

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

В разделе публикуются исследовательские работы школьников, выполненные в самых разных областях знаний. В журнале представлены исследования участников различных всероссийских конкурсов и конференций.

УДК 37.00

Проектирование и моделирование теплового двигателя

Александр Толчанов,

учащийся 10-го класса, МКОУ СОШ с. Кошуки, Тавдинский район,
Свердловская область

Научный руководитель:

Александр Григорьевич Сафронов,

учитель, МКОУ СОШ с. Кошуки, Тавдинский район, Свердловская область

В статье представлен индивидуальный проект учащегося 10-го класса, представленный на заочный конкурс проектных, научно-исследовательских и творческих работ Конкурса имени А. С. Макаренко в номинации «Лучшее техническое изобретение школьника»

Введение

Тема проекта «Проектирование и моделирование тепловых двигателей» является актуальной и важной, что определяется значительной ролью тепловых двигателей в современной технике и энергетике.

Практически в любом виде транспорта, будь то автомобиль, поезд, корабль или электростанция, используются тепловые двигатели. Они преобразуют тепловую энергию, выделяющуюся при сгорании топлива, в механическую работу, которая приводит механизмы в движение.

Сегодня перед конструкторами стоят две основные цели:

- 1) повышение мощности и экономичности двигателей;
- 2) снижение негативного воздействия на окружающую среду, уменьшение выбросов вредных веществ.

Создание и моделирование тепловых двигателей помогает лучше понять, как они устроены и как работают. Это важно, потому что благодаря таким знаниям можно сделать двигатели более мощными и экономичными — то есть использовать меньше топлива и тратить меньше энергии. Конечно, сегодня с помощью компьютеров инженеры создают виртуальные модели двигателей и проверяют их работу, не тратя много денег на настоящие эксперименты и изготовление сложных деталей, и получают быстрые и точные результаты, которые помогают улучшать конструкции и создавать более эффективные и экологичные двигатели. Такой подход экономит время и ресурсы, а также позволяет быстрее внедрять новые технологии в жизнь.

Я выбрал эту тему для своего проекта, потому что:

- мне интересно увидеть, как теория из учебника превращается в реальные устройства. Мне хочется глубже понять принципы работы тепло-

Ключевые слова:
проектирование,
моделирование, тепловой
двигатель

вых двигателей и научиться исследовать их модели с помощью современных методов;

- я планирую попробовать создать простую модель теплового двигателя и опробовать её в действии, чтобы на практике убедиться в правильности теоретических знаний. Интересно увидеть, как абстрактная теория из учебника превращается в реальные устройства, способные выполнять полезную работу, а также понять, какие факторы влияют на эффективность и надёжность таких двигателей.

Этот опыт поможет мне развить инженерное мышление и получить навыки, которые пригодятся в дальнейшем обучении и профессиональной деятельности.

Цель проекта: разобратся в конструкции и принципах работы теплового двигателя. Создать (смоделировать) простую модель теплового двигателя своими руками, используя подручные материалы, и запустить её, чтобы увидеть преобразование тепловой энергии в механическую работу и понять основные этапы этого процесса.

Задачи проекта:

1. Теоретическая часть (изучить основы о тепловых двигателях):

1.1. Как появились и развивались тепловые двигатели (от паровых машин до современных моторов);

1.2. Принцип работы теплового двигателя (откуда берётся энергия, что происходит с газом/паром, почему поршень двигается);

1.3. Типы двигателей (классификация двигателей по виду рабочего тела, способу передачи тепла, конструкции и принципу действия, область применения).

2. Практическая часть:

2.1. Анимация работы двигателя внутреннего сгорания;

2.2. Попробую сам спроектировать тепловой двигатель:

- нарисую схему работы (циклы) и эскиз простого теплового двигателя с указанием главных деталей (цилиндр, поршень, нагреватель, холодильник);

- продемонстрирую при помощи модели Стирлинга основные принципы работы теплового двигателя с внешним нагревом и охлаждением рабочего тела (видеоролик с моим участием).

- соберу из деталей и элементов конструктора условную модель двигателя внутреннего сгорания для демонстрации его движущих частей (поршни, клапаны и др. составляющие двигателя) и запущу в движение посредством электромотора или механического (ручного) воздействия.

Ожидаемые результаты и анализ проекта:

- Общие знания о тепловых двигателях (история развития создания тепловых двигателей): как люди придумали двигатели, которые работают за счёт тепла, и как они превращают тепло в движение.

- Создание эскиза двигателя: простой чертёж (рисунок) с подписями, чтобы было понятно из каких основных частей состоит двигатель.

- Компьютерная анимационная модель простого теплового двигателя наглядно демонстрирует принцип его работы, отображая все основные этапы рабочего цикла. В модели показаны движение ключевых частей двигателя — клапанов, поршня и коленчатого вала, а также изменения состояния газа внутри цилиндра, который последовательно нагревается и остывает. Такая визуализация помогает понять, как тепловая энергия преобразуется в механическую работу за счёт расширения и сжатия газа, а также взаимодействия движущихся компонентов двигателя.

