., K. Ro, D. Mahajan. 2007, Role of Thermochemical Conversion in Livestock Waste-to-Energy Treatments: Obstacles and Opportunities. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol 46 26:8918-8927.

31 Jenkins. B.M. 1999. Part 3.2.2 Pyrolysis Gas. Pp 222-248 in O. Kitani, T. Jungbluth, R.M. Peart, and D. Ramdani, eds. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. Volume V: Energy and Biomass Engineering. Copyright ASAE. St. Joseph, Michigan. USA: American Society of Agricultural Engineers.

32 Ro, K.S., K.B. Cantrell, and P.G. Hunt. 2010. High Temperature Pyrolysis of Blended Animal Manures for Producing Renewable Energy and Value-Added Biochar. *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol.49: 10125-10131.

33 Ringer, V. Putsche, J. Scahill. 2006. Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis; Technical Report NREL/TP-510-37779. November 2006.

34 Corson-Lassiter, J. 2013. The Farm Manure to Energy Initiative: Chesapeake Bay Region. Presented at the From Waste to Worth: Spreading Science & Solutions Conference, Denver, CO. April 1-5, 2013.

35 **Г. М. Файзрахманова, С. А. Забелкин, А. Н. Грачев, В. Н. Башкиров.** Использование древесной пиролизной жидкости для получения химических продуктов.

36 **Железная Т.А., Гелетуха Г.Г.** Современные технологии получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом.

37 **Марк Дж., Эрман Б., Эйрич Ф.** (ред.) Каучук и резина. Наука и технология. Монография / Пер. с англ.: Научное издание. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. — 768 с.

38 **Косивцов Ю.Ю., Сульман Э.М.** Технология пиролиза органических материалов. Монография. - Тверь, ТГТУ, 2010. - 124 с.

39 **Сметанин В. И.** Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. Учебник/(Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). — М.: Колос, 2000.— 232 с.

40 **Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г.** Технологические процессы экологической безопасности. Учебник для студентов технических и технологических специальностей. 3-е изд. перераб. и доп. — Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. — 800 с.

41 **Гориславец С.П., Тменов Д.Н., Майоров В.И.** Пиролиз углеводородного сырья. - Киев: Наукова думка, 1977. - 309 с.

42 **Ямпольский Ю.П.** Элементарные реакции и механизм пиролиза углеводородов. - М.: Химия, 1990. - 216 с.

43 **Тменов Д.Н., Гориславец С.П.** Интенсификация процесса пиролиза. - Киев: "Техніка", 1978. — 192 с.

44 **Хёрд Ч.Д.** Пиролиз соединений углерода. - М.-Л.: Главная редакция химической литературы, 1938 г. – 781 с.

45 Пиролиз [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пиролиз> (Дата обращения 01.05.2016)

46 **Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л., Бабаш С.Е.** Пиролиз углеводородного сырья. М.: Химия, 1987. – 240с.

47 **Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н.** Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности, – Л.: Химия, 1974 г., 344 с.

48 Справочник нефтехимика / Под ред. Огородникова С.К., т.1 – Л.: Химия., 1978 г., 496 с.

49 Справочник инженера-химика / Под ред. Дж. Перри, т.1 – Л.: Химия, 1969 г., 640 с.

50 **Малышев А.И., Помогайло А.С.** Анализ резин. – М.: Химия, 1977. – 232 с.

51 **Тимонин А.С.** Инженерно экологический справочник. Том 3. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 1024 с.

