

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ
школьников «Высший пилотаж»

**Разработка и конструирование роторно-поршневого двигателя с
использованием 3D-принтера**

Проект
Направление «Физика»

Автор: Кутаев Артём Маратович,
учащийся 8 «А» класса,
МБОУ СОШ № 28 г. Пензы
им. В. О. Ключевского

2026 г

Содержание

Введение	3
Глава 1. Теоретический спектр.....	5
1.1. Устройство двигателя Ванкеля	5
1.2. Принцип работы двигателя Ванкеля.....	6
1.3. Преимущества и недостатки роторного двигателя Ванкеля по сравнению с традиционными поршневыми моторами	7
Глава 2. Практическая часть	11
2.1. Разработка упрощённой 3D-модели для школьного применения	11
2.2. Методические рекомендации для учителей физики по демонстрации макета двигателя Ванкеля.....	14
Заключение	17
Список используемой литературы	18
Приложение	19

Введение

Актуальность. Роторно-поршневой двигатель (РПД) конструкции Ванкеля — уникальная альтернатива классическим поршневым ДВС. Несмотря на исторические сложности с ресурсом и экономичностью, его преимущества (компактность, мощность, плавность работы) сохраняют интерес к технологии.

В рамках изучения раздела «Тепловые двигатели» в школьном курсе физики возникает потребность в наглядных пособиях, позволяющих визуализировать сложные кинематические процессы. Двигатель Ванкеля представляет собой оригинальную альтернативу классическим поршневым ДВС и демонстрирует иной принцип реализации четырёхтактного цикла. Создание учебного макета позволит:

- наглядно показать преобразование энергии в роторном механизме;
- развить инженерное мышление учащихся через практическую деятельность;
- повысить мотивацию к изучению физики и технических дисциплин.

Цель: создать функциональный учебный макет двигателя Ванкеля для демонстрации принципа работы на уроках физики и внеурочных занятиях.

Задачи:

1. Изучить устройство и принцип действия двигателя Ванкеля.
2. Разработать упрощённую 3D-модель для школьного применения.
3. Подобрать доступные материалы и инструменты для изготовления.
4. Изготовить детали макета с помощью 3D-печати.
5. Собрать макет и проверить его работоспособность.
6. Разработать методические рекомендации для учителей физики.

Объект исследования: роторно-поршневой двигатель (РПД) конструкции Ванкеля.

Предмет исследования: методика создания функционального учебного макета РПД.

Методы:

- анализ технической литературы и видео;
- 3D-моделирование с упрощением геометрии;
- 3D-печать деталей;
- сборка и тестирование;

Ожидаемые результаты

- функциональный макет двигателя Ванкеля;
- комплект чертежей и 3D-моделей;
- инструкция по сборке и эксплуатации.

Образовательные:

- наглядное пособие для уроков физики (темы «Тепловые машины», «Преобразование энергии»);

Глава 1. Теоретический спектр

1.1. Устройство двигателя Ванкеля

Двигатель Ванкеля (роторно-поршневой двигатель, РПД) состоит из цилиндра, ротора (поршня), вала и уплотнений. Особенность конструкции — трёхгранный ротор, вращающийся внутри цилиндра особого профиля, и отсутствие возвратно-поступательного движения деталей.

Цилиндр

Цилиндр в двигателе Ванкеля условно овальной формы. Грани ротора, скользя по поверхности цилиндра, образуют отдельные переменные объёмы камер, обеспечивая четырёхтактный цикл в каждой из них: впуск, сжатие, расширение, выпуск.

Ротор

Трёхгранный ротор (поршень) в двигателе Ванкеля похож на треугольник с закруглёнными наружу сторонами (форма — «треугольник Рёло»). Ротор располагается в аналоге блока цилиндров — корпусе двигателя (статоре).

Особенности:

Все три вершины ротора в любой момент его движения находятся в контакте со стенкой камеры, между сторонами ротора и камерой всегда остаются полости, не сообщающиеся друг с другом.

На вершинах (углах) ротора имеются уплотнительные пластинки — аналоги поршневых колец, которые обеспечивают герметичное прилегание к корпусу.

Вал

Эксцентриковый вал — аналог коленвала в поршневых моторах. Вращательное движение ротора передаётся на вал, установленный на подшипниках и передающий вращающий момент на механизмы трансмиссии.

Особенности:

Передаточное соотношение шестерён ротора и статора — 2:3, поэтому за один полный оборот эксцентрикового вала ротор успевает провернуться на 120 градусов.

За один полный оборот ротора в каждой из трёх образуемых его гранями камер производится полный четырёхтактный цикл.