- При проведении опыта с моделью двигателя Стирлинга: выявление и анализ изменений ключевых параметров (давления и температуры) в процессе работы, а также их влияние на эффективность преобразования тепловой энергии в механическую работу.

Теоретическая часть

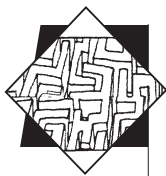
1.1. Развитие создания тепловых двигателей

История развития тепловых двигателей уходит корнями в глубокую древность и отражает многовековые попытки человечества использовать энергию тепла для создания движения. Уже в **античные времена** люди наблюдали явления, связанные с теплом и паром, и пытались использовать их для выполнения механической работы:

- около 450 г. до н.э. — Архит Тарентский использовал струю пара, чтобы привести в движение игрушечную деревянную птичку, подвешенную на проволоке;

- около 50 г. н.э. — Герон Александрийский изобрёл «эолипил», который демонстрирует вращательное движение, возникающее в результате реакции струй пара.

Однако практического применения эти ранние изобретения не получили и оставались научными экспериментами.



В Средние века и эпоху Возрождения происходит дальнейшее развитие идей и технологий, связанных с тепловыми двигателями:

- в XII веке в Китае появляется самое раннее изображение пушки с металлическим корпусом и плотно прилегающим снарядом, что свидетельствует о понимании принципов преобразования энергии горячих газов в поступательное движение;

- в 1125 году профессор Герберт из Реймской школы создаёт орган с нагнетанием воздуха под воздействием нагретой воды;

- около 1500 года Леонардо да Винчи разрабатывает паровую пушку — архитоннеру;

- в 1543 году испанский морской офицер Бласко де Гарай демонстрирует лодку, движущуюся за счёт реактивной струи пара;

- в 1551 году Таки ад-Дин создаёт паровую турбину для вращения вертела.

В XVII веке были сделаны первые важные шаги в понимании свойств газов и принципов работы тепловых машин:

- в 1662 году Роберт Бойль опубликовал закон, описывающий взаимосвязь между объёмом и давлением газа при постоянной температуре, что стало фундаментом для дальнейших исследований в области термодинамики;

- в 1665 году Эдвард Сомерсет построил действующий паровой фонтан;

- в 1680 году Христиан Гюйгенс предложил проект поршневого двигателя на порохе;

- в 1690 году Дени Папен создал конструкцию первого поршневого парового двигателя;

- в 1698 году Томас Сэвери разработал беспоршневой паровой насос для откачки воды из шахт.

В XVIII веке развитие тепловых двигателей приобрело более систематический характер:

- в 1707 году Дени Папен совместно с Готфридом Лейбницем создал проект второго поршневого парового двигателя;

- в 1712 году Томас Ньюкомен построил первый коммерчески успешный атмосферный паровой двигатель, широко использовавшийся для откачки воды из шахт;

- в середине века Уильям Каллен продемонстрировал первые методы искусственного охлаждения, а Джон Харрисон

в 1759 году применил биметаллическую пластину для преобразования теплового расширения в механическую работу;

- в 1769 году Джеймс Уатт запатентовал усовершенствованный паровой двигатель, значительно повысивший эффективность и надёжность;

- в конце века появились первые идеи газовых турбин (1791, Джон Барбер) и паровых двигателей высокого давления (1799, Ричард Тревитик).

XIX век ознаменовался бурным развитием двигателей внутреннего сгорания и теоретических основ термодинамики:

- в 1802 году Жозеф Луи Люссак сформулировал закон, связывающий давление и температуру газа;

- в 1807 году Нисефор Ньепс и Франсуа Исаак де Риваз создали первые двигатели внутреннего сгорания, работающие на различных топливах;

- в 1816 году Роберт Стирлинг изобрёл двигатель на горячем воздухе;

- в 1824 году Никола Сад Карно разработал теоретическую модель теплового двигателя — цикл Карно, который заложил основы второго закона термодинамики и позволил понять пределы эффективности тепловых машин;

- в 1859 году Этьен Ленуар создал первый коммерчески успешный двухтактный двигатель внутреннего сгорания с электрическим зажиганием от светильного газа;

- в 1861 году Николаус Отто запатентовал двухтактный двигатель, а в 1877 году — практичный четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания, который стал основой для большинства современных двигателей;

- в 1884 году Чарльз А. Парсонс изобрёл первую современную паровую турбину, значительно повысившую эффективность паровых машин;

- в 1892 году Рудольф Дизель получил патент на дизельный двигатель, использующий высокое сжатие для самовоспламенения топлива, что сделало его одним из самых экономичных двигателей внутреннего сгорания.