- 52 **Сюняев З.И.** Нефтяной углерод М.: Химия, 1980. 264 с.
- 53 **Мадорский С.** Термическое разложение органических полимеров. Перевод с английского. Под редакцией Рафинкова Р.С. М.: Мир, 1967. 289 с.
- 54 **Некрасов В.Г.** Изношенные автомобильные шины как вторичный энергоресурс // Промышленная энергетика. – 1992. – № 7. – С. 42–45.
- 55 **Лисовский В.А.** Переработка утилизированных шин – энергоэффективное мероприятие // Проблемы сбора, переработка и утилизация отходов: Сб. научн. статей. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2001. – С.150–154.
- 56 **Рашевский Н.Д., Кроник В.С., Мороз В.А.,** Неелова И.П. Переработка изношенных автомобильных шин с металлокордом в товарный продукт // Проблемы сбора, переработка и утилизация отходов: Сб. научн. статей. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2001. – С.290 – 295.
- 57 **Фомин В.М., Шевченко Д.В.** Повышение эффективности использования энергии альтернативного топлива // Транспорт на альтернативном топливе. № 5 (23). 2011. – С. 46-52.
- 58 Пат. 2416053 Российская Федерация, МПК F23G5/02, F23G5/12. Устройство переработки - низкотемпературного пиролиза углеводородсодержащих твердых и жидких бытовых, промышленных и лесных отходов / Рожин Виктор Васильевич (RU); патентообладатель Рожин Виктор Васильевич (RU) - 2009109645/03, 17.03.2009; опубл. 10.04.2011.
- 59 Пат. 2408654 Российская Федерация, МПК C10G9/02. Установка непрерывного действия для пиролиза углеродсодержащих материалов / Скурыдин Юрий Геннадьевич (RU); патентообладатель Скурыдин Юрий Геннадьевич (RU) - 2009109444/04, 16.03.2009; опубл. 10.01.2011.
- 60 Пат. 2361731 Российская Федерация, МПК B29B17/00, C08J11/14, F23G5/027, B09B3/00. Способ переработки изношенных шин и/или резинотехнических изделий и устройство для его осуществления / Коновалов Николай Петрович (RU), Яцун Андрей Владимирович (RU), Коновалов Петр Николаевич (RU); патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Иркутский

государственный технический университет" (ГОУ ИрГТУ) (RU) - 2008100981/12, 09.01.2008; опубл. 20.07.2009.

61 Пат. 2385805 Российская Федерация, МПК В29В17/02. Утилизация автомобильных шин: способ и устройство / Антуфьев Игорь Александрович (RU); патентообладатель Российская Академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ) (RU), Антуфьев Игорь Александрович (RU), Стребков Дмитрий Семенович (RU) - 2008135920/12, 05.09.2008; опубл. 10.04.2010.

62 Пат. 2505581 Российская Федерация, МПК С10G 1/00, С10G 69/04, В09В 3/00. Способ комплексной утилизации нефтесодержащих отходов случайного состава и установка для его осуществления / Быков Игорь Юрьевич (RU), Цхадая Николай Денисович (RU), Ланина Татьяна Дмитриевна (RU), Автомонов Станислав Геннадьевич (RU); патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ухтинский государственный технический университет" (RU) - 2012132614/04, 30.07.2012; опубл. : 27.01.2014.

63 Пат. 2405622 Российская Федерация, МПК В01J 3/08, В01J 19/18, F01D 5/12. Лопаточный реактор для пиролиза углеводородов / Бушуев Владимир Андреевич (RU); патентообладатель Бушуев Владимир Андреевич (RU) - 2009110240/15, 23.03.2009; опубл. :10.12.2010.

64 Пат. 2480491 Российская Федерация, МПК С08J11/20, С08J11/04, С10G1/02, С10G1/10, С10G7/00. Способ переработки резиносодержащих и полимерных отходов / Науменко Евгений Николаевич (RU); патентообладатель Науменко Евгений Николаевич (RU) - 2012113322/04, 05.04.2012; опубл. : 27.04.2013.

65 Joung H.T., Seo Y.C., Kim K.H., Effects of oxygen, catalyst and PVC on the formation of PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs in pyrolysis products of automobile residues, Chemosphere 65 (2006), pp. 1481-1489.

66 Forsgren C., Microwave pyrolysis, a new recycling tool. IT3 07 Conference, May 14-18, 2007 Phoenix, Arizona.

67 Октаноповышающая присадка, антидетонатор Synergent Octano [Электронный ресурс]. URL: <http://www.synergent.ru> (Дата обращения 01.05.2016)

68 **Забелкин, С.А.** Математическое моделирование процесса горения жидких продуктов быстрого пиролиза отходов деревообработки / С.А. Забелкин,

А.Н. Грачёв, В.Н. Башкиров // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №10. – С. 86-91.