Уплотнения

Камеры герметизируются уплотнительными пластинами:

- Радиальными — прижимаются к цилиндру центробежными силами и давлением газа.
- Торцевыми — прижимаются ленточными пружинами.

Особенности:

Уплотнения выполнены в виде подпружиненных полосок из высоколегированной стали с особо точной обработкой как рабочих поверхностей, так и торцов.

Износ уплотнителей приводит к высоким утечкам между камерами, что влияет на КПД и токсичность выхлопа.

1.2. Принцип работы двигателя Ванкеля

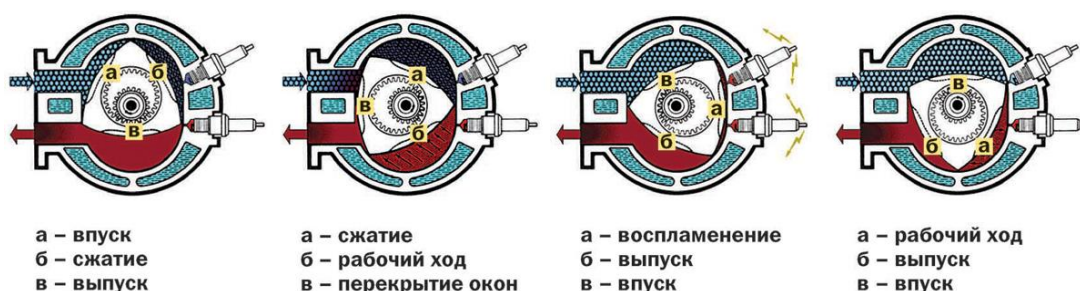


Рис.1. Схема работы РПД

Установленный на валу ротор жёстко соединён с зубчатым колесом, которое входит в зацепление с неподвижной шестернёй — статором. Диаметр ротора намного превышает диаметр статора, несмотря на это ротор с зубчатым колесом обкатывается вокруг шестерни. Каждая из вершин трёхгранного ротора совершает движение по эпитрохоидальной поверхности

цилиндра и отсекают переменные объёмы камер в цилиндре с помощью трёх радиальных уплотнений.

Такая конструкция позволяет осуществить любой 4-тактный цикл Дизеля, Стирлинга или Отто без применения специального механизма газораспределения. Герметизация камер обеспечивается радиальными и торцевыми уплотнительными пластинами, прижимаемыми к цилиндру центробежными силами, давлением газа и ленточными пружинами. Отсутствие механизма газораспределения делает двигатель значительно проще четырёхтактного поршневого, а отсутствие сопряжения (картерное пространство, коленвал и шатуны) между отдельными рабочими камерами обеспечивают необычайную компактность и высокую удельную мощность. За один оборот эксцентрикового вала двигатель выполняет один рабочий цикл, что эквивалентно работе двухтактного поршневого двигателя. За один оборот ротора эксцентриковый вал выполняет 3 оборота и 3 рабочих хода, что приводит к ошибочным сравнениям роторного двигателя с шестицилиндровым поршневым двигателем.

Смесеобразование, зажигание, смазка, охлаждение, запуск принципиально такие же, как и у обычного поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Практическое применение получили двигатели с трёхгранными роторами, с отношением радиусов шестерни и зубчатого колеса: $R:r = 2:3$, которые устанавливают на автомобилях, лодках и т. п.

Автомобили с РПД потребляют от 7 до 20 литров топлива на 100 км, в зависимости от режима движения, масла — от 0,4 л до 1 л на 1000 км.

1.3. Преимущества и недостатки роторного двигателя Ванкеля по сравнению с традиционными поршневыми моторами

Преимущества:

- низкий уровень вибраций: двигатель полностью механически уравновешен, что позволяет повысить комфортность лёгких транспортных средств типа микроавтомобилей, мотоциклов и юникаров;

- высокие динамические характеристики: на низкой передаче возможно без излишней нагрузки на двигатель разогнать машину выше 100 км/ч на более высоких оборотах двигателя (8000 об/мин и более);

- высокая удельная мощность (л. с./кг) в силу того, что:

- обычная частота вращения вала примерно в 2 раза выше, чем у поршневого четырёхтактного двигателя.

- масса движущихся частей в РПД гораздо меньше, чем в аналогичных по мощности поршневых двигателях, так как в его конструкции отсутствуют коленчатый вал и шатуны;

- однороторный двигатель выдаёт мощность в течение трёх четвертей каждого оборота выходного вала. В отличие от четырёхтактного поршневого двигателя, который выдаёт мощность только в течение одной четверти каждого оборота выходного вала;

- меньшие в 1,5—2 раза габаритные размеры;

- меньшее число деталей (два-три десятка вместо нескольких сотен).