XX век стал эпохой стремительного развития и внедрения новых типов тепловых двигателей:

- в 1913 году Никола Тесла запатентовал турбину, основанную на эффекте пограничного слоя, которая отличалась простотой конструкции и высокой скоростью вращения;

- в 1926 году Роберт Годдард запустил первую ракету на жидком топливе, положив начало космической эре;

- в 1929 году Феликс Ванкель запатентовал роторный двигатель Ванкеля — компактный и лёгкий двигатель с вращающимся ротором вместо поршней;

- в 1930 году Фрэнк Уиттл разработал первую конструкцию газовой турбины для реактивного двигателя, что стало основой для реактивной авиации;

- в 1937 году Ханс фон Охайн создал работающую газовую турбину, которая стала прототипом современных газотурбинных двигателей.

Во второй половине XX века совершенствовались двигатели внутреннего сгорания, газовые турбины, реактивные и ракетные двигатели. Разрабатывались новые материалы и технологии, повышающие эффективность, надёжность и экологичность. Появились гибридные силовые установки и первые попытки интеграции альтернативных видов топлива.

В XXI веке развитие тепловых двигателей продолжается с акцентом на экологическую безопасность и энергоэффективность:

- так, в 2011 году Университет штата Мичиган создал первый волновой дисковый двигатель — инновационное устройство, использующее акустические волны для преобразования тепловой энергии в механическую работу с высокой эффективностью и меньшим количеством движущихся частей.

Современные исследования направлены на развитие гибридных и альтернативных двигателей, использование возобновляемых источников энергии, а также интеграцию интеллектуальных систем управления, что позволяет создавать более экологичные и экономичные тепловые двигатели для транспорта, промышленности и энергетики.

Таким образом, история тепловых двигателей — это непрерывный процесс научных открытий и инженерных инноваций, который продолжается и в наши дни, открывая новые горизонты для развития технологий и улучшения качества жизни.

1.2. Общий принцип работы тепловых двигателей

Тепловой двигатель — это устройство, которое функционирует на основе второго закона термодинамики, преобразуя тепловую энергию в механическую работу. Он

использует разницу температур для создания движения, например, расширения газа, который воздействует на поршень или турбину. Такие двигатели широко применяются в транспорте, энергетике и промышленности.

Работа теплового двигателя основана на циклическом процессе, в котором периодически повторяются расширения и сжатия рабочего тела (газа или пара).

Основные этапы работы теплового двигателя:

Первый этап: нагрев рабочего тела.

Рабочее тело (газ или пар) получает тепло от нагревателя. При нагревании газ расширяется, его давление и температура растут.

Второй этап: расширение и совершение работы.

Расширяющийся газ давит на поршень в цилиндре, заставляя его двигаться. Это движение преобразуется в механическую работу.

Третий этап: охлаждение и сжатие.

После совершения работы газ охлаждается и сжимается. Рабочее тело отдаёт холодильнику количество теплоты, возвращаясь в начальное состояние.

Так цикл повторяется, обеспечивая непрерывную работу двигателя.

Ключевые элементы теплового двигателя:

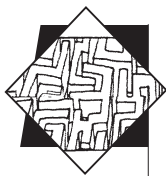
Нагреватель — источник тепла (сгорающее топливо, ядерная реакция и т. д.). *Рабочее тело* — газ или пар, который расширяется и совершает работу. *Холодильник* — поглощает часть энергии рабочего тела, охлаждая его до исходной температуры.

1.3. Принцип работы теплового двигателя с учётом его конструкции

В основе работы теплового двигателя лежит взаимодействие его основных конструктивных элементов: цилиндра, поршня, шатунно-кривошипного механизма, вала, нагревателя, холодильника и механизма возврата поршня. Эти детали обеспечивают циклическое преобразование тепловой энергии рабочего тела в механическую работу.

Конструктивные элементы и их роль в работе двигателя

Цилиндр — это герметичная камера, в которой находится рабочее тело — газ или пар. Цилиндр служит пространством для расширения и сжатия газа. Его стенки выдерживают давление и температуру рабочего тела.



Роль: обеспечивает замкнутое пространство для рабочего тела и направляет движение поршня.

Поршень — это подвижная деталь, плотно прилегающая к стенкам цилиндра, способная перемещаться вдоль его оси. Поршень воспринимает давление расширяющегося газа и передаёт механическую силу на шатунно-кривошипный механизм.

Роль: преобразует давление газа в поступательное механическое движение.

Шатунно-кривошипный механизм — это механизм, соединяющий поршень с валом двигателя. Он преобразует поступательное движение поршня во вращательное движение вала, которое можно использовать для привода машин и механизмов.

Роль: обеспечивает передачу и преобразование механической энергии.

Нагреватель (камера сгорания, котел) — это источник тепла, где рабочее тело получает энергию. В двигателях внутреннего сгорания — это камера сгорания, в паровых — котел.

Роль: нагревает рабочее тело, вызывая его расширение.

Холодильник (радиатор, конденсатор) — это устройство для отвода избыточного тепла из рабочего тела после совершения работы. В паровых двигателях — конденсатор, в двигателях внутреннего сгорания — радиатор охлаждающей жидкости.