69 ГОСТ Р 54095-2010. Ресурсосбережение. Требования к экобезопасной утилизации отработавших шин [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54095-2010> (Дата обращения 01.05.2016)

70 ГОСТ Р 51105-97. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5, 6) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003570> (Дата обращения 01.05.2016)

71 **Зайнуллин Х.Н., Абдрахманов Р.Ф., Ибатуллин У.Г., Миниغازимов И.Н., Миниغازимов Н.С.** Обращение с отходами производства и потребления. – Уфа: Издательство «Диалог», 2005. – 292 с.

72 **Лотош В.Е.** Классификация утилизационных технологий переработки отходов // Экологические системы и приборы. – 2003.– №2.–С.29-31.

73 **Малышевский А.Ф.** Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России [Электронный ресурс] URL: http://rpn.gov.ru/sites/all/files/users/rpnglavred/filebrowser/docs/doklad_po_tbo.pdf (Дата обращения 01.05.2016)

74 **Баркан, М. Ш.** Утилизация резинотехнических отходов / М.Ш. Баркан [и др.] // Экологические системы и приборы. – 2010–№ 3 – С. 45–49

75 **Бобович, Б .Б.** Утилизация автомобилей и автокомпонентов: учебное пособие / Б. Б. Бобович – М. ФОРУМ, 2014. – 168с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Протокол от 14.09.2015 г.
по результатам испытаний горюче-смазочных материалов**

1.	Договор	
2.	Заказчик, адрес	Казеенков Роман Сергеевич
3.	Описание и шифр образца	Образец пиролизной жидкости №1, полученной из РТИ
4.	Акт отбора (передачи) образцов	Отбор образцов произведен заказчиком
5.	Дата проведения испытаний	01-02.09.2015 г.
6.	Цель испытаний	Определение фракционного состава пиролизной жидкости, полученной из РТИ
7.	Метод испытаний	определение фракционного состава по методу А по ГОСТ 2177-99 (ИСО 3405-88);
8.	Испытательное оборудование	(1) Ручной аппарат для перегонки нефтепродуктов АРНС-1Э

9. Результаты испытаний:

№ п/п	Наименование показателя	Требования по ГОСТ Р 51105-97	Фактическое значение
2.	Фракционный состав:		
2.1.	температура начала кипения, °С, не ниже	не нормируется	140 ¹
2.2.	Объём испарившегося топлива, %		
	10% испарилось при температуре	не нормируется	172
	15% испарилось при температуре	не нормируется	180
	20% испарилось при температуре	не нормируется	188
	25% испарилось при температуре	не нормируется	197
	30% испарилось при температуре	не нормируется	208
	35% испарилось при температуре	не нормируется	216
	40% испарилось при температуре	не нормируется	227
	45% испарилось при температуре	не нормируется	258
	50% испарилось при температуре	не нормируется	271
	55% испарилось при температуре	не нормируется	280
	60% испарилось при температуре	не нормируется	291
	65% испарилось при температуре	не нормируется	305
	70% испарилось при температуре	не нормируется	329
	75% испарилось при температуре	не нормируется	336
	80% испарилось при температуре	не нормируется	344
	85% испарилось при температуре	не нормируется	346
	90% испарилось при температуре	не нормируется	348
	95% испарилось при температуре	не нормируется	350
	96% испарилось при температуре	не нормируется	352
2.3.	температура конца кипения, °С, не выше	не нормируется	352
2.4.	остаток в колбе, %, не более	не нормируется	4,0
2.5.	остатки и потери, %, не более	не нормируется	4,0
3.	Цвет	не нормируется	Непрозрачный тёмный продукт

¹ Погрешность определения объёма испарившегося продукта: ± 1,0%

Результаты испытаний относятся только к представленным образцам.

