**СОДЕРЖАНИЕ**

#### ВВЕДЕНИЕ

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

ТРЕТЬЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**ВВЕДЕНИЕ**

Тепловые явления отличаются от механических и электромагнитных тем, что законы тепловых явлений необратимы (т.е. тепловые процессы самопроизвольно идут лишь в одном направлении) и что тепловые процессы осуществляются лишь в макроскопических масштабах, а поэтому используемые для описания тепловых процессов понятия и величины (температура, количество теплоты и т.д.) также имеют только макроскопический смысл (о температуре, например, можно говорить применительно к макроскопическому телу, но не к молекуле или атому). Вместе с тем знание строения вещества необходимо для понимания законов тепловых явлений.

Тело, рассматриваемое с термодинамической позиции, является неподвижным, не обладающим механической энергией. Но такое тело обладает внутренней энергией, складывающейся из энергий движущихся электронов и т.д. Это внутренняя энергия может увеличиваться или уменьшаться. Передача энергии может осуществляться путем передачи от одного тела к другому при совершении над ними работы и путем теплообмена. Во втором случае внутренняя энергия переходит от более нагретого тела к менее нагретому без совершения работы. Переданную энергию называют количеством теплоты, а передачу энергии - теплопередачей. В общем случае оба процесса могут осуществляться одновременно, когда тело при утрате внутренней энергии может совершать работу и передавать теплоту другому телу. К пониманию этого ученые пришли не сразу. Для XVIII и первой половине XIX вв. было характерно понимать теплоту как невесомую жидкость (вещество).

Представления о теплоте как форме движения мельчайших частиц материи появилось еще в XVII веке. Этих воззрений придерживались Бэкон, Декарт, Ньютон, Гук, Ломоносов. Однако и в XIX веке концепция теплорода разделялась многими учеными. В конце XVIII века Б.Томпсон (граф Румфорд) обнаружил выделение большого количества тепла при высверливании канала в пушечном стволе, что посчитал доказательством того, что теплота является формой движения. Получение теплоты с помощью трения подтвердили опыты Г.Дэви. Б.Томпсон показал, что из ограниченного количества материи может быть получено неограниченное количество теплоты.

Возникновение собственно термодинамики начинается с работы С.Карно (сам термин "термодинамика" введен Б.Томпсоном). Исследуя практическую задачу получения движения из тепла применительно к паровым машинам, он понял, что принцип получения движения из тепла необходимо рассматривать не только по отношению к паровым машинам, но к любым мыслимым тепловым машинам. Так был сформулирован общий метод решения задачи - термодинамический, заложивший основу термодинамики. Определяя коэффициент полезного действия тепловых машин, Карно ввел свой знаменитый цикл, состоящий из двух изотермических (происходящих при постоянной температуре) и двух адиабатических (без притока и отдачи тепла) процессов. КПД цикла Карно не зависит от свойств рабочего тела (пара, газа и т.д.) и определяется температурами теплоотдатчика и теплоприемника. КПД любой тепловой машины не может быть при тех же температурах теплоотдатчика и теплоприемника выше КПД цикла Карно.

Карно первым вскрыл связь теплоты с работой. Но он исходил из концепции теплорода, признававшей теплоту неизменной по количеству субстанцией. Вместе с тем Карно уже понял, что работа паровой машины определяется всеобщим законом перехода тепла от более высоких к более низким температурам, т.е. что не может быть беспредельного воспроизведения движущей силы без затрат теплорода. Таким образом, работа представлялась как результат перепада теплорода с высшего уровня на низшие. Иначе говоря, теплота может создавать работу лишь при наличии разности температур. По своему смыслу это и составляет содержание второго начала термодинамики. КПД тепловой машины оказался зависимым не от рабочего вещества, а от температуры теплоотдатчика и теплоприемника. Все это позволило Карно прийти к признанию принципа невозможности создания вечного двигателя первого рода (т.е. непрерывно действующей машины, которая, будучи однажды запущенной, совершала бы работу без притока извне).

Осознавая недостатки теории теплорода, Карно в конце концов отказывается от признания теплоты неизменной по количеству субстанцией и дает значение механического эквивалента теплоты. Но публикация этого вывода была осуществлена уже после признания закона сохранения энергии, поэтому данный вывод не сыграл той роли. которую мог сыграть, будучи опубликованным ранее. Но так или иначе Карно заложил основы термодинамики как раздела физики, изучающего наиболее общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями. Термодинамика стала развиваться на основе фундаментальных принципов или начал, являющихся обобщением результатов многочисленных наблюдений и экспериментов.

**ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ**

Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам) гласит: при сообщении термодинамической системе (например, пару в тепловой машине) определенного количества теплоты в общем случае происходит при приращении внутренней энергии системы и она совершает работу против внешних сил. Выше отмечалось, что первым, кто поставил теплоту в связь с работой, был Карно, но его работа в силу запоздалой публикации не оказала решающего воздействия на формирование первого начала термодинамики. Однако идея о том, что теплота - не субстанция, а сила (энергия), одной из форм которой и является теплота, причем эта сила, в зависимости от условий, выступает в виде движения, электричества, света, магнетизма, теплоты, которые могут превращаться друг в друга, существовала в умах исследователей. Для превращения этой идеи в ясное и точное понятие, необходимо было определить общую меру этой силы. это сделали, независимо друг от друга, Р.Майер, Д.Джоуль и Г.Гельмгольц.

Р.Майер первым сформулировал закон эквивалентности механической работы и теплоты и рассчитал механический эквивалент теплоты (1842 г.). Д.Джоуль экспериментально подтвердил предположение о том, что теплота является формой энергии и определил меру превращения механической работы в теплоту. Г.Гельмгольц в 1847 г. математически обосновал закон сохранения энергии, показав его всеобщий характер. Подход всех трех авторов закона сохранения энергии был различным. Майер отталкивался больше от общих положений, связанных с аналогией между "живой силой" (энергией), которую приобретали тела при своем падении в соответствии с законом всемирного тяготения, и теплотой, которую отдавали сжатые газы. Джоуль шел от экспериментов по выявлению возможности использования электрического двигателя как практического источника энергии (это обстоятельство и заставляло его задуматься над вопросом о количественной эквивалентности работы и теплоты). Г.Гельмгольц пришел к открытию закона сохранения энергии, пытаясь применить концепцию движения Ньютона к движению большого числа тел, которые находятся под влиянием взаимного притяжения. Его вывод о том, что сумма силы и напряжения (т.е. кинетической и потенциальной энергией) остается постоянной, является формулировкой закона сохранения энергии в его наиболее общей форме. Этот закон - величайшее открытие XIX века. Механическая работа, электричество и теплота - различные формы энергии. Д.Бернал так охарактеризовал его значение: "Он объединил много наук и находился в исключительной гармонии с тенденциями времени. Энергия стала универсальной валютой физики - так сказать, золотым стандартом изменений, происходивших во вселенной. То, что было установлено, представляло собой твердый валютный курс для обмена между валютами различных видов энергии: между калориями теплоты. килограмметрами работы и киловатт-часами электричества. Вся человеческая деятельность в целом - промышленность, транспорт, освещение и, в конечном счете, питание и сама жизнь - рассматривалась с точки зрения зависимости от этого одного общего термина - **энергия**."

# ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Второе начало термодинамики - закон возрастания энтропии: в замкнутой (т.е. изолированной в тепловом и механическом отношении) системе энтропия либо остается неизменной (если в системе протекают обратимые, равновесные процессы), либо возрастает (при неравновесных процессах) и в состоянии равновесия достигает максимума. Существуют и другие эквивалентные формулировки второго начала термодинамики, принадлежащие разным ученым: невозможен переход теплоты от тела более холодного к телу, более нагретому, без каких-либо других изменений в системе или окружающей среде (Р.Клаузиус); невозможно создать периодически действующую, т.е. совершающую какой-либо термодинамический цикл, машину, вся работа которой сводилась бы к поднятию некоторого груза (механической работе) и соответствующему охлаждению теплового резервуара (В.Томсон, М.Планк); невозможно построить вечный двигатель второго рода, т.е. тепловую машину, которая в результате совершения кругового процесса (цикла) полностью преобразует теплоту, получаемую от какого-либо одного "неисчерпаемого" источника (океана, атмосферы и т.д.) в работу (В.Оствальд).

В.Томсон (лорд Кельвин) сформулировав принцип невозможности создания вечного двигателя второго рода, в 1852 году пришел к формированию концепции "тепловой смерти" вселенной. Ее суть раскрывается в следующих положениях. Во-первых, во вселенной существует тенденция к расточению механической энергии. Во-вторых восстановление механической энергии в прежнем количестве не может быть осуществлено. В-третьих, в будущем Земля очутится в непригодном для жизни человека состоянии. Через 20 лет Клаузиус приходит к тому же выводу, сформулировав второе начало термодинамики в виде: энтропия вселенной стремится к максимуму. (Под энтропией он понимал величину, представляющую собой сумму всех превращений, которые должны были иметь место, чтобы привести систему в ее нынешнее состояние.)

Суть в том, что в замкнутой системе энтропия может только возрастать или оставаться постоянной. Иначе говоря, во всякой изолированной системе тепловые процессы однонаправлены, что и приводит к увеличению энтропии. Стоит энтропии достигнуть максимума, как тепловые процессы в такой системе прекращаются, что означает принятие всеми телами системы одинаковой температуры и превращение всех форм энергии в тепловую. Наступление состояния термодинамического равновесия приводит к прекращению всех макропроцессов, что и означает состояние "тепловой смерти".

Для распространения второго начала термодинамики на другие необратимые процессы было введено понятие энтропии как меры беспорядка. Для изолированных систем (не пропускающих тепло) второе начало термодинамики можно выразить следующим образом: энтропия системы никогда не уменьшается. Система, находящаяся в состоянии равновесия, имеет максимальную энтропию.

Понятие энтропии связывают и с понятием информации. Система, находящаяся в упорядоченном состоянии, содержит много информации, а неупорядоченная система содержит мало информации. Так, например, текст книги содержит много информации, а случайный набор букв не несет информации. Информацию поэтому и отождествляют с отрицательной энтропией (или негэнтропией). При росте энтропии информация уменьшается.

Среди множества выдвинутых против этого вывода возражений наиболее известным было возражение Максвелла. Он исходил из того, что второе начало имеет ограниченную область примерения. Максвелл считал второе начало термодинамики справедливым, пока мы имеем дело с телами, обладающими большой массой, когда нет возможности различать в этих массах отдельные молекулы и работать с ними. Он предложил проделать мысленный эксперимент - представить себе существо, способное следить за каждой молекулой во всех ее движениях, и разделить какой-либо сосуд на две части перегородкой с маленьким отверстием в ней. Это существо (названное "демоном Максвелла"), способное различать отдельные молекулы, будет попеременно то открывать, то закрывать отверстие таким образом, чтобы быстро движущиеся молекулы могли переходить в другую половину. В этом случае "демон Максвелла" без затраты работы смог бы повысить температуру в первой половине сосуда и понизить во второй вопреки второму началу термодинамики.

Данный процесс асимметричен во времени - без внешнего вмешательства он не может стать обратимым. Т.е. бессмысленно ожидать в этом случае, что газы вернутся в первоначальное положение. Можно сказать, что в природе порядок стремится уступить место беспорядку. Однако можно привести примеры, которые как будто бы противоречат данному принципу возрастания энтропии. Так, живые системы в своем развитии усложняются, вырастающие из жидкости кристаллы являются упорядоченнее этой жидкости и т.д. Однако полная энтропия системы вместе с окружающей средой возрастает, ибо биологические процессы осуществляются за счет энтропии солнечного излучения и т.д.

Л.Больцман, предпринявший попытку объяснить, почему порядок уступает место беспорядку, сформулировал H-теорему, являющуюся результатом соединения двух подходов к приближению газа к состоянию равновесия - макроскопического (законов ньютоновской механики, описывающих движение молекул) и микроскопического (исходящего из представления газа как стремящегося к беспорядочному перераспределению). Из теоремы следовал вывод о том, что энтропия может только возрастать - таково поведение термодинамических систем во времени.

Однако с Н-теоремой Больцмана оказался связанным парадокс, вокруг которого возникла дискуссия. Суть заключается в том, что с помощью одной основанной на механике Ньютона молекулярной теории доказать постоянный рост энтропии замкнутой системы нельзя, поскольку ньютоновская механика симметрична во времени - любое движение атомов, основанное на законах ньютоновской механики. может быть представлено как происходящее в обратном направлении. Т.к. асимметрию нельзя вывести из симметрии, то теорема Больцмана (которая на основе лишь одной механики Ньютона утверждает, что возрастание энтропии асимметричного во времени) не может быть верной - для доказательства необходимо было к законам механики добавить и асимметрию. Так что чисто механическая интерпретация закона возрастания энтропии оказывалась несостоятельной. На это первым обратили внимание Й.Лошмидт и Э.Цермело.

При выводе Н-теоремы Больцман кроме механики Ньютона опирался на предположение о молекулярном хаосе, которое, однако, не всегда верно. По теории вероятности, возможность того, что молекулы газа в упомянутом ранее сосуде будут двигаться не хаотично, а устремятся в какую-то одну его половину, не является нулевой, хотя и исчезающе мала. Поэтому можно сказать, что в принципе могут быть случаи, когда энтропия убывает, а хаотическое движение молекул будет упорядочиваться. Таким образом, Н-теорема Больцмана описывает механизм перехода газа из состояния с низкой энтропией в равновесное, но не объясняет, почему это происходит в одном и том же направлении во времени, а именно из прошлого в будущее. А раз это так, то больцмановская модель лишается временной асимметрии.

Но временная асимметрия - это реальный факт. Упорядоченность реальных систем может возникать за счет внешних воздействий, а не за счет внутренних беспорядочных флуктуаций (дом, например, воздвигается строителями, а не в результате внутренних хаотических движений). В реальности все системы формируются под воздействием окружающей среды. Для различения реальных систем, которые, отделясь от окружающей Вселенной, приходят в состояние с низкой энтропией, и больцмановских постоянно изолированных от окружающей среды систем, Г.Рейхенбах назвал первые ветвящимися структурами - в их иерархии упорядоченность каждой зависит от предыдущей. Ветвящаяся структура ведет себя асимметрично во времени по причине скрытого воздействия извне. При этом причина асимметрии - не в самой системе, а в воздействии. В реальном мире больцмановских систем нет.

Асимметричные во времени процессы существуют и в областях за пределами термодинамики. Примером таких процессов могут служить волны (в том числе радиоволны). Так, радиоволны распространяются от передатчика в окружающее пространство, но не наоборот. Аналогично обстоит дело с распространением волн от брошенного в пруд камня. Волны, бегущие от источника (предположим, брошенного в пруд камня) в разные стороны, называют запаздывающими. В принципе возможны и опережающие волны, которые могут возникнуть тогда, когда возмущения сначала проходят через удаленную точку, а затем сходятся в месте распространения источника волны. Изолированный пруд есть симметричная во времени система, как и больцмановский сосуд с газом. Брошенный в него камень создает ветвящуюся структуру. Радиоволна же обратно не вернется, ибо распространяется в безграничном пространстве. Здесь мы имеем дело с неограниченной диссипацией (рассеянием) волн и частиц, являющей собой еще один тип необратимой временной асимметрии. Значит, образование ветвящихся структур и необратимая асимметрия бесконечного волнового движения делают необходимым учет крупномасштабных свойств Вселенной.

Таким образом, дискуссия по поводу второго начала термодинамики привела к выводу, что законы микромира ситуацию с "демоном Максвелла" делают неосуществимой, но вместе с тем она способствовала уяснению того, что второе начало термодинамики является законом статистическим.

# ТРЕТЬЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Третье начало термодинамики (теорема Нернста) : энтропия физической системы при стремлении температуры к абсолютному нулю не зависит от параметров системы и остается неизменной. Другие формулировки теоремы: при стремлении температуры к абсолютному нулю все изменения состояния системы не изменяют ее энтропии; при помощи конечной последовательности термодинамических процессов нельзя достичь температуры абсолютного нуля. М.Планк дополнил теорему гипотезой, согласно которой энтропия всех тел при абсолютном нуле температуры равна нулю. Из теоремы вытекают важные следствия о свойствах веществ при температурах, близких к абсолютному нулю: приобретают нулевое значение удельные теплоемкости при постоянных объеме и давлении, термический коэффициент расширения и давления. Кроме того, из теоремы следует недостижимость абсолютного нуля температуры при конечной последовательности термодинамических процессов.

Если первое начало термодинамики утверждает, что теплота есть форма энергии, измеряемая механической мерой, и невозможность вечного двигателя первого рода, то второе начало термодинамики объявляет невозможным создание вечного двигателя второго рода. Первое начало ввело функцию состояния - энергию, второе начало ввело функцию состояния - энтропию. Если энергия закрытой системы остается неизменной, то энтропия этой системы, состоящая из энтропий ее частей, при каждом изменении увеличивается - уменьшение энтропии считается противоречащим законам природы. Сосуществование таких независимых друг от друга функций состояния, как энергия и энтропия, дает возможность делать высказывания о тепловом поведении тел на основе математического анализа. Поскольку обе функции состояния вычислялись лишь по отношению к произвольно выбранному начальному состоянию, определения энергии и энтропии не были совершенными. Третье начало термодинамики позволило устранить этот недостаток. Важное значение для развития термодинамики имели установленные Ж.Л.Гей-Люссаком законы - закон теплового расширения и закон объемных отношений. Б.Клапейрон установил зависимость между физическими величинами, определяющими состояние идеального газа (давлением, объемом и температурой), обобщенное Д.И.Менделеевым.

Таким образом, концепции классической Термодинамики описывают состояния теплового равновесия и равновесные (протекающие бесконечно медленно, поэтому время в основные уравнения не входит) процессы. Термодинамика неравновесных процессов возникает позднее - в 30-х гг. ХХ века. В ней состояние системы определяется через плотность, давление, температуру и другие локальные термодинамические параметры, которые рассматриваются как функции координат и времени. Уравнения неравновесной термодинамики описывают состояние системы во времени.

## ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

**Паровая машина.** Первые практически действующие универсальные паровые машины были созданы русским изобретателем Иваном Ивановичем Ползуновым и англичанином Джемсом Уаттом.

В машине Ползунова из котла по трубам пар с давлением, немного превышающим атмосферное, поступал поочередно в два цилиндра с поршнями. Для улучшения уплотнения поршни заливались водой. Посредством тяг с цепями движение поршней передавалось мехам для трех ме­деплавильных печей.

Постройка машины Ползунова была закончена в августе 1766 г. Она имела высоту 11 м, емкость котла 7 м3, высоту цилиндров 2,8 м, мощность 29 кВт.

Машина Ползунова создавала непрерывное усилие и была первой универсальной машиной, кото­рую можно было применять для приведения в движение любых заводских механизмов.

В паровой машине Д. Уатта два цилиндра были заменены од­ним закрытым. Пар поступал по­переменно по обе стороны порш­ня, толкая его то в одну, то в дру­гую сторону. В такой машине двойного действия отработавший пар конденсировался не в цилин­дре, а в отдельном от него сосу­де — конденсаторе. Постоянство числа оборотов маховика поддер­живалось центробежным регуля­тором. Разработка парового двигателя была завершена Д. Уаттом в 1784 г.

Главным недостатком первых паровых машин был низкий КПД. У паровозов КПД не превы­шал 9%.

**Паровая турбина и ТЭЦ.** Зна­чительного повышения КПД уда­лось достигнуть в результате изобретения паровой турбины.

Первая паровая турбина, на­шедшая практическое примене­ние, была изготовлена шведским инженером Густавом Лавалем в 1889 г. Для работы паровой турбины за счет энергии, осво­бождаемой при сжигании камен­ного угля или мазута, вода в кот­ле нагревается и превращается в пар. Пар нагревается до темпе­ратуры более 500 °С и при вы­соком давлении выпускается из котла через сопло. При выхо­де пара внутренняя энергия нагретого пара преобразуется в кинетическую энергию струи па­ра. Скорость струи пара может достигнуть 1000 м/с. Струя пара направляется на лопатки турби­ны и приводит турбину во вра­щение. На одном валу с турбиной находится ротор электрического генератора. Таким образом энер­гия топлива в конечном счете преобразуется в электрическую энергию.

Современные паровые турби­ны обладают высоким КПД пре­образования кинетической энер­гии струи пара в механическую энергию, превышающим 90%. Поэтому электрические генерато­ры практически всех тепловых и атомных электростанций мира, дающие более 80% всей выра­батываемой электроэнергии, при­водятся в действие паровыми турбинами.

Температура пара, применяе­мого в современных паротурбин­ных установках, не превышает 580 °С (температура нагревателя Т1=853 К), а температура пара на выходе из турбины обычно не ниже 30 °С (температура холо­дильника Т2=303 К); поэтому максимальное значение КПД па­ротурбинной установки как теп­ловой машины равно:



а реальные значения КПД паро­турбинных конденсационных электростанций составляют лишь око­ло 40%.

Мощность современных энер­гоблоков котел — турбина — ге­нератор достигает 1,2\*106 кВт.

Для повышения КПД на мно­гих электростанциях тепло, от­бираемое от паровой турбины, используется для нагревания во­ды. Горячая вода поступает в систему бытового и промышлен­ного теплоснабжения.

Коэффициент полезного ис­пользования топлива в такой теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) повы­шается до 60—70%.

**Тепловые машины и транс­порт.** Различные виды тепловых машин являются основой совре­менного транспорта. Тепловые машины приводят в движение ав­томобили и тепловозы, речные и морские корабли, самолеты и кос­мические ракеты. Одной из наи­более распространенных тепло­вых машин, используемых в раз­личных транспортных средст­вах, является двигатель внут­реннего сгорания.

**Двигатель внутреннего сгора­ния.** Среди способов увеличения КПД тепловых двигателей один оказался особенно эффективным. Сущность его состояла в устране­нии части потерь теплоты пере­несением места сжигания топлива и нагревания рабочего тела внутрь цилиндра.

Отсюда и происхождение на­звания — «двигатель внутренне­го сгорания».

Первый двигатель внутрен­него сгорания был создан в 1860 г. Французским инженером Этье-ном Ленуаром, но эта машина была еще весьма несовершенной.

В 1862 г. французский изобретатель Бо де Роша предложил использовать в двигателе внутреннего сгорания четырехтактный цикл: 1) всасывание; 2) сжа­тие; 3) горение и расширение; 4) выхлоп. Эта идея была исполь­зована немецким изобретателей Н. Отто, построившим в 1878 г. первый четырехтактный газовый двигатель внутреннего сгорания. КПД этого двигателя достигал 22%, что превосходило значения, полученные при использовании двигателей всех предшествующих типов.

Развитие нефтяной промыш­ленности в конце XIX в. дало новые виды топлива — керосин и бензин. В бензиновом двигателе для более полного сгорания топлива перед впуском в цилиндр его смешивают с воздухом в специальных смесителях, называемых карбюраторами. Воздушно- бензиновую смесь называют горючей смесью.

Для полного сгорания в составе смеси на один килограмм бензина должно приходиться не менее пятнадцати килограммов воздуха. Это означает, что рабочим телом в двигателях внутреннего сгорания фактически является воздух, а не пары бензина. В отличие от паровых машин здесь топливо сжигается для нагревания газа, а не для превращения жидкости в пар. Правда, наряду с нагреванием воздуха происходит и частичное изменение его состава: вместо молекул кислорода появляется несколько большее количество молекул углекислого газа и водяного пара. Азот, составляющий более ¾ воздуха, испытывает лишь нагревание.



 *Впуск Сжатие Рабочий ход Выхлоп*

Рис. 1

При движении поршня от верхнего положения до нижнего через выпускной клапан происходит засасывание горучей смеси в цилиндр (рис.1). Этот процесс происходит при постоянном давлении. При обратном ходе поршня начинается сжатие горю­чей смеси. Сжатие происходит быстро, и поэтому процесс близок к адиабатическому.

В конце такта сжатия проис­ходит воспламенение горючей смеси электрической искрой. Быс­трое сгорание паров бензина со­провождается передачей рабо­чему телу — воздуху — количе­ства тепла, резким возраста­нием температуры, давления воз­духа и продуктов сгорания. За короткое время горения смеси поршень практически не изменяет своего положения в цилиндре, поэтому процесс нагревания газа в цилиндре можно считать изохорическим.

Под действием давления горячих газов поршень совершает рабочий ход, газы адиабатически расширяются от объема *vi* до объема V2.

В конце рабочего такта от­крывается выпускной клапан и рабочее тело соединяется с окру­жающей атмосферой. Выпуск от­работанных газов сопровождает­ся передачей количества теплаQ2окружащему воздуху, играюще­му роль охладителя.

Для поршневых двигателей внутреннего сгорания важной характеристикой, определяющей полноту сгорания топлива и зна­чительно влияющейна величину КПД, является степень сжатия горючей смеси:

где V2 и V1 *—* объемы в начале и в конце сжатия. С увеличе­нием степени сжатия возрастает начальная температура горючей смеси в конце такта сжатия, что способствует более полному ее сгоранию. В карбюраторных дви­гателях увеличению степени сжа­тия выше 8—9 препятствует само­воспламенение (детонация) горю­чей смеси, происходящее еще до того, как поршень достигнет верх­ней мертвой точки. Это явление оказывает разрушающее действие на двигатель и снижает его мощ­ность и КПД. Достигнуть высо­ких степеней сжатия без детонации удалось увеличением скорос­ти движения поршня при повышении числа оборотов двигателя до 5—6 тыс. об/мин и применением бензина со специальными антидетонационными присадками.

Карбюраторные двигатели внутреннего сгорания широко применяются в автомобильном транспорте. Они приводят в движение почти все легковые и многие грузовые автомобили.

**Двигатель Дизеля.** Для дельнейшего повышения КПД двига­теля внутреннего сгорания в 1892 г. немецкий инженер Ру­дольф Дизель предложил испсльзовать еще большие степени сжа­тия рабочего тела.

Высокая степень сжатия без детонации достигается в двигателе Дизеля за счет того, что сжатию подвергается не горючая смесь*,* а только воздух.По окончании процесса сжатия в цилиндр впрыс­кивается горючее. Для его за­жигания не требуется никакого специального устройства, так как при высокой степени адиабати­ческого сжатия воздуха его температура повышается до 600 — 700  С. Горючее, впрыскиваемое с помощью топливного насоса через форсунку, воспламеняется при соприкосновении с раскаленным воздухом.

Подача топлива управляется особым регулятором, в результате чего процесс горения протекает не столь кратковременно, как в карбюраторном двигателе, а происходит изобарно, а затем адиабатно. При обратном движении поршня осуществляется выхлоп.

Современные дизели имеют степень сжатия ε=16 — 21 и КПД около 40%. Более высокий коэффициент полезного действия ди­зельных двигателей обусловлен тем, что вследствие более высокой степени сжатия начальная температура горения смеси (480— 630 °С) у них выше, чем у кар­бюраторных двигателей (330— 480 °С). Этим обеспечивается бо­лее полное сгорание дизельного топлива. Дизельные двигатели используются в мощных грузовых автомобилях, тракторах, на су­дах речного и морского транс­порта, тепловозах.

**Газовая турбина.** Все более широкое применение в современ­ном транспорте получают газо­турбинные двигатели. Газотур­бинная установка состоит из воз­душного компрессора *1,* камер сгорания *2* и газовой турбины 3 (рис. 2). Компрессор состоит из ротора, укрепленного на одной оси с турбиной, и неподвижного направляющего аппарата.

При работе турбины ротор компрессора вращается. Лопатки ротора имеют такую форму, что приих вращении давление перед компрессором понижается, а за ним повышается. Воздух заса­сывается в компрессор, несколь­ко ступеней лопаток компрес­сора обеспечивают повышение давления воздуха в 5—7 раз.

Процесс сжатия протекает адиабатно, поэтому температура воздуха повышается до темпера­туры 200 °С и более.

Сжатый воздух поступает в камеру сгорания. Одновременно через форсунку в нее впрыс­кивается под большим давлением жидкое топливо — керосин, ма­зут.

При горении топлива воздух, служащий рабочим телом, полу­чает некоторое количество тепла и нагревается до температуры 1500— 2200 **°С.** Нагревание воз­духа происходит при постоянном давлении, поэтому воздух расши­ряется и скорость его движения увеличивается.



Рис. 2

Движущийся с большой ско­ростью воздух и продукты горе­ния направляются в турбину. Переходя от ступени к ступени, они отдают свою кинетическую энергию лопаткам турбины. Часть полученной турбиной энергии расходуется на вращение комп­рессора, а остальная использует­ся для вращения винта самолета, винта морского корабля или колес автомобиля.

Вместо вращения винта само­лета, теплохода или ротора электрогенератора газовая турбина может быть использована как реактивный двигатель. Воздух и продукты горения выбрасывают­ся из газовой турбины с большой скоростью. Реактивная сила тя­ги, возникшая при этом, может быть использована для движения самолета, теплохода или железно­дорожного транспорта.

Турбореактивными двигате­лями оборудованы известные все­му миру самолеты ИЛ-62, ТУ-154.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении хотелось бы отметить о взаимодействии тепловых машин и окружающей средой. Непрерыв­ное развитие энергетики, авто­мобильного и других видов тран­спорта, возрастание потребления угля, нефти и газа в промыш­ленности и на бытовые нужды увеличивает возможности удов­летворения жизненных потреб­ностей человека. Однако в на­стоящее время количество еже­годно сжигаемого в различных тепловых машинах химического топлива настолько велико, что все более сложной проблемой становится охрана окружающей среды от вредного влияния про­дуктов сгорания.

Отрицательное влияние тепло­вых машин на окружающую сре-ДУ связано с действием разных факторов.

Во-первых, при сжигании топлива используется кислород из атмосферного воздуха, поэтому содержание кислорода в воздухе постепенно уменьшается. Если в России пока количество кислорода, производимого лесами, пре­вышает количество кислорода, потребляемого промышленностьо, то, например, в США леса восстанавливают лишь 60% используе­мого промышленностью кислорода.

Во-вторых, сжигание топлива сопровождается выделением в атмосферу углекислого газа. За последние двадцать лет содержание углекислого газа в *ат­мосфере* Земли увеличилось при­мерно на 5%.

Молекулы оксида углерод способны поглощать инфракрас­ное излучение. Поэтому увеличение содержания углекислого газа в атмосфере изменяет ее прозрач­ность. Инфракрасное излучений, испускаемое земной поверхно­стью, все в большей мере поглощается в атмосфере. Дальнейшее существенное увеличение концен­трации углекислого газа в атмос­фере может привести к повыше­нию ее температуры.

В-третьих, при сжигании угляи нефти атмосфера загрязняется азотными и серными соединениеями, вредными для здоровья человека. Особенно существенно это загрязнение в крупных городах и промышленных центрах.

Более половины всех загрязнений атмосферы создает транспорт. Кроме оксида углерода исоединений азота, автомобильная двигатели ежегодно выбрасыва­ют в атмосферу 2—3 млн. т свинца. Соединения свинца добавляют в автомобильный бензин для предотвращения детонации топлива в двигателе, т.е. слишком быстрого сгорания топлива, приводящего к снижению мощности двигателя и его быстрому износу. Так как автомобильные двигатели играют решающую роль в загрязнении атмосферы в городах, проблема существенного усовершенствования автомобильного двигателя представляет одну из наиболее актуальных научно-технических проблем.

Один из путей уменьшения загрязнения окружающей среды – переход от использования в автомобилях карбюраторных бензиновых двигателей к использованию дизельных двигателей, в топливо которых не добавляют соединения свинца.

Перспективными являются разработки и испытания автомобилей, в которых вместо бензиновых двигателей используется электродвигатель, питающийся от аккумулятора, или двигатель, использующий в качестве топлива водород. В последнем типе двигателя при сгорании водорода образуется вода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернал Дж. Наука в истории общества.М.,1956.
2. Енохович А.С. Справочник по физике и технике. – М.: Просвещение, 1983.
3. Кабардин О.Ф. Физика. – М.: Просвещение, 1988.
4. Курс общей физики. – Киев.: Днепр, 1994.