ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ МОЛОДЁЖИ

«МЕНЯ ОЦЕНЯТ В XXI ВЕКЕ»

Направление: Экология

Тема: «Разработка энергоэффективной пиролизной установки для комплексной утилизации автомобильных шин»

Соискатель: Тишина Екатерина Андреевна

Научный руководитель: Пеньшина Галина Николаевна

Место выполнения работы: МАОУ «СОШ №10» г. Гая Оренбургской области

2026

Аннотация

В работе исследована проблема утилизации изношенных автомобильных шин на примере градообразующего предприятия ПАО «Гайский ГОК», ежемесячно вынужденного утилизировать около сотни шин различных размеров. Актуальность обусловлена экологической опасностью шинных свалок, отсутствием доступных перерабатывающих предприятий в регионе и запретом на захоронение отработанных покрышек.

Проведён сравнительный анализ существующих методов утилизации шин (восстановление, измельчение в крошку, газификация, сжигание в цементных печах, пиролиз), на основании которого обоснован выбор низкотемпературного пиролиза как наиболее экологически и экономически эффективного метода. Изучены физико-химические основы процесса, составлены характеристики продуктов пиролиза в сравнении с фракциями, выделенными из нефти Оренбургского и Карачаганакского месторождений.

Предложена оригинальная конструкция энергоэффективной пиролизной установки с ректификационной колонной для разделения пиролизной жидкости на бензиновую, дизельную фракции и мазут без необходимости отдельной гидроочистки. Разработаны 3D-модель и собран действующий макет установки методом 3D-печати. Выполнен расчёт экономической эффективности: при работе 25 циклов в месяц прибыль до налогообложения составляет 677 250 руб./мес., чистая приведённая стоимость (NPV) при ставке дисконтирования 27% — 4 149 047 руб.

Составлен план поэтапного внедрения установки на ПАО «Гайский ГОК» на 2026–2027 гг., включающий проектирование, закупку, монтаж, опытно-промышленную эксплуатацию и запуск производства. Результаты работы могут быть использованы для диверсификации производственного портфеля предприятия и сокращения его углеродного следа.

Содержание

Введение 4
Глава 1. Теоретические основы явления пиролиза 6
1.1. Методы утилизации шин 6
1.2. Метод пиролиза 7
Глава 2. Моделирование собственной пиролизной установки 9
2.1. Описание разработки 9
2.2. Планируемый эффект от внедрения 11
2.3. Моделирование установки низкотемпературного пиролиза 14
Выводы 16
Заключение 17
Литература 18

Введение

Стремительный индустриальный прогресс обострил проблему утилизации, переработки и повторного использования как бытовых, так и промышленных отходов [2 с.1]. Масштабы этой проблемы усугубляются её разрушительным, нередко необратимым влиянием на биосферу планеты.

Всё более острой становится проблема утилизации изношенных автопокрышек, что обусловлено непрерывным увеличением объемов образующихся отходов и недостатком эффективных и безопасных методов их переработки с экономической целесообразностью. Например, на крупном градообразующем предприятии моего города ПАО «Гайский ГОК», как отмечает главный механик автотранспортного цеха, С. В. Просвиркин, ежемесячно вынуждены утилизировать около сотни автомобильных шин различных размеров – от 17 до 63 дюймов в диаметре.

Переработка отработанных шин имеет важное экологическое и экономическое значение. С точки зрения экологии, это обусловлено тем, что не утилизированные автопокрышки разлагаются на полигонах крайне долго, десятилетиями, а при нагревании под открытым небом выделяют в окружающую среду опасные соединения, такие как бенз(а)пирен, фенолы и нитрозамины [4 с.6]. Согласно данным Министерства природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Оренбургской области [11 с.1], в 2020 году в регионе было выявлено около 60 несанкционированных свалок автопокрышек, в 2021 году – еще 35, а в 2022 году – дополнительно 16. Большая часть этих свалок была ликвидирована, и покрышки были перемещены на специальные контейнерные площадки, но не подверглись переработке. Изношенные шины, утратившие свои потребительские характеристики, представляют собой ценное вторсырье (резина, сталь, синтетический каучук), захоронение которого запрещено законодательно [9]. В Приволжском Федеральном округе единственным официальным предприятием, занимающимся переработкой автопокрышек, является Поволжский Шиноперерабатывающий завод, находящийся в г. Тольятти. Распространенные способы переработки шин предполагают их измельчение в резиновую крошку, но промышленный спрос на этот вторичный продукт значительно уступает объему его производства.

Таким образом, актуальной задачей является создание технологических решений для результативной утилизации автомобильных отходов и преобразования их во вторичное сырье. Пиролиз представляется одним из наиболее экологически предпочтительных методов переработки резиновых отходов. Он подразумевает нагрев материалов в бескислородной среде с дальнейшим разделением, конденсацией и очисткой конечных продуктов.

Объект исследования: явление пиролиза автомобильных шин

Предмет исследования: применение пиролизной установки для комплексной утилизации шин на ПАО «Гайский ГОК».

Основные недостатки существующего оборудования для пиролиза:

- низкая производительность для очистки пиролизной жидкости;
- высокий расход фильтровальных материалов;
- отсутствие автоматического контроля химического состава жидкости.