**Протокол от 12.05.2016 г.
по результатам испытаний горюче-смазочных материалов**

10.	Договор	
11.	Заказчик, адрес	Казеенков Роман Сергеевич
12.	Описание и шифр образца	Образец пиролизной жидкости №1, полученной из РТИ
13.	Акт отбора (передачи) образцов	Отбор образцов произведен заказчиком
14.	Дата проведения испытаний	12.05.2016 г.
15.	Цель испытаний	Определение фракционного состава пиролизной жидкости, полученной из РТИ
16.	Метод испытаний	определение фракционного состава по методу А по ГОСТ 2177-99 (ИСО 3405-88);
17.	Испытательное оборудование	(1) Ручной аппарат для перегонки нефтепродуктов АРНС-1Э

18. Результаты испытаний:

№ п/п	Наименование показателя	Требования по ГОСТ Р 51105-97	Фактическое значение
2.	Фракционный состав:		
2.1.	температура начала кипения, °С, не ниже	не нормируется	62 ¹
2.2.	Объём испарившегося топлива, %		
	10% испарилось при температуре	не нормируется	130
	15% испарилось при температуре	не нормируется	140
	20% испарилось при температуре	не нормируется	149
	25% испарилось при температуре	не нормируется	155
	30% испарилось при температуре	не нормируется	160
	35% испарилось при температуре	не нормируется	164
	40% испарилось при температуре	не нормируется	168
	45% испарилось при температуре	не нормируется	175
	50% испарилось при температуре	не нормируется	180
	55% испарилось при температуре	не нормируется	186
	60% испарилось при температуре	не нормируется	191
	65% испарилось при температуре	не нормируется	196
	70% испарилось при температуре	не нормируется	201
	75% испарилось при температуре	не нормируется	203
	80% испарилось при температуре	не нормируется	237
	85% испарилось при температуре	не нормируется	243
	90% испарилось при температуре	не нормируется	271
	95% испарилось при температуре	не нормируется	286
	96% испарилось при температуре	не нормируется	288
2.3.	температура конца кипения, °С, не выше	не нормируется	288
2.4.	остаток в колбе, %, не более	не нормируется	4,0
2.5.	остатки и потери, %, не более	не нормируется	1,0
3.	Цвет	не нормируется	Непрозрачный тёмный продукт

¹Погрешность определения объёма испарившегося продукта: ± 1,0%

Результаты испытаний относятся только к представленным образцам.

**Протокол от 13.05.2016 г.
по результатам испытаний горюче-смазочных материалов**

19.	Договор	
20.	Заказчик, адрес	Казеенков Роман Сергеевич
21.	Описание и шифр образца	Образец пиролизной жидкости №1, полученной из РТИ
22.	Акт отбора (передачи) образцов	Отбор образцов произведен заказчиком
23.	Дата проведения испытаний	13.05.2016 г.
24.	Цель испытаний	Определение фракционного состава пиролизной жидкости, полученной из РТИ
25.	Метод испытаний	определение фракционного состава по методу А по ГОСТ 2177-99 (ИСО 3405-88);
26.	Испытательное оборудование	(1) Ручной аппарат для перегонки нефтепродуктов АРНС-1Э

27. Результаты испытаний:

№ п/п	Наименование показателя	Требования по ГОСТ Р 51105-97	Фактическое значение
2.	Фракционный состав:		
2.1.	температура начала кипения, °С, не ниже	не нормируется	65 ¹
2.2.	Объём испарившегося топлива, %		
	10% испарилось при температуре	не нормируется	133
	15% испарилось при температуре	не нормируется	144
	20% испарилось при температуре	не нормируется	151
	25% испарилось при температуре	не нормируется	157
	30% испарилось при температуре	не нормируется	161
	35% испарилось при температуре	не нормируется	166
	40% испарилось при температуре	не нормируется	170
	45% испарилось при температуре	не нормируется	174
	50% испарилось при температуре	не нормируется	176
	55% испарилось при температуре	не нормируется	184
	60% испарилось при температуре	не нормируется	189
	65% испарилось при температуре	не нормируется	194
	70% испарилось при температуре	не нормируется	203
	75% испарилось при температуре	не нормируется	216
	80% испарилось при температуре	не нормируется	218
2.3.	температура конца кипения, °С, не выше	не нормируется	-
2.4.	остаток в колбе, %, не более	не нормируется	-
2.5.	остатки и потери, %, не более	не нормируется	-
3.	Цвет	не нормируется	Непрозрачный тёмный продукт

¹Погрешность определения объёма испарившегося продукта: ± 1,0%

Результаты испытаний относятся только к представленным образцам.