За счёт отсутствия преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное двигатель Ванкеля способен выдерживать гораздо большие обороты по сравнению с традиционными двигателями. Роторно-поршневые двигатели обладают более высокой мощностью при небольшом объёме камеры сгорания, сама же конструкция двигателя сравнительно мала и содержит меньше деталей. Небольшие размеры улучшают управляемость, облегчают оптимальное расположение трансмиссии (развесовка) и позволяют сделать автомобиль более просторным для водителя и пассажиров.

Недостатки:

Соединение ротора с выходным валом через эксцентриковый механизм, являясь характерной особенностью РПД, вызывает давление между трущимися поверхностями, что в сочетании с высокой температурой приводит к дополнительному износу и нагреву двигателя. В связи с этим возникает повышенное требование к периодической замене масла. При правильной эксплуатации периодически производится капитальный ремонт, включающий в себя замену уплотнителей. Ресурс при правильной эксплуатации достаточно велик, но не заменённое вовремя масло неизбежно приводит к необратимым последствиям, и двигатель выходит из строя.

Для уменьшения износа радиальных уплотнителей требует подачи масла непосредственно в камеру сгорания. Продукты частичного горения масла попадают в выхлопные газы (как и при работе двухтактного поршневого двигателя). Помимо более «грязного» выхлопа, это приводит к повышенному расходу масла — в двигателе 13В автомобиля Mazda RX-8 убыль масла оставляет 1 литр на 1 тыс. км пробега.

Состояние уплотнителей. Площадь пятна контакта очень невелика, а перепад давления очень высокий. Следствием износа уплотнителей являются высокие утечки между камерами и, как следствие, падение КПД и токсичность выхлопа. Проблема быстрого износа уплотнителей на высокой скорости вращения вала была решена применением высоколегированной стали.

Склонность к перегреву. Камера сгорания имеет линзовидную форму, то есть при маленьком объёме у неё относительно большая площадь. При температуре горения рабочей смеси основные потери энергии идут через излучение, интенсивность которого пропорциональна четвёртой степени температуры; с точки зрения снижения удельной поверхности и за счёт этого потерь теплоты идеальная форма камеры сгорания — сферическая. Лучистая энергия не только бесполезно покидает камеру сгорания, но и приводит к перегреву рабочего цилиндра.

Меньшая экономичность на низких оборотах по сравнению с поршневыми ДВС. Устраняется отключением работы каждого n -го поршня, что также влечёт снижение температурной нагрузки.

Высокие требования к геометрической точности изготовления деталей двигателя делают его сложным в производстве — требуется применение высокотехнологичного и высокоточного оборудования: станков, способных перемещать инструмент по сложной траектории эпитрохоидальной поверхности камеры объёмного вытеснения.

Глава 2. Практическая часть

2.1. Разработка упрощённой 3D-модели для школьного применения

Для того чтобы приступить к конструированию и печати деталей, рассмотрим используемые материалы.

1. Creality 3D K1 SE- 3D-принтер

2. PLA — биоразлагаемый пластик на основе молочной кислоты. Обеспечивает хорошую стабильность печати, низкую усадку и минимальное коробление.

3. Стоимость пластика PLA для 3D-принтеров Creality зависит от типа и цвета материала.

PLA Hyper series Creality Black, диаметр 1,75 мм, 1 кг - 2 400 рублей



Рис.2 Печать деталей на принтере

Для изготовления деталей я использовал программу Компас 3D, в которой сделал модели деталей в трехмерном пространстве.

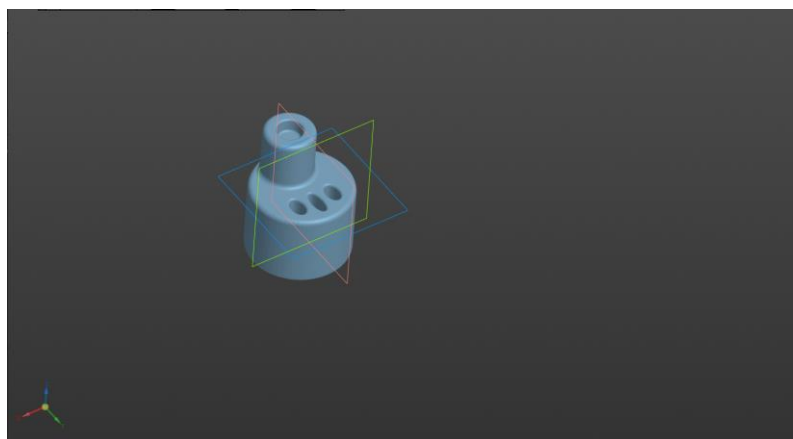


Рис. 3. Эксцентрикoвый вал

Эксцентрикoвый вал — деталь роторно-поршневого двигателя. Это аналог коленчатого вала в поршневых моторах. Эксцентрикoвый вал установлен в центре похожего на барабан корпуса на подшипниках.