Это усложняет контроль за процессом очистки и часто приводит к необходимости повторной очистки, а также, часть операций осуществляется фактически вручную, в частности, замена

расходных материалов и измерение физических параметров процесса, что приводит к частым остановкам и снижению производительности установки.

Цель работы: разработать энергоэффективную пиролизную установку для комплексной переработки автомобильных шин на предприятии ПАО «Гайский ГОК», направленную на достижение устойчивого развития путем сокращения углеродного следа предприятия минимум на 10%, повышения производительности процесса переработки не менее чем на 10% по сравнению с существующими решениями; рассмотреть этот вариант в рамках диверсификации производственного портфеля.

Достижение указанной цели предполагает решение следующих задач:

1. Анализ существующих методик утилизации автомобильных шин и выявление недостатков используемых технологий.
2. Исследование особенностей протекания процесса пиролиза применительно к автомобильным шинам.
3. Проектирование конструкции пиролизной установки, учитывающей специфику материала и оптимальных условий технологического процесса.
4. Расчёт экономической эффективности предложенного способа переработки шин и оценка перспектив его промышленного внедрения на ПАО «Гайский ГОК».

Методы исследования: теоретический анализ и синтез информации из различных литературных источников, моделирование, 3D-печать, расчет экономической эффективности установки.

Глава 1. Теоретические основы явления пиролиза

1.1. Методы утилизации шин

Проблемы утилизации резинотехнических продуктов, особенно автомобильных шин, уже долгое время находятся в фокусе внимания ученых и инженеров. На сегодняшний день существует ряд ключевых методов для решения этой задачи.

Таблица 1

Сравнение методов утилизации шин, потерявших свои потребительские свойства

Метод	Предприятие	Экологичность	Продукция	Рынок сбыта	Прибыль
Восстановление шин	ООО ОТР-ГРУПП	Разумное решение, поддерживающее устойчивое развитие	Восстановленные грузовые, карьерные, сельскохозяйственные шины; инновационные технологии	Внутренние регионы России и близлежащие страны СНГ	Средняя
Переработка в крошку	ООО «Альфа»	Эффективный способ снижения экологического ущерба и рационального использования ресурсов	Полноцветная каучуковая и резиновая крошка	Внутренний рынок	Умеренно-положительная
Пиролиз	ООО «Кузнецкэкология»	Эффективный способ снижения экологического ущерба и рационального использования ресурсов, соответствует экономике замкнутого цикла	Пиролизная жидкость, технический углерод, металлокорд, пиролизный газ	Внутренние регионы России и близлежащие страны СНГ, профицитный сбыт	Стабильные высокие доходы
Газификация	ООО «Дмитровский завод РТИ»	Эффективный способ снижения экологического ущерба и рационального использования ресурсов	Синтез-газ, смола	Внутренний рынок	Средняя
Утилизация в цементных печах	ООО «Азия Цемент»	Процесс контролируется в соответствии с экологическими нормативами и не несет опасности для окружающей среды	Энергия	Собственное потребление	Средняя

1.2. Метод пиролиза

Слово «пиролиз» происходит от греческих слов «пир» (огонь) и «лизис» (разложение). Проще говоря, пиролиз — это термическое разложение веществ без доступа кислорода. То есть мы нагреваем материал, но не даём ему гореть (нет кислорода для окисления), и под действием температуры он распадается на другие вещества. Схема процесса пиролиза представлена на рис. 1.

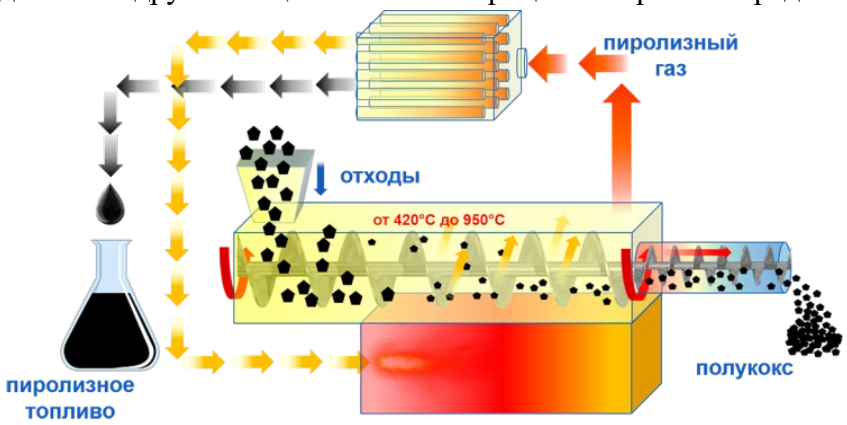


Рис.1 Схема процесса пиролиза

Технологический процесс состоит из следующих этапов:

1 этап. Подготовка сырья. Шины проверяются на предмет наличия в них посторонних предметов, мусора, колёсных дисков.

2 этап. Загрузка и продвижение сырья по реактору производится с помощью шнекового питателя. Интеллектуальная система обеспечения безопасности с помощью датчиков постоянно производит опрос параметров процесса и не допускает попадания воздуха ни в один из технологических узлов установки. Время необходимое для загрузки реактора не превышает 1 часа.

3 этап. Активная фаза цикла пиролиза. Реактор разогревается жидкотопливной горелкой в течение 1,5 ч. Парогазовая смесь, образующаяся в реакторе, подается в линию ректификации, где из нее выделяются бензиновая, дизельная фракция и мазут. Не сконденсировавшаяся часть пирогазов поступает в камеру сгорания, где сжигается в газовой горелке. Реактор выходит на самозапитку с поддержанием определенной температуры, которая контролируется путем изменения мощности горелки, а давление – путем сброса избыточных пирогазов (в основном метан) в факельную горелку. Продолжительность цикла пиролиза 6-8 часов.

4 этап. Охлаждение. По окончании цикла пиролиза оператор запускает программу охлаждения реактора на панели управление. После 3 ч охлаждения установка готова к выгрузке сухого углеродистого остатка.

5 этап. Выгрузка сухого углеродистого остатка и металлокрода. Оператор запускает вращение реактора в обратную сторону и по принципу бетономешалки реактор опорожняется в контейнер. Процесс выгрузки длится до 1 ч.

Общее время производственного цикла составляет около 16 часов (зависит от типа, влажности, фракции, возраста, содержания металлокорда и других параметров исходного сырья).

Дополнительные производственные работы, выполняемые одновременно (параллельно) с основными технологическими операциями:

- брикетирование исходного сырья на прессе (в случае необходимости);

- фасовка остывшего углеродистого остатка в тару, подготовка к реализации;
- перекачка и наполнение топливом емкостей (евро кубы и т. п.), подготовка к реализации;
- транспортировка пучка металлокорда, подготовка к хранению и реализации;
- погрузка продукции/выгрузка отходов.

За критерий оптимальности ведения процесса пиролиза отходов резинотехнических изделий принят максимальный выход жидкого углеводородного топлива. В результате получены следующие продукты в количестве, % (рис. 2):



Рис. 2 Продукты пиролитической переработки углеводородсодержащих отходов, %

Таблица 2

Российские предприятия, занимающиеся пиролизом шин

Параметр оценки	ООО «Кузнецкэкология»	ООО ПТК Пиролиз-Экопром	ООО «НПП Динамика»
Место расположения	г. Новокузнецк	г. Нижний Новгород	г. Екатеринбург
Мощность переработки	До 10 тыс. тонн покрышек в год	До 5 тыс. тонн покрышек в год	До 15 тыс. тонн покрышек в год
Технология пиролиза	Высокотемпературный пиролиз (более 900ºС)	Бездымный метод (закрытая камера)	Низкотемпературный пиролиз (450-900ºС)
Энергоэффективность	Средняя	Средняя	Высокая
Прибыль	Средний бизнес с устойчивым ростом	Ограниченный круг клиентов	Быстро растущий рынок сбыта
Клиенты	Автомобильные заводы, мусороперерабатывающие комплексы	Автодилеры, ремонтные мастерские	Местные автосервисы, перерабатывающие предприятия
Преимущества	Экологически чистая продукция, стабильное качество сырья	Большой ассортимент продукции, высокое качество переработки	Простота внедрения технологии
Недостатки	Устаревшие производственные мощности	Небольшое количество выпускаемых продуктов	Необходимость значительных инвестиций

Глава 2. Моделирование собственной пиролизной установки

2.1. Описание разработки

Предлагаемая установка (рис.3) позволяет утилизировать более 200 видов и групп отходов (согласно ФККО) таких как: отработанные автомобильные шины, отходы РТИ, отходы упаковки, различные пластики, полимеры, нефтешламы и многое др. Данные отходы образуются в цехах ПАО «Гайский ГОК», а также на предприятиях Гайского муниципального округа.



Рис. 3 Схема пиролизной установки

Суть предлагаемого инженерного решения состоит в использовании ректификационной колонны для разделения пиролизной жидкости на бензиновую, дизельную фракции и мазут. Преимущество используемого подхода позволяет производить полную очистку пиролизной жидкости без использования предварительной очистки и дополнительной очистки на отдельном оборудовании. Это позволит отказаться от дорогостоящего оборудования по комплексной гидроочистке и реализовать все модули в рамках одной пиролизной установки. Внедрение физических методов объемной активации позволит более эффективно выделить из углеводородной жидкости примеси, которые требуют для своего удаления дорогостоящие молекулярные фильтры. Очистка в несколько стадий позволит постепенно отбирать различные примеси, которые будут выпадать в осадок, расслаиваться, а к моменту финальной фильтрации количество примесей будет незначительным, что позволит уменьшить расход сорбирующих материалов относительно аналогов. Компактность установки и невысокая стоимость позволят использовать ее на относительно малых площадях.

Потребители данных продуктов: жидкое топливо – предприятия, эксплуатирующие жидкотопливные горелочные устройства (асфальтовые заводы, химические, металлургические,

стеклодувные предприятия, ЖКХ и т. д.); углеродистый остаток – производители стройматериалов, химические производства, производства активных углей, сорбентов, добавок к топливу и т. п.; металлолом – переплавка металла.

С помощью ректификационной колонны выделяют 14% бензиновой фракции, 39% дизельной фракции и 47% мазута [4 с.7]. Используя результаты исследования фракционного состава пиролизного топлива, на лабораторной установке АРН-Лаб-03 в соответствии с требованиями ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава» [4 с. 8], составлена таблица 3 в сравнении с аналогичными показателями фракций, выделенных из нефти.

Таблица 3

Характеристика физико-химических показателей фракций, выделенных из пиролизного топлива и нефти

Фракция	Исследуемый объект	Плотность, г/см^3	Вязкость, мм^2/с	Массовая доля серы, %
Бензиновая	Пиролизное топливо	0,8356	133,14	0,286
	Нефть месторождения Карачаганак (Казахстан)	0,7138	16,24	0,146
	Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения	0,7389	34,16	0,088
Дизельная	Пиролизное топливо	0,8607	249,48	0,555
	Нефть месторождения Карачаганак (Казахстан)	0,7928	59,92	0,241
	Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения	0,8206	125,44	0,315
Мазут	Пиролизное топливо	0,9105	–	0,568
	Нефть месторождения Карачаганак (Казахстан)	0,8425	–	0,927
	Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения	0,8721	–	0,879

Как видно, плотность бензиновой, дизельной фракций и мазута, выделенных из пиролизного топлива, практически не отличается от значений плотности аналогичных фракций, выделенных из нефти Карачаганакского и Оренбургского нефтегазоконденсатных месторождений. Содержание массовой доли серы во фракциях, выделенных из пиролизного топлива, колеблется в диапазоне 0,286-0,568 мас. %, что выше допустимого значения. Это свидетельствует о необходимости дополнительной очистки фракций от серосодержащих соединений. Значения вязкости бензиновой и дизельной фракций, выделенных из пиролизного топлива, равные 133,14 и 249,48 мм^2/с соответственно, превышают значения вязкости аналогичных фракций, выделенных из нефти Карачаганакского и Оренбургского месторождений, однако это не будет препятствовать применению этих фракций в качестве компонентов моторных топлив, так как в процессах очистки вязкость фракций снижается.

2.2. Планируемый эффект от внедрения

Преимущества технологии:

- технология с вращающимся барабаном обеспечивает максимальную эффективность процесса пиролиза за счет постоянного перемешивания и ворошения увеличивается площадь активной поверхности, предотвращается спекание сырья, в отличие от установок со статичными тиглями;
- возможность контроля и управления на всех этапах технологического процесса, полнота цикла, включая стадию прокалки углеродистого остатка, нет жестких требований по однородности сырья в отличие от установок проточного типа;
- возможность в одной установке утилизировать различные виды отходов;
- относительно низкие удельные трудо- и энергозатраты (среднее потребление э/э во время пиролиза около 3квт/ч);
- не требуется предварительное измельчение сырья для подачи в установку, что существенно снижает капитальные и эксплуатационные затраты;
- подача сырья методом запрессовки позволяет эффективно использовать объем реактора;
- 100% стабильное качество конечных продуктов пиролиза.

Преимущества установки:

- возможность утилизации цельных шин диаметром до 1700 мм;
- герметичная выгрузка сухого углеродистого остатка без потерь, протечек и пыления;
- высокое качество конечных продуктов переработки: сепарированный по фракциям сбор пиролизной жидкости, возможность прокалки углеродистого остатка, сепарация металлокорда от углерода в процессе пиролиза, отсутствие запаха углеродистого остатка;
- безопасность технологического процесса за счет низкого давления в системе и небольшого количества единовременно перерабатываемого сырья, а также использования современной системы контроля и управления. Низкая инерционность процесса нагрева и охлаждения за счет применения качественных материалов и аэродинамических свойств топочного узла;
- применение при производстве высококачественных материалов и комплектующих: барабан реактора из жаропрочной стали, прогревается равномерно вследствие вращения (разница температур составляет около 40˚С), что обеспечивает длительный срок службы, легкая гибкая высокотемпературная теплоизоляция, что существенно снижает массу, обеспечивает транспортабельность и минимальную теплоемкость, насосное и горелочное оборудование российских производителей;
- изготовление реактора на высокоточном оборудовании с применением специальной оснастки, что повышает качество, снижает биение и увеличивает срок службы;
- модульная конструкция установки, что обеспечивает высокую мобильность и отсутствие необходимости в специальном фундаменте, достаточно ровного покрытия, что существенно упрощает монтаж оборудования на месте;
- в конструкции установки предусмотрены резервные магистрали и дублирование ряда устройств, что позволяет продолжить работу и совершить аварийную остановку оборудования в случае возникновения внештатной ситуации.

I. Производственный цикл

Электропотребление на цикл	время, ч	квт/ч	потр.эл-гия (квт/цикл)	кол-во чел.	человеко-часы
загрузка сырья	1,5	2	3	3	4,5
работа реактора (нагрев, пиролиз)	9	3	27	2	18
выгрузка углерода	1	1	1	1	1
остывание реактора	4	2	8	0	0
выгрузка металлокорда	0,5	1	1	3	1,5
Итого:	16		40		25
Итого в рублях/цикл			**5,08*40=203,2**		**203,2*25=5080**

II. Издержки на полный цикл

	ед.изм.	кол-во	Стоимость, руб.	
ремонт/обслуживание	ч	0,5	100	смазка, техобслуживание, замена прокладок, чистка, уборка
запчасти, расходники	руб.		300	тара, болты, прокладки, смазка, сальниковая набивка
топливо для пуска	$м^3$	0,4	8800	
освещение	руб.		50	
Итого на цикл:			**9250**	

III. Выход продукции за цикл с 4 т шин

	ед. изм.	кол-во	цена за 1т	Итого, руб.
бензин	т	0,04	54 000 руб	2 160
дизель	т	0,38	51 000 руб	19 380
мазут	т	0,42	40 000 руб	16 800
углерод	т	1,20	9 500 руб	11 400
металлокорд	т	0,52	8 000 руб	4 160
Итого рублей на цикл				**53 00**

IV. Постоянные издержки в месяц

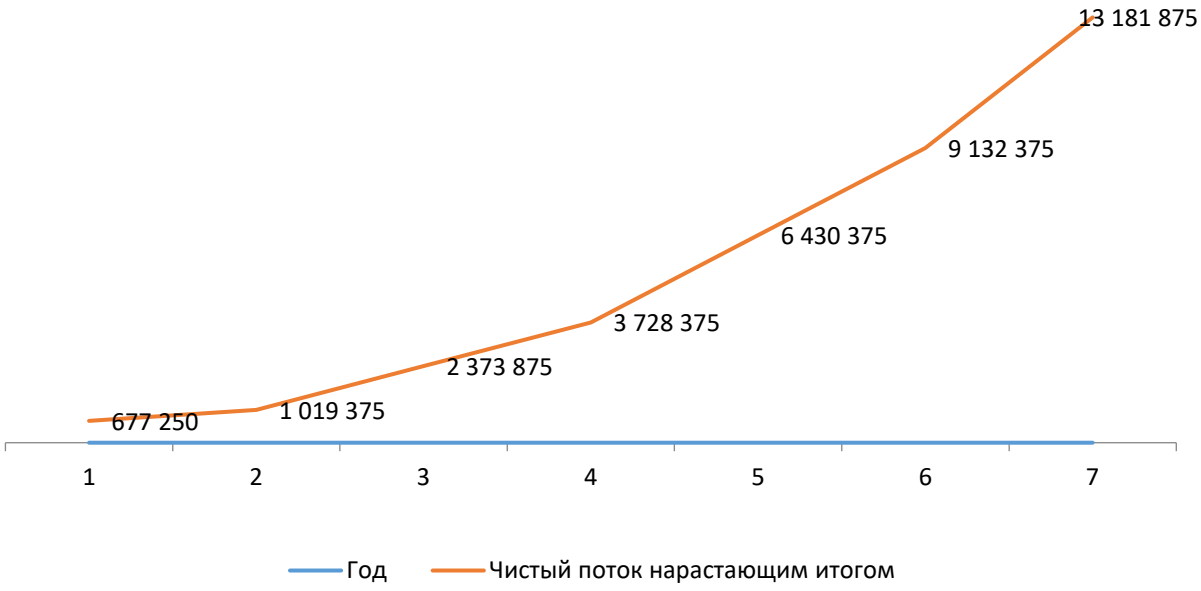
а) зарплата	руб.
менеджер	30000
бухгалтер	5000
эколог	2000
директор	45000
б) аренда помещений	
площадка под навесом 500$м^2$	100000
площадка под шины от 300$м^2$	30000
офис 20$м^2$	10000
в) прочие расходы	50000
канцтовары, хоз.нужды, интернет, телефон, транспорт, образцы продукции	
зарплата разнорабочих смежных работ	40000
ИТОГО	**312 000**

V. Прибыль в месяц на установку при работе 1 цикл/сутки

Всего расходов из расчета проведения 25 циклов в месяц / 25 рабочих дней
(9250+5080)*25 + 312000 = **670 250 руб./мес.**
Выручка
53900*25 = **1 347 500 руб./мес.**
Прибыль до налогооблажения при работе 1 цикл/сутки
677 250 руб./мес.

Ставка дисконтирования	27,00%
Количество лет	4
Чистая приведеная стоимость NPV	4 149 047 руб.

Год	Доходы проекта (руб.)	Расходы проекта (руб.)	Чистый поток (руб.)	Чистый поток нарастающим итогом (руб.)
0	1 347 500	-670 250	677 250	677 250
1	1 347 500	-1 005 375	342 125	1 019 375
2	2 695 000	-1 340 500	1 354 500	2 373 875
3	2 695 000	-1 340 500	1 354 500	3 728 375
4	4 042 500	-1 340 500	2 702 000	6 430 375
5	4 042 500	-1 340 500	2 702 000	9 132 375
6	5 390 000	-1 340 500	4 049 500	13 181 875



2.3. Моделирование установки низкотемпературного пиролиза

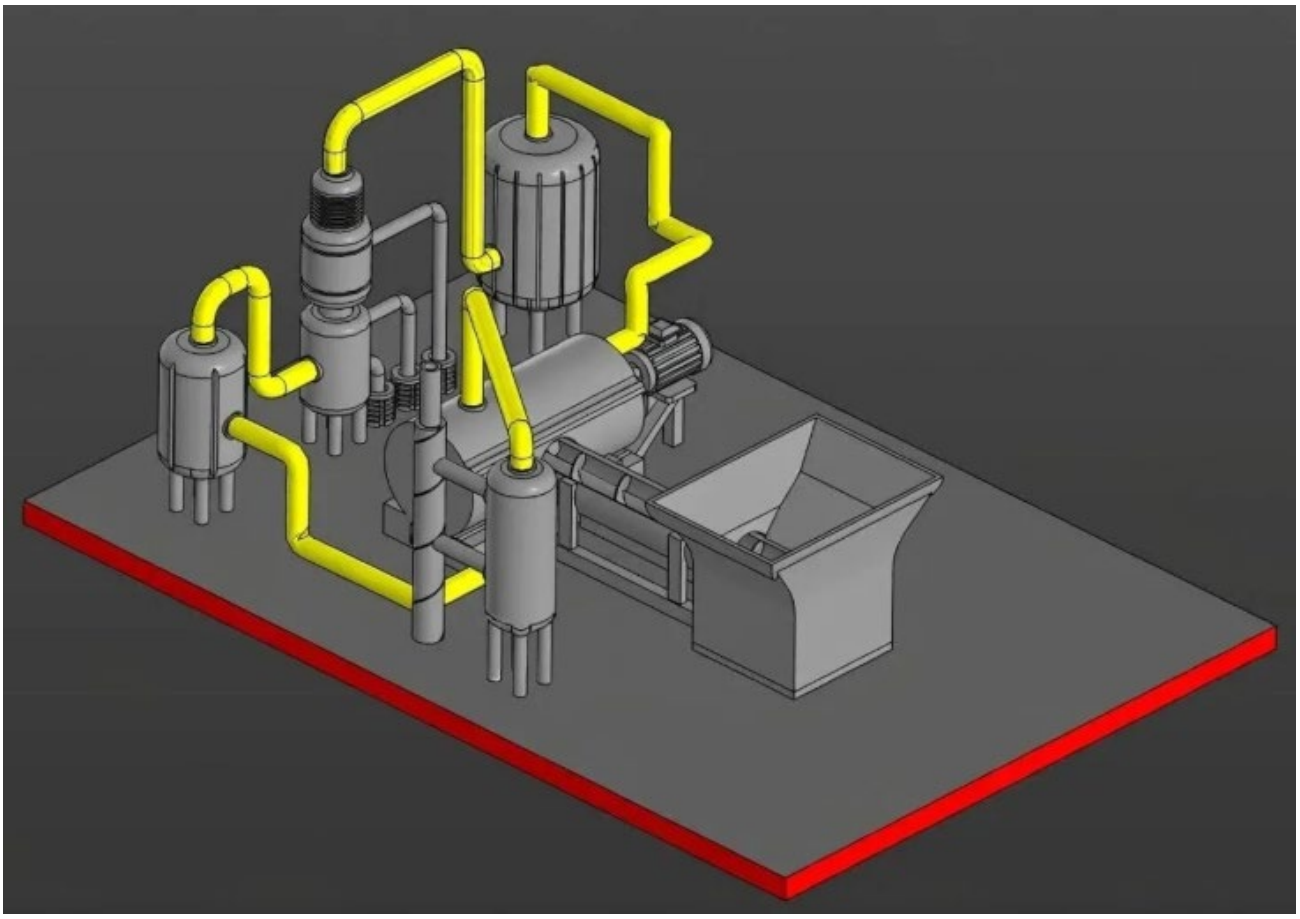


Рис. 4. Принципиальная схема 3-D установки низкотемпературного пиролиза

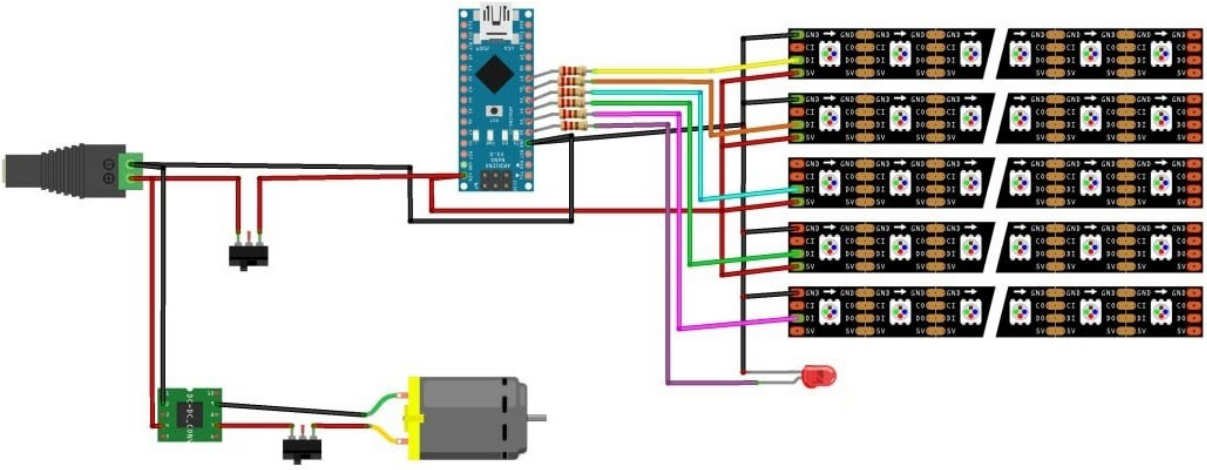


Рис. 5. Электронная схема 3-D установки низкотемпературного пиролиза

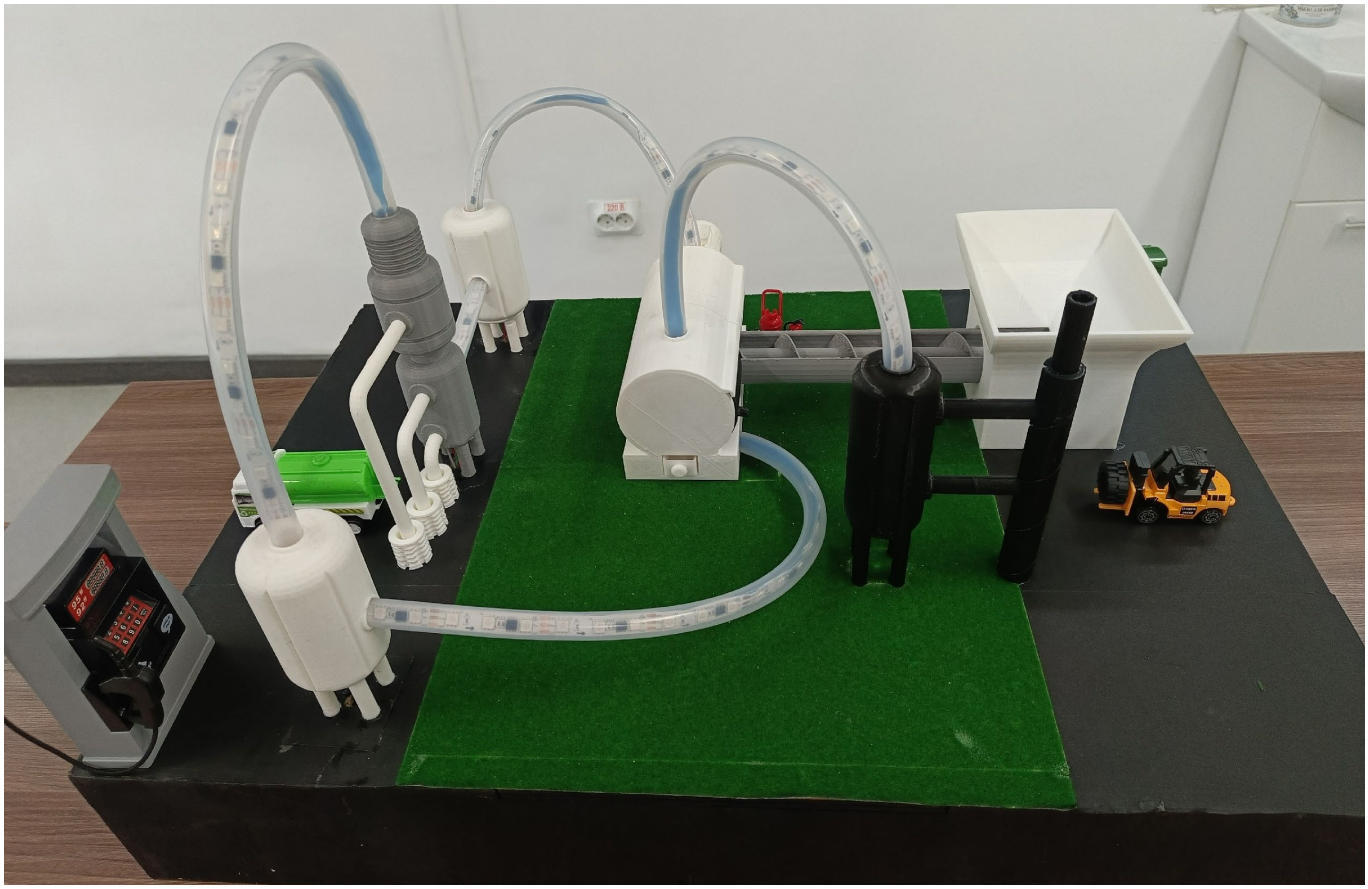


Рис. 6. Собранный макет установки низкотемпературного пиролиза

Видео о работе макета можно посмотреть по ссылке https://disk.yandex.ru/i/TxmDh9eglfHVpw

План по реализации проекта

Этап	План проекта	2026		2027			
		III	IV	I	II	III	IV
Планирование	Согласование концепции проекта, составление плана работ						
Проектирование	Составление технического задания (разработка чертежей и схем), подбор оборудования, проведение расчетов						
ТПФП	Внесение в техпромфинплан (ТПФП) информации о диверсификации производственного портфеля						
Закупка	Выбор поставщиков, оформление договоров, получение оборудования						
Монтаж	Установка оборудования, проверка работоспособности системы						
ОПЭ (опытно-промышленная эксплуатация)	Проведение испытаний, анализ результатов						
Внедрение	Запуск производства, обучение персонала работе с новой системой						
Поддержка	Мониторинг работы системы, устранение неполадок						

Выводы

В ходе выполнения исследовательской работы были получены следующие основные результаты:

1. **Проведён сравнительный анализ существующих методов утилизации автомобильных шин** (восстановление, переработка в крошку, газификация, сжигание в цементных печах, пиролиз). Установлено, что пиролиз является наиболее экологически и экономически предпочтительным методом, так как он соответствует принципам экономики замкнутого цикла и обеспечивает стабильный рынок сбыта всех получаемых продуктов — пиролизной жидкости, технического углерода, металлокорда и пиролизного газа.

2. **Изучены физико-химические основы процесса низкотемпературного пиролиза** применительно к автомобильным шинам. Установлено, что при пиролизе образуется три группы продуктов: газообразная, жидкая и твёрдая фракции. Сравнение физико-химических показателей фракций, выделенных из пиролизного топлива, с аналогичными фракциями из нефти Оренбургского и Карачаганакского месторождений показало, что плотность продуктов пиролиза сопоставима с нефтепродуктами. Однако повышенное содержание серы (0,286–0,568 мас. %) и увеличенная вязкость указывают на необходимость дополнительной очистки, что было учтено при проектировании установки.

3. **Спроектирована оригинальная конструкция энергоэффективной пиролизной установки** с ректификационной колонной, позволяющей разделять пиролизную жидкость на бензиновую (14 %), дизельную (39 %) фракции и мазут (47 %) без необходимости отдельной гидроочистки. Применение многоступенчатой очистки и физических методов объёмной активации снижает расход фильтровальных материалов и уплотняет все модули в рамках одной установки. Разработаны 3D-модель и собран действующий макет методом 3D-печати, продемонстрировавший работоспособность предложенного решения.

4. **Рассчитана экономическая эффективность предложенной установки**. При работе 25 циклов в месяц выручка составляет 1 347 500 руб., прибыль до налогообложения — 677 250 руб./мес. Чистая приведённая стоимость (NPV) при ставке дисконтирования 27 % равна 4 149 047 руб., что подтверждает рентабельность проекта даже в условиях высоких рисков. Составлен поэтапный план внедрения установки на ПАО «Гайский ГОК» на 2026–2027 гг., охватывающий проектирование, закупку, монтаж, опытно-промышленную эксплуатацию и запуск производства.

Таким образом, поставленная цель достигнута: разработана энергоэффективная пиролизная установка, которая позволяет комплексно перерабатывать автомобильные шины в полезные продукты, сократить углеродный след предприятия и расширить его производственный портфель за счёт диверсификации.

Заключение

Внедрение пиролизной установки является экономически целесообразным. Прибыль предприятие получает уже в 1-й год эксплуатации.

Проект экономически целесообразен. Чистая приведенная стоимость (NPV) составляет 4 149 047 руб. Это означает, что проект создает дополнительную стоимость для инвестора после учета всех затрат и рисков, представленных ставкой дисконтирования. Проект окупается достаточно быстро, учитывая ставку дисконтирования в 27%. Он связан со значительными рисками (экономическими, политическими, отраслевыми и т.д.). Тот факт, что NPV остается положительным даже при такой высокой ставке дисконтирования, говорит о том, что проект устойчив к рискам, а также способствует повышению безопасности, надежности и производительности оборудования.

Рекомендации по реализации:

- Выбор оборудования от проверенных поставщиков.
- Проведение качественных монтажных и пусконаладочных работ.
- Обучение персонала правилам эксплуатации и обслуживания нового оборудования.

Литература

1. Авдеева Т. П., Розен А. Е. Исследование эффективности утилизации промышленных отходов методом пиролиза https://izvuz_tn.pnzgu.ru/files/izvuz_tn.pnzgu.ru/14.pdf
2. Барабанов, Н. Л. Высокотемпературный пиролиз углеводородов. - Москва: [б. и.], 1971. - 71 с.
3. Булатбаев Ф. Н., Драганова М. А., Нешина Е. Г. Утилизация энергопотенциала углеводородных отходов низкотемпературным пиролизом // https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-energopotentsiala-uglevodorodnyh-othodov-nizkotemperaturnym-pirolizom
4. Бурахта В. А. Характеристика жидких продуктов пиролиза автомобильных покрышек / В. А. Бурахта, И. И. Гаврилина // Журнал прикладной химии. – 2016. – Т. 89. – № 2. – С. 275-279.
5. Гориславец, С. П. Пиролиз углеводородного сырья / С.П. Гориславец, Д.Н. Тменов, В.И. Майоров; АН УССР, Ин-т газа. - Киев: Наук. думка, 1977. - 307 с.
6. Долгова А.Н., Кузнецова И.В., Шайхутдинов И.З., Аминов Б.А. Утилизация промышленных отходов с применением пиролизных технологий // Научное обозрение. Технические науки. 2016. № 3. С. 46-49; URL: https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1086.
7. Лукьянов, И. Пиролиз нефтяного сырья (ресурсы нефтехимии) / П. И. Лукьянов, А. Г. Басистов. - Москва: Гостоптехиздат, 1962. - 274 с.
8. Отработанные шины: неожиданный источник золотых идей // https://rg.ru/2025/09/11/reg-pfo/otrabotannye-shiny-neozhidannyj-istochnik-zolotyh-idej.html
9. Папин А. В. Получение композиционного технического углерода пиролиза автошин / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, Е. А. Макаревич, А. В. Неведров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015 – С. 107–113.
10. Продолжаются работы по ликвидации несанкционированных свалок на территории области https://mpr.orb.ru/presscenter/news/261/
11. Прохоров Д. А., Низкотемпературный пиролиз отработанных автомобильных шин и полимерных отходов https://polymerbranch.com/articles/nizkotemperaturnyj-piroliz-otrabotannyh-avtomobilnyh-shin-i-polimernyh-othodov/
12. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 № 3721-р
13. Солодова Н. Л. Пиролиз углеводородного сырья: учебное пособие / Н. Л. Солодова, А. И. Абдуллин; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Казанский гос. технологический ун-т». - Казань: КГТУ, 2008. - 239 с.