Роль: охлаждает и сжимает рабочее тело, подготавливая его к следующему циклу.

Цикл работы теплового двигателя с учётом конструкции

Первый этап: нагрев и расширение

Рабочее тело в цилиндре получает тепло от нагревателя. Под воздействием температуры газ расширяется, увеличивая давление внутри цилиндра. Это давление толкает поршень, заставляя его двигаться.

Конструктивно: цилиндр удерживает газ, поршень начинает движение под давлением.

Второй этап: совершение работы

Движение поршня передаётся через шатунно-кривошипный механизм на вал двигателя, который начинает вращаться и выполняет полезную работу (например, приводит в движение колеса автомобиля или генератор).

Конструктивно: поршень и шатунно-кривошипный механизм преобразуют энергию газа в механическую.

Третий этап: охлаждение и сжатие

После расширения газ охлаждается в холодильнике, его давление и температура снижаются. Поршень возвращается в исходное положение, сжимая газ.

Конструктивно: холодильник отводит тепло, а цилиндр и поршень обеспечивают сжатие.

1.4. Типы тепловых двигателей

Тепловые двигатели классифицируются по различным признакам: виду рабочего тела, способу передачи тепла, конструкции и принципу действия.

Основные типы тепловых двигателей:

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС)

Принцип работы: топливо сгорает непосредственно внутри цилиндра двигателя, нагревая рабочее тело (газ), которое расширяется и приводит в движение поршень.

Особенности: высокая удельная мощность, компактность, быстрый запуск.

Конструктивные элементы: цилиндр, поршень, клапаны, свечи зажигания (для бензиновых), топливная система.

Применение: бензиновые и дизельные двигатели автомобилей, мотоциклов.

Паровые двигатели

Принцип работы: вода нагревается в котле до образования пара, который под высоким давлением поступает в цилиндр, расширяется и толкает поршень.

Особенности: используют пар как рабочее тело, требуют внешнего источника тепла (например, сжигание угля, газа).

Конструктивные элементы: котел, цилиндр, поршень или турбина, конденсатор.

Применение: паровые локомотивы, паровые турбины.

Газовые турбины

Принцип работы: воздух сжимается компрессором, затем смешивается с топливом и сгорает в камере сгорания. Горячие газы расширяются в турбине, вращая её лопатки.

Особенности: высокая мощность, компактность, высокая частота вращения.

Конструктивные элементы: компрессор, камера сгорания, турбина, вал.

Применение: авиационные двигатели, газотурбинные электростанции.

Стирлинговые двигатели

Принцип работы: рабочее тело (газ) циклически нагревается и охлаждается в замкнутом объёме, что вызывает его расширение

ние и сжатие, приводящее в движение поршень.

Особенности: высокий КПД, возможность использования различных источников тепла, низкий уровень шума.

Конструктивные элементы: цилиндр с горячей и холодной зонами, поршни, регенератор.

Применение: экспериментальные установки, некоторые виды генераторов.

Тепловые двигатели внешнего сгорания

Принцип работы: топливо сгорает вне рабочего цилиндра (в котле), тепло передаётся рабочему телу, которое расширяется и совершает работу.

Особенности: возможность использования различных видов топлива, высокая надёжность.

Конструктивные элементы: котел, турбина, конденсатор.

Применение: паровые турбины на электростанциях.

1.5. Проектирование теплового двигателя инженерами-конструкторами

Проектирование теплового двигателя — это сложный процесс, требующий знаний в области термодинамики, механики, материаловедения и экологии. Только комплексный подход позволяет создать двигатель, отвечающий современным требованиям по эффективности, надёжности и экологичности.

Проектирование теплового двигателя включает выбор типа двигателя, разработку рабочего цикла и конструкторское оформление основных узлов. На первом этапе определяется назначение двигателя, требования к мощности, топливу и условиям эксплуатации, что влияет на выбор типа (например, двигатель внутреннего сгорания или паровой двигатель).

Далее разрабатывается рабочий цикл, который задаёт последовательность процессов сжатия, нагрева и расширения рабочего тела, влияя на эффективность и характеристики двигателя. После этого проектируются основные конструктивные элементы — цилиндр, поршень, шатунно-кривошипный механизм, системы охлаждения и смазки — с учётом прочности, износостойкости и теплового режима.

Особое внимание уделяется выбору материалов и теплотехническим расчётам для обеспечения надёжной работы и максимального КПД.

Современные методы моделирования и испытаний помогают оптимизировать конструкцию до изготовления опытного образца.

Для проектирования и моделирования тепловых двигателей инженеры-конструкторы используют специализированное программное обеспечение, среди которого:

AutoCAD — для создания точных 2D-чертежей и эскизов.

SolidWorks — для 3D-моделирования деталей и сборок, а также проведения прочностного анализа.

CATIA — мощная система для комплексного проектирования сложных механизмов и систем.

ANSYS — для численного моделирования тепловых и механических процессов, анализа прочности и теплопередачи.

MATLAB/Simulink — для моделирования рабочих циклов и динамики двигателя.

CFD-программы (например, ANSYS Fluent) — для анализа потоков газов и теплообмена внутри двигателя.

Практическая часть

1.6. Визуализация принципов работы простого теплового двигателя через проектирование и моделирование

В рамках данного проекта мной была проведена комплексная работа по визуализации принципов работы простого теплового двигателя с помощью проектирования и практического моделирования. Такой подход позволил не только теоретически изучить устройство и рабочие циклы тепловых двигателей, но и наглядно продемонстрировать их функционирование.

Основные этапы работы включали:

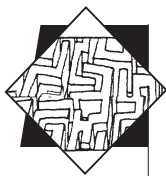
1. Теоретическое изучение принципов работы тепловых двигателей

Я подробно ознакомился с устройством и рабочими циклами различных типов тепловых двигателей, уделяя особое внимание простым и наглядным конструкциям, таким как двигатель Стирлинга и V-образный двигатель внутреннего сгорания.

2. Создание эскизов, схемы простого теплового двигателя

На основе полученных знаний мной выполнены схема и эскизы:

1) я составил и зарисовал простую схему основного (общего) принципа работы



двигателя, демонстрирующую последовательность основных этапов рабочего цикла: нагрев, расширение, сжатие и охлаждение рабочего тела, что позволило визуализировать преобразование тепловой энергии в механическую. (см. Приложение 2);

2) **эскиз** простого теплового двигателя с указанием ключевых конструктивных элементов — цилиндр, поршень и кривошипно-шатунный механизм — с упрощённой геометрией для лучшего понимания принципа работы (см. Приложение 1);

3) **эскиз-схема** этапов (тактов) работы двигателя (весь цикл: впуск — сжатие — рабочий ход — выпуск) (см. Приложение 3);

4) путешествуя по просторам интернета, я наткнулся на увлекательную интерактивную модель простого двигателя. Она наглядно иллюстрирует конструкцию ДВС и последовательность его рабочих тактов: впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск. (Прилагается файл флешплеер, для просмотра нужно перейти по ссылке и запустить: <https://disk.yandex.ru/d/QLAvqrEQjDtMaw>)

3. Практическое моделирование на примере двигателя Стирлинга (видео прилагается)

Для проверки теоретических положений был проведён опыт с готовой моделью двигателя Стирлинга. Этот опыт позволил наглядно наблюдать реальные процессы, происходящие в тепловом двигателе, и оценить эффективность работы простой конструкции.

Алгоритм проведения опыта с моделью двигателя Стирлинга

1 шаг. Подготовка оборудования:

установил модель двигателя Стирлинга на ровной поверхности, обеспечив доступ к источнику тепла — к спиртовой горелке.

2 шаг. Проверка исправности модели:

убедился в отсутствии механических повреждений, свободном вращении коленчатого вала и подвижных частей.

3 шаг. Запуск двигателя:

включил источник тепла (поджег спиртовку — так называемый «нагреватель») и направил на горячую часть модели «рабочее тело» — стеклянная горизонтально расположенная колба с поршнем.

4 шаг. Наблюдение за работой:

следил за началом движения поршней и коленчатого вала, фиксировать время запуска, скорость и число оборотов вращения.

5 шаг. Проведение серии опытов:

менял интенсивность теплового воздействия — отодвигая «нагреватель» от «рабочего тела» модели.

6 шаг. Анализ результатов:

сравнил наблюдения при проведении серии опытов, выявил зависимость скорости вращения и эффективности работы двигателя от температуры нагрева.

7 шаг. Отключение оборудования и завершение опыта:

выключил источник тепла — «нагреватель», дал модели остыть, провёл визуальный осмотр.

Полученные результаты:

модель двигателя Стирлинга успешно запустилась при достижении определённой температуры горячей части.

Время запуска составило примерно 30 секунд после начала нагрева.

Максимальная скорость вращения коленчатого вала достигла через 47 секунд около 500–600 оборотов в минуту при температуре примерно 80–85 °С.

Наблюдалась прямая зависимость между температурой нагрева и скоростью вращения двигателя.

При снижении температуры скорость вращения уменьшалась, что подтверждает принцип работы теплового двигателя Стирлинга.

Модель продемонстрировала стабильную работу в течение 20 минут без признаков перегрева или механических сбоев.

4. Сборка модели V-образного двигателя из конструктора

Для углубления понимания механики двигателя была собрана модель V-образного двигателя внутреннего сгорания из конструктора, что помогло наглядно изучить движение поршней и работу кривошипно-шатунного механизма (фото и видео поэтапной сборки и запуска двигателя прилагается — см. Приложение 4).

5. Создание условной модели двигателя из LEGO-конструктора

Для демонстрации принципа работы двигателя в упрощённом виде была собрана модель из LEGO-элементов, позволяющая визуально показать основные этапы рабочего цикла и взаимодействие деталей.

1.7. Компьютерная модель теплового двигателя (анимация)

Для создания компьютерной модели теплового двигателя я попытался выполнить чертёж простого теплового двигателя с помощью программы AutoCAD. Однако

программа оказалась достаточно сложной для быстрого освоения, и сразу получить желаемый результат не удалось.

В связи с этим я предлагаю ознакомиться по видеоролику компьютерной модели теплового двигателя (файл ДВС.exe, доступный для просмотра через плеер — <https://disk.yandex.ru/d/QLAvqrEQjDtMaw>), а также с видеоматериалом, демонстрирующим работу четырёхцилиндрового двигателя — <https://yandex.ru/video/preview/11491274746045088980>.

Анализ результатов работы

В ходе выполнения проекта я достиг поставленных целей и решил все задачи, что позволило получить следующие результаты:

Теоретическая часть дала мне фундаментальные знания об истории развития тепловых двигателей, их классификации и принципах работы. Это позволило понять, как изначально люди научились превращать тепло в механическую работу и как развивались технологии от паровых машин до современных двигателей внутреннего сгорания и двигателей Стирлинга.

Практическая часть включала создание эскиза простого теплового двигателя с обозначением основных деталей (цилиндр, поршень, нагреватель, холодильник), что помогло визуализировать конструкцию и понять взаимосвязь элементов.

Компьютерная анимация работы двигателя внутреннего сгорания позволила наглядно проследить циклы нагрева, расширения, сжатия и охлаждения рабочего тела, а также движение поршня, что усилило понимание динамики процессов внутри двигателя.

Опыт с моделью двигателя Стирлинга продемонстрировал основные принципы работы теплового двигателя с внешним нагревом и охлаждением, подтвердив теоретические знания практическими наблюдениями.

В ходе эксперимента удалось понять и проанализировать взаимосвязь между основными параметрами: давлением, температурой и энергией. Нагрев горячей части модели приводил к увеличению температуры газа внутри, что вызывало рост давления и, как следствие, движение поршня. Охлаждение холодной части способствовало снижению давления, создавая

необходимую разницу давлений для непрерывной работы двигателя.

Таким образом, опыт показал, что:

- температура напрямую влияет на скорость движения молекул газа и изменение давления;
- давление создаёт механическую силу, приводящую в движение поршень;
- тепловая энергия, поступающая от источника нагрева, частично преобразуется в механическую работу, а часть теряется в окружающую среду;
- изменение любого из этих параметров оказывает влияние на остальные, что подчёркивает их тесное взаимодействие и важность для эффективной работы двигателя Стирлинга, а значит и аналогичных типов тепловых двигателей.

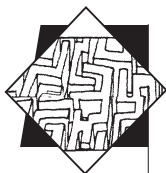
Сборка моделей из конструктора и LEGO позволила наглядно показать устройство и работу двигателя внутреннего сгорания, включая движение поршней и работу клапанов, что способствовало лучшему усвоению материала и развитию инженерного мышления.

Проведённый опыт с моделью двигателя Стирлинга показал тесную взаимосвязь и взаимодействие основных параметров — давления, температуры и энергии. Наблюдения позволили оценить эффективность работы модели и понять, как изменение каждого из этих параметров влияет на производительность двигателя. В частности, было выявлено, что увеличение разницы температур приводит к росту давления и, соответственно, к увеличению механической работы, что подчёркивает важность комплексного подхода к изучению тепловых процессов в двигателях.

Общий анализ проектной работы

В результате проведённой работы были получены:

- эскиз простого теплового двигателя, отражающий основные конструктивные решения (Приложение 1);
- схема рабочего процесса двигателя, иллюстрирующая последовательность тепловых и механических процессов (Приложение 3);
- практический опыт работы на модели двигателя Стирлинга (видеоролик с моим участием, <https://disk.yandex.ru/i/CDDnF7Fqd4LbGA>);



- собранная модель V-образного двигателя из конструктора (фото поэтапной сборки, Приложение 4);
- упрощённая модель условного двигателя из LEGO-конструктора для наглядного объяснения принципов работы (фото, видеоролик).

Вывод: данный комплексный подход позволил эффективно визуализировать и понять основные принципы работы простого теплового двигателя, что является важным этапом в освоении инженерного проектирования и технического творчества.

Заключение

Проект позволил не только углубить теоретические знания в области механики

и термодинамики тепловых двигателей, но и получить практические навыки проектирования и моделирования. Визуализация и создание моделей способствовали более глубокому пониманию принципов работы тепловых двигателей, что является важным этапом в подготовке будущих инженеров и разработчиков.

В целом результаты проекта подтверждают, что комплексный подход — сочетание теории, компьютерного моделирования и практической сборки моделей — является эффективным методом изучения и освоения сложных технических систем, таких как тепловые двигатели. Это открывает перспективы для дальнейших исследований и совершенствования конструкций с целью повышения их эффективности и экологичности. ☑

Приложение 1

Эскиз простого теплового двигателя

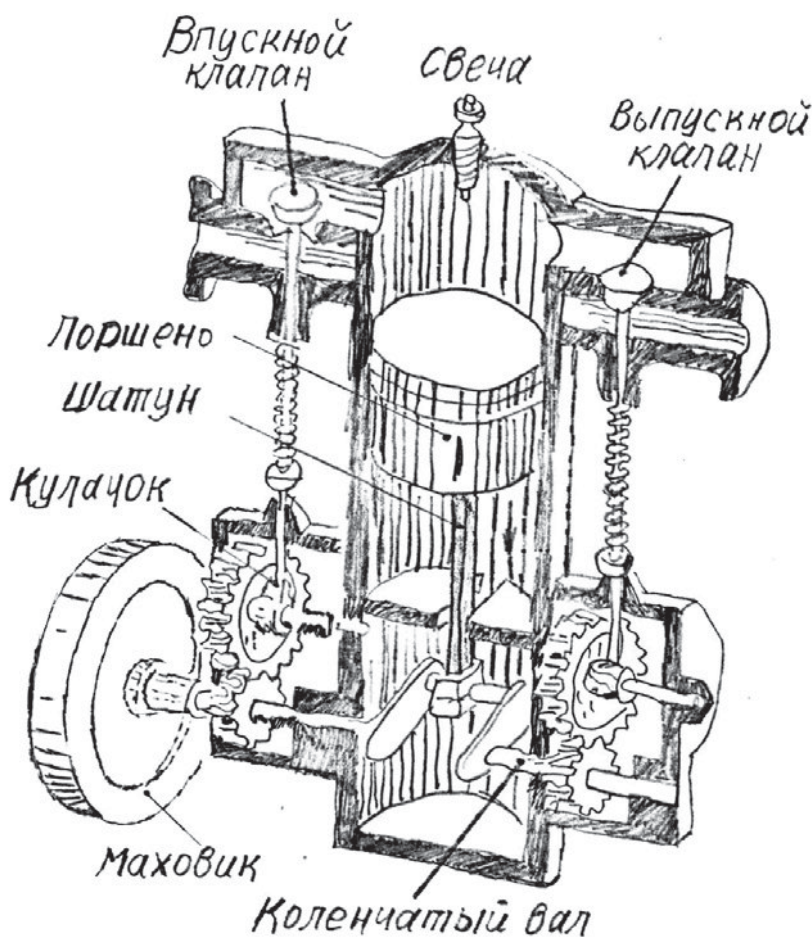
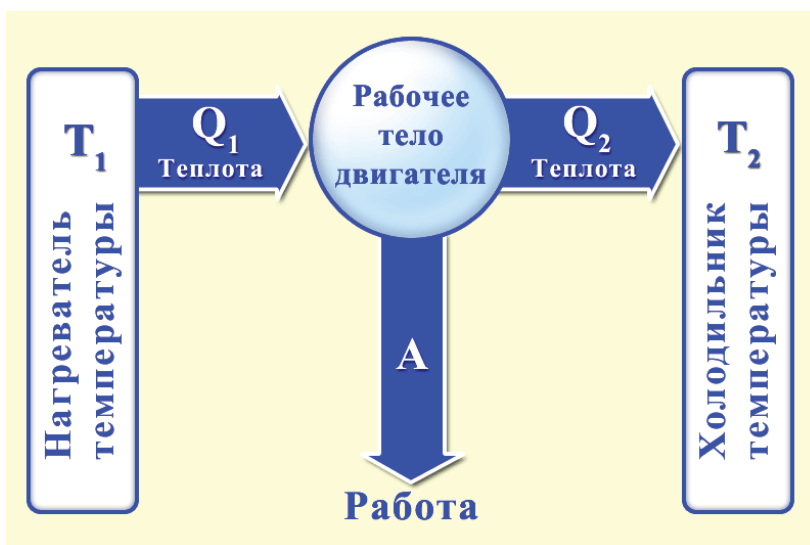


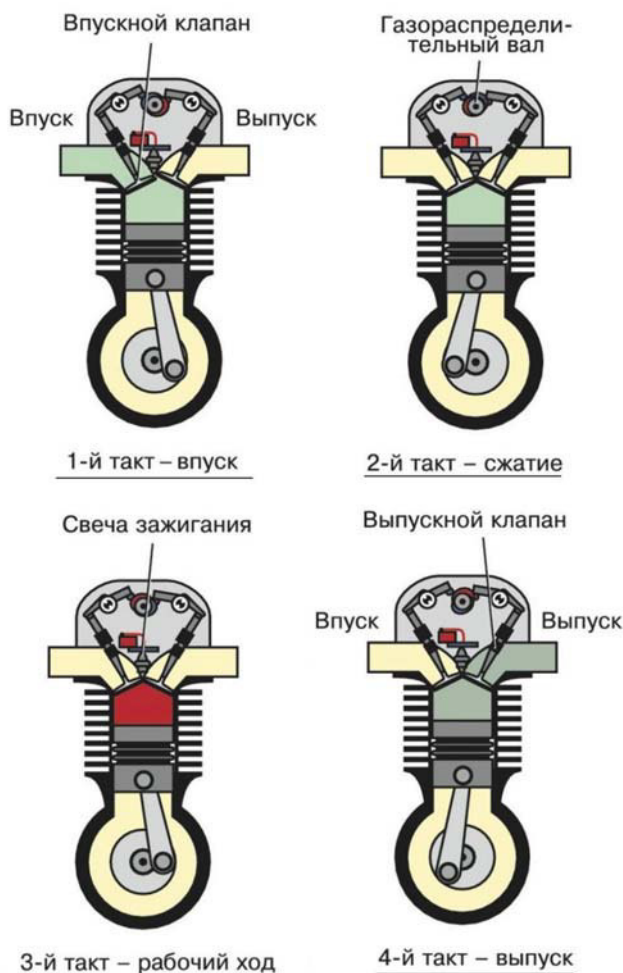
Схема работы теплового двигателя

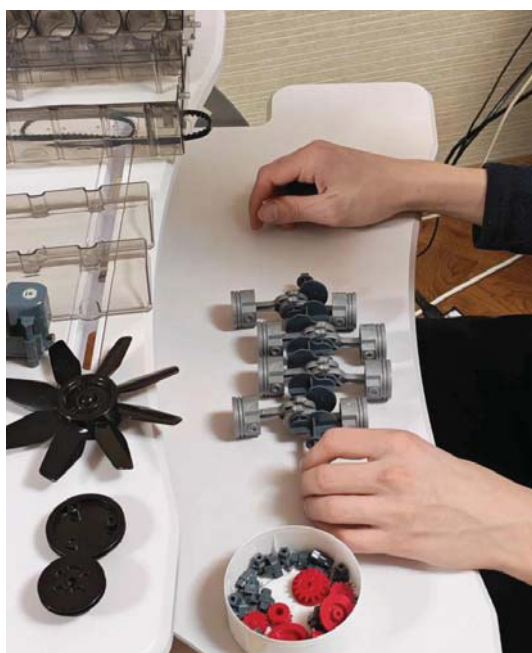
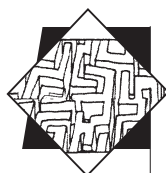


$$A = Q_1 - Q_2$$

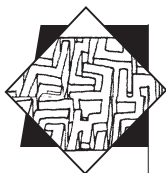
Приложение 3

Эскиз-схема тактовой работы простого теплового двигателя (цикл)









Список использованных источников:

1. ПО Autodesk AutoCAD версия 10 (на домашнем ПК).
2. Нейросети Алиса AI.
3. Физика. 10-й класс: учебник. — М.: Просвещение, 2023. — 432 с.
4. Видеоуроки «Тепловые двигатели. 8-й класс. 10-й класс»: <https://yandex.ru/video/preview/8097583193266321377>; <https://resh.edu.ru/subject/lesson/2593/start/>; https://www.yaklass.ru/p/fizika/8-klass/teplovyie-protcessy-12324/printcipy-raboty-teplovykh-dvigateli-parovaia-turbina-dvigatel-vnutrenn_-161316/re-fb26cdd2-5682-4335-853e-e72ef53c6b5b
5. Большая Российская энциклопедия: https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4341616
6. https://disk.yandex.ru/i/BZBl_8MURcVlWg

Heat Engine Design and Modeling

Alexander Tolchanov, 10th-grade student, Municipal State-Owned General Education Institution, Secondary Comprehensive School, Koshuki, Sverdlovsk Region, Tavdinsky District

Alexander G. Safronov, teacher, Municipal State-Owned General Education Institution, Secondary Comprehensive School, Koshuki, Sverdlovsk Region, Tavdinsky District

Abstract. This article presents an individual project by a 10th-grade student submitted to the A. S. Makarenko correspondence competition of design, research, and creative works in the category «Best Technical Invention of a Schoolchild»

Keywords: design, modeling, heat engine

References:

1. ПО Autodesk AutoCAD versiya 10 (na domashnem PK).
2. Nejroseti Alisa AI.
3. Fizika. 10-j klass: uchebnik. — M.: Prosveshchenie, 2023. — 432 s.
4. Videouroki «Teplovyie dvigateli. 8-j klass. 10-j klass»: <https://yandex.ru/video/preview/8097583193266321377>; <https://resh.edu.ru/subject/lesson/2593/start/>; https://www.yaklass.ru/p/fizika/8-klass/teplovyie-protcessy-12324/printcipy-raboty-teplovykh-dvigateli-parovaia-turbina-dvigatel-vnutrenn_-161316/re-fb26cdd2-5682-4335-853e-e72ef53c6b5b
5. Bol'shaya Rossijskaya enciklopediya: https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4341616
6. https://disk.yandex.ru/i/BZBl_8MURcVlWg