Функция: вращательное движение ротора, который выполняет функцию поршня, передаётся на эксцентрикoвый вал.

Для его изготовления я использовал программу Компас 3D, в которой сделал модель детали в трехмерном пространстве.

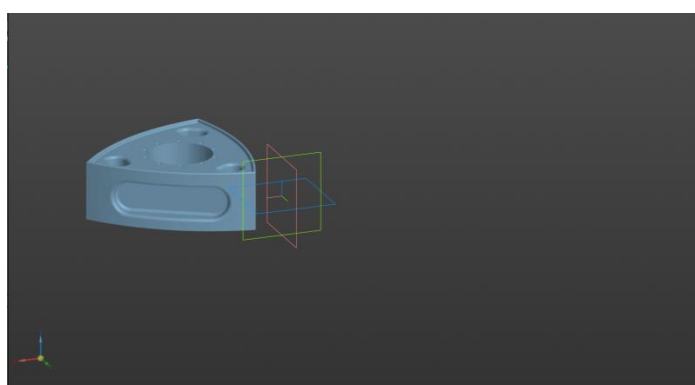


Рис.4. Ротор с шестерней

Ротор с шестернями - элемент роторного двигателя внутреннего сгорания. Ротор в такой конструкции фактически исполняет обязанности поршней вместе с шатунами.

Форма ротора - треугольник с закруглёнными наружу сторонами.

Ротор располагается в аналоге блока цилиндров — корпусе двигателя (статоре) с камерой овальной формы. Форма рассчитана так, что все три вершины ротора в любой момент его движения находятся в контакте со стенкой камеры.

2.2. Методические рекомендации для учителей физики по демонстрации макета двигателя Ванкеля

Общие положения

Рекомендации предназначены для учителей физики (7–11 классы) и направлены на эффективное использование учебного макета двигателя Ванкеля при изучении темы «Тепловые двигатели».

Цель демонстрации: наглядно показать принцип работы роторно-поршневого двигателя, раскрыть особенности его кинематики и сравнить с классическим поршневым ДВС.

Подготовка к уроку

Необходимое оборудование и материалы:

- макет двигателя Ванкеля;

Предварительная проверка макета:

1. Убедитесь в плавности вращения ротора (вручную или от двигателя).
2. Убедитесь в надёжности креплений всех элементов.
3. При необходимости проведите лёгкую смазку подвижных частей.

1. Организационный момент (2–3 мин)

- приветствие;
- объявление темы и цели урока;
- актуализация знаний (вопросы о ДВС: «Какие типы двигателей вы знаете?», «В чём особенность поршневого двигателя?»).

2. Теоретическая часть (10–12 мин)

- краткая история создания двигателя Ванкеля (1–2 мин);
- демонстрация схемы РПД с пояснением ключевых компонентов (статор, ротор, эксцентриковый вал) (3–4 мин);
- объяснение принципа работы (4-тактный цикл) с опорой на схему (5–6 мин).

3. Демонстрация макета (12–15 мин)

- показ макета, обозначение его частей;
- медленное вращение вала с комментированием фаз цикла;
- акцент на отличиях от поршневого ДВС (отсутствие клапанов, непрерывность вращения);
- ответы на вопросы учащихся.

4. Практическая часть (7–10 мин)

- групповая работа: учащиеся по очереди пробуют вращать вал, наблюдают за движением ротора;
- задание: зарисовать схему РПД в тетради, отметить фазы цикла;
- обсуждение: «В чём преимущества и недостатки РПД?»

5. Закрепление и рефлексия (5–7 мин)

- фронтальный опрос («Как называется форма ротора?», «Сколько тактов в цикле РПД?»);
- рефлексия: «Что нового вы узнали?», «Где может применяться РПД?»;
- домашнее задание (например, подготовить сообщение о применении РПД в технике).

6. Методические приёмы при демонстрации

- **Акцент на визуальных элементах:**
 - используйте указку для обозначения деталей макета;
 - выделяйте фазы цикла с помощью светодиодов (если предусмотрено);
 - сравнивайте макет с анимацией/видео работы реального РПД.

7. Типичные вопросы учащихся и ответы

1. **«Почему ротор треугольный?»**
 - Ответ: форма треугольника Рёло позволяет ротору плотно прилегать к стенкам статора, создавая герметичные камеры.
2. **«Как РПД мощнее поршневого при меньших размерах?»**

○ Ответ: за один оборот ротора происходит три рабочих цикла, а в поршневом ДВС — один цикл за два оборота коленвала.

3. **«Почему РПД не используют везде?»**

○ Ответ: высокий износ уплотнений, сложность герметизации камер, повышенный расход топлива.

4. **«Можно ли сделать РПД на воде?»**

○ Ответ: РПД работает на горючем топливе (бензин, газ), но принцип вращения ротора применим и в других механизмах (например, в насосах).

8. Техника безопасности

- Не допускайте резких движений при вращении вала.
- Следите за исправностью электрических соединений (если используется электродвигатель).
- При работе с прозрачными элементами избегайте ударов (возможны сколы).

Заключение

В ходе реализации проекта достигнута поставленная цель — разработан и изготовлен наглядный учебный макет роторно-поршневого двигателя для демонстрации на уроках физики и во внеурочной деятельности. Изучены устройство и принцип работы двигателя Ванкеля; проанализированы ключевые отличия от поршневого ДВС (отсутствие клапанов, непрерывное вращение ротора, реализация 4-тактного цикла в трёх камерах); выявлены основные преимущества (компактность, высокая удельная мощность, плавность работы) и недостатки (износ уплотнений, сложность герметизации) РПД. А также были разработаны методические рекомендации для учителей физики.

Макет двигателя Ванкеля эффективно решает задачу визуализации сложного кинематического процесса, делая абстрактные понятия («ротор», «статор», «эксцентриковый вал») наглядными.

Проект подтвердил практическую возможность изготовления учебного макета с использованием доступных технологий (3D-печать) и материалов.

Список используемой литературы

1. Алексеев В. П., Воронин В. Ф., Грехов Л. В. и др. «Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей» — учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и доп., М.: Машиностроение, 1990.
2. Луканин В. Н. «Двигатели внутреннего сгорания» — учебник для вузов, в 3 книгах, М.: Высшая школа, 1995.
3. Иващенко Н. А., Кавтарадзе Р. З. «Многозонные модели рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания» — учебное пособие по курсу «Теория рабочих процессов ДВС», М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1997.
4. Смирнов Ю. А. «Устройство и диагностика топливных и моторных систем, двигателей внутреннего сгорания и электрооборудования автомобилей» — учебное пособие, издательство «Лань», 2025.
5. Прокопенко Н. И. «Экспериментальные исследования двигателей внутреннего сгорания» — учебное пособие, издательство «Лань», 2010.
6. Альферович В. В., Бармин В. А., Предко А. В. «Требования к конструированию и расчётам двигателей внутреннего сгорания» — пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания», Минск: БНТУ, 2018.
7. Вершина Г. А., Кухарёнок Г. М., Пилатов А. Ю. «Тепловой и динамический расчёт двигателей внутреннего сгорания» — учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания», Минск: БНТУ, 2013.
8. Петрученко А. Н. «Динамический расчёт двигателей внутреннего сгорания» — пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания», Минск: БНТУ, 2017.

Приложение
Поэтапная сборка деталей роторно-поршневого двигателя.



Рецензия на работу

«Разработка и конструирование роторно-поршневого двигателя с использованием 3D принтера»

ученика 8 «А» класса

Муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения
средней общеобразовательной школы № 28 г. Пензы
им. В.О. Ключевского

Кутаев Артём Маратович

В проекте представлено обоснование темы, указана актуальность, определены цели и задачи, объект и предмет исследования, обозначены особенности анализируемого материала, описаны методы его анализа.

В ходе выполнения работы обучающийся рассмотрел в первой главе теоретические основы данного вопроса: устройство и принцип действия двигателя Ванкеля. преимущества и недостатки роторного двигателя Ванкеля по сравнению с традиционными поршневыми моторами.

В практической части на основе полученных знаний ученик разработал упрощённую 3D-модель для школьного применения, подобрал доступные материалы и инструменты для изготовления, изготовил детали макета с помощью 3D-печати, собрал макет и проверить его работоспособность, разработал методические рекомендации для учителей физики

Оформление работы соответствует требованиям и критериям, предъявляемым к работам на конкурс исследовательских и проектных работ школьников.

Работа заслуживает положительной оценки и может быть представлена на второй этап для публичной защиты.

Научный руководитель :

Щетинина А.В.
Учитель физики, высшей категории
МБОУ СОШ № 28 г. Пензы
им. В. О. Ключевского