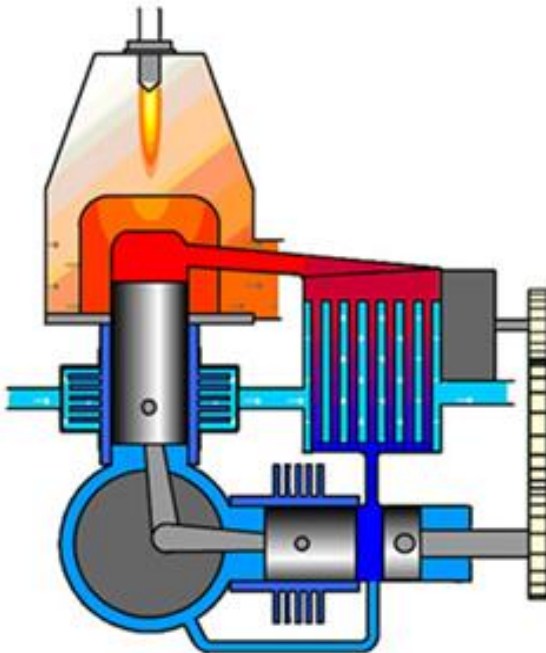


*М.Л. Хасанова,
В.А. Белевитин, В.В. Руднев*

**ТЕРМОДИНАМИКА
И РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ДВИГАТЕЛЕЙ:
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ,
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

Справочное пособие



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Южно-Уральский государственный гуманитарно-
педагогический университет

**М.Л. Хасанова,
В.А. Белевитин, В.В. Руднев**

**ТЕРМОДИНАМИКА
И РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ДВИГАТЕЛЕЙ:
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ,
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

Справочное пособие

Челябинск
2019

УДК 621(03)
ББК 31.311.я2
Х 24

Хасанова, М.Л. Термодинамика и рабочие процессы двигателей: основные понятия, термины, определения, области применения: справочное пособие / М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин, В.В. Руднев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГГПУ, 2019. – 73 с.

ISBN 978-5-907210-44-8

Справочное пособие содержит основные понятия, термины и определения термодинамики и теории двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с общими представлениями и классификацией последних. Рассмотрены приложения основных понятий, терминов и определений термодинамики к описанию принципов действия четырехтактного карбюраторного ДВС и четырехтактного дизельного двигателя, теплового баланса ДВС.

Пособие рекомендуется для студентов, специализирующихся по направлению «Профессиональное обучение», профиль «Транспорт».

Рецензенты: М.С. Дмитриев, д-р технич. наук, профессор
И.А. Полунин, канд. техн. наук, доцент

ISBN 978-5-907210-44-8

© М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин,
В.В. Руднев, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ.....	6
2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	55
2.1. Общие представления. Классификация ДВС.....	55
2.2. Основные понятия и определения ДВС.....	59
2.3. Принцип действия четырехтактного карбюраторного ДВС.....	62
2.4. Принцип работы четырехтактного дизельного двигателя.....	64
2.5. Тепловой баланс ДВС.....	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	67

ВВЕДЕНИЕ

Основы термодинамики были заложены в XIX веке, когда в связи с развитием тепловых двигателей возникла необходимость изучения закономерностей превращения тепла в работу.

А. Эйнштейн дал следующую характеристику термодинамики как науки: «Теория производит тем большее впечатление, чем проще ее предпосылки, чем разнообразнее предметы, которые она связывает, и чем шире область ее применения. Отсюда глубокое впечатление, которое произвела на меня классическая термодинамика. Это единственная физическая теория общего содержания, относительно которой я убежден, что в рамках применимости ее основных понятий она никогда не будет опровергнута (к особому сведению принципиальных скептиков)».

Объектом изучения термодинамики является термодинамическая система – любое макроскопическое тело (любая совокупность макроскопических тел), способное (способных) обмениваться с другими телами (между собой) энергией и (или) веществом. В курсе термодинамики применительно к двигателям внутреннего сгорания (ДВС) состояние макроскопические системы рассматривается лишь в равновесном состоянии, характеризующемся при постоянных внешних условиях неизменностью параметров во времени и отсутствием в системе каких-либо потоков (массы, энергии, заряда и т.д.). В процессе обмена с другими телами (между собой) энергией и (или) веществом системы в термодинамике взаимодействуют друг с другом, между ними устанавливается термодинамический контакт, для описания каждого вводится понятие температуры, как величины, позволяющей описывать термическое равновесие между телами, находящимися в тепловом контакте. Подобным образом вводятся понятия давления при термодинамическом равновесии и других понятий, терминов и определений. Какой бы тип взаимодействия ни суще-

ствовав между системами, он в конечном итоге должен привести системы к такому состоянию, которое в дальнейшем не будет изменяться ни во времени, ни в пространстве, т.е. к равновесному состоянию.

Справочное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальностям, связанным с эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом автомобильного транспорта, и построено в полном соответствии с рабочей программой. Оно нацелено на ознакомление студентов с основными понятиями, терминами, определениями и областями применения методов анализа процессов, происходящих в двигателях современных автотранспортных средств, обоснованному и осознанному подходу к выбору оптимальных режимов эксплуатации ДВС.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ

АБСОЛЮТНОЕ ДАВЛЕНИЕ – давление вещества на поверхность граничащих с ним тел, отсчитываемое от не условного (абсолютного) нуля давления.

АБСОЛЮТНЫЙ НУЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ – нуль градусов по абсолютной температурной шкале, низшая термодинамически возможная температура. По шкале Кельвина нуль градусов соответствует $-273,15^{\circ}$ по стоградусной международной температурной шкале; по шкале Ронкина – $459,67^{\circ}$ по температурной шкале Фаренгейта.

АБСОЛЮТНАЯ (ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ) ТЕМПЕРАТУРА – температура, отсчитываемая по абсолютной (термодинамической) температурной шкале от абсолютного нуля температуры.

АБСОЛЮТНАЯ (ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ) ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА – температурная шкала, которая определяется термодинамическим методом таким образом, что она не зависит от выбора термодинамического вещества. Нулевая точка такой шкалы – абсолютный нуль температуры (низшая термодинамически возможная температура). Для определения абсолютной температурной шкалы используется одна фиксированная точка. С 1954 г. до настоящего времени по решению X генеральной конференции по мерам и весам в качестве такой фиксированной точки используется тройная точка воды – строго определённые значения температуры и давления, когда вода может одновременно и равновесно существовать в виде трёх фаз – в твёрдом, жидком и газообразном состояниях (рис. 1.1). Абсолютными температурными шкалами являются температурная шкала Кельвина и температурная шкала Ренкина, в которых ниже приведено сравнение некоторых точек – точки замерзания воды, средней комнатной температуры и др.

АДИАБАТНЫЙ (АДИАБАТИЧЕСКИЙ) ПРОЦЕСС [от. гр. *adiabatos* – непереходимо] – термодинамический

процесс, в ходе которого рабочее тело (термодинамическая система) не обменивается с другими телами (окружающей средой) энергией в форме теплоты. Термин «адиабатический процесс» ввел в термодинамическую практику шотландский инженер и физик В. Ренкин в 1881 г.

Сравнение некоторых точек в температурных шкалах Фаренгейта, Цельсия и Кельвина

Наименование параметра	Шкалы		
	Фаренгейта	Цельсия	Кельвина
Абсолютный нуль	- 460 °F	-273 °C	0 К
Точка замерзания воды	32 °F	0 °C	273 К
Средняя комнатная температура	68 °F	20 °C	293 К
Нормальная температура тела человека	98,6 °F	37 °C	310 К
Точка кипения воды	212 °F	100 °C	373 К

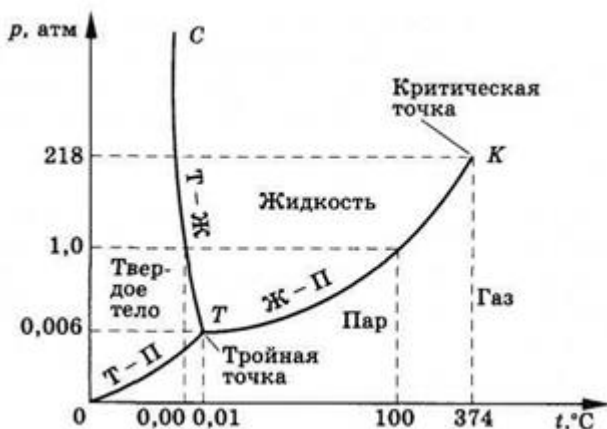


Рис. 1.1 – Тройная точка воды

АДИАБАТА – линия, изображающая адиабатный процесс на какой-либо диаграмме состояния. В диаграмме $p\nu$ (абсолютное давление p , удельный объем ν) при соблюдении условий обратимости (см. Обратимый термодинамический процесс) она

является неравнобокой гиперболой с уравнением $pv^* = \text{idem}$, а в $T-s$ -координатах (абсолютная температура T и удельная энтропия s) представляет собой прямую $s = \text{idem}$. В связи с последним адиабату, изображающую обратимый термодинамический процесс, называют также и изэнтропой. Для идеальных газов показатель адиабаты $\kappa = C_p/C_v$, а для реальных газов он является опытным коэффициентом.

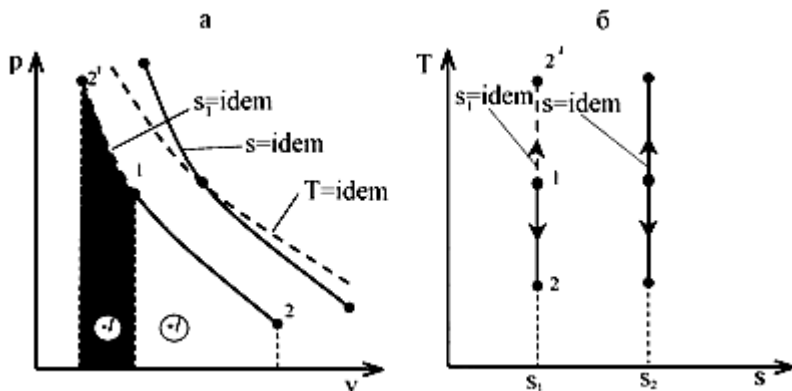


Рис. 1.2 - Диаграммы состояния адиабатного процесса в координатах $p - v$ (а) и $T - s$ (б)

АДИАБАТНАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – термодинамическая система, у которой отсутствует теплообмен с другими системами (с окружающей средой). Понятие об адиабатной системе введено в термодинамическую практику немецким математиком и физиком К. Каратеодори в 1909 г.

АНЕРГИЯ [от греч. ana- противно и energieia – деятельность] – часть энергии теплового потока, которая не может быть превращена в работу в термодинамических процессах при температурах больших, чем температура окружающей среды. Этот термин введен в термодинамическую практику югославским ученым Э. Рантом в 1962 г.

АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ – абсолютное давление атмосферы; измеряется барометром. Открыл существование атмосферного давления итальянский ученый Э. Торричелли в 1643 г.

БАР [от греч. baros - тяжесть, вес] – единица измерения давления в абсолютной системе механических единиц СГС. Соответствует давлению силы в одну дину на поверхность в один квадратный сантиметр. Один бар равен 10^6 дин/см² или 105 Па. (русское обозначение Па – Паскаль, международное: Pa) – единица измерения давления (механического напряжения) в Международной системе единиц (СИ).

БАРОМЕТР [от гр. baros - тяжесть, вес и metroo - измеряю] – прибор для измерения атмосферного (барометрического) давления. Изобретен в 1644 г. итальянским ученым Э. Торричелли.

БАРОМЕТРИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ – давление окружающей среды (например, атмосферы). Измеряется барометром.

БО-ДЕ-РОША ЦИКЛ – идеализированный цикл поршневого ДВС, в котором теплота подводится к рабочему телу при постоянном объеме. Процессы сжатия и расширения в таком цикле являются адиабатными, отвод теплоты происходит по изохоре. Цикл предложен в 1862 г. французом Бо-Де-Роша (рис. 1.3). Соответствует работе идеального (см. Идеальные тепловые машины) двигателя с принудительным воспламенением топлива.

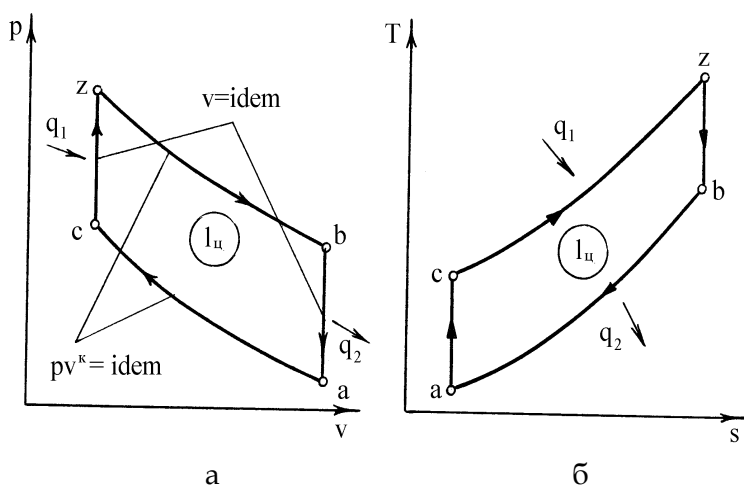


Рис. 1.3 – Бо-Де-Роша-цикл адиабатного процесса в координатах $p - V$ (а) и $T - s$ (б)

БОЙЛЯ-МАРИОТТА ЗАКОН – первый (по хронологии) «газовый» закон, который был установлен Р. Бойлем (англ. физик) совместно с Р. Тоунлеем (1660 г.) и Э. Мариоттом (1779 г., Франция) независимо друг от друга. Может быть сформулирован следующим образом: если изменять объем некоторого постоянного количества идеального газа при $T = idem$, то давление будет меняться в обратно пропорциональной зависимости.

ВАКУУМ [от лат. *vacuum* - пустота] – разница между давлением окружающей среды (барометрическим давлением) и абсолютным давлением рассматриваемой среды в случае, если первое больше второго.

ВАКУУММЕТР [от лат. *vacuum* - пустота и от греч. *metreo* - измеряю] – прибор для измерения вакуума. Измеряет разность между атмосферным и абсолютным давлением газа.

ВАТТ – единица измерения мощности в системе СИ, названная в честь английского изобретателя Дж. Уатта. Равна работе, совершенной за одну секунду (Дж/с). Впервые ватт был принят в качестве практической единицы измерения мощности электрического тока на Втором международном конгрессе электриков в Париже в 1889 г.

ВЕС – сила, с которой тело, покоящееся в поле сил тяжести, действует на подвес или горизонтальную опору, препятствуя свободному падению тела. Численно вес тела (G) равен действующей на него силе тяжести, то есть $G = mg$, где m – масса тела, g – ускорение свободного падения.

ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВТОРОГО РОДА – неосуществимое устройство – двигатель, производящий работу из всей теплоты, которую рабочее тело получает от теплоотдатчика – монотермический двигатель. Термин «вечный двигатель второго рода» введен в 1892 г. немецким физико-химиком и историком науки В. Оствальдом.

ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПЕРВОГО РОДА (ПЕРПЕТУУМ МОБИЛЕ) [от лат. *perpetuum mobile* – вечное движение] – неосуществимое устройство двигатель, который производит полезную

работу без потребления при этом энергии от какого-либо источника. Понятие о вечном двигателе зародилось в XII в. в Индии. Первые проекты относятся к XIII в. (Виллар Д'Оннекур, 1245 г., Англия; Пьер де Марикур, 1269 г., Франция).

ВНЕШНЯЯ ЭНЕРГИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (РАБОЧЕГО ТЕЛА) – сумма энергии движения (кинематической энергии) и энергии положения (потенциальной энергии) термодинамической системы (рабочего тела), рассматриваемой как целое.

ВНУТРЕННЕЕ ДАВЛЕНИЕ – сила взаимного притяжения молекул реального газа.

ВНУТРЕННИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ – параметры, определяющие состояние рабочего тела (термодинамической системы) при данных внешних параметрах.

ВНУТРЕННИЙ АБСОЛЮТНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ – отношение внутренней работы прямого цикла к теплоте, действительно подведенной от теплоотдатчика.

ВНУТРЕННИЙ ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ – отношение внутренней работы прямого цикла к максимальной работе цикла.

ВНУТРЕННЯЯ РАБОТА В ДАННОМ ПРОЦЕССЕ – работа, представляющая собой разницу между максимальной работой и уменьшением этой работы за счет внутренней необратимости рассматриваемого процесса.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ – функция состояния рабочего тела (термодинамической системы), представляющая собой сумму энергии движения (кинетической энергии) и взаимодействия (потенциальной энергии) частиц, составляющих рабочее тело (термодинамическую систему) без кинетической и потенциальной энергии тела (системы) в целом. Впервые была введена в термодинамику в 1850 г. немецким физиком, классиком науки Р. Клаузиусом. Для идеальных газов внутренняя энергия складывается только из энергии движения молекул. Термин «внутренняя энергия» стал общепризнанным в 70-х годах XIX в.

ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ – закон, характеризующий качественную сторону макроскопических процессов преобразования одного вида движения материи в другой (одной формы энергии в другую) и устанавливающий необратимость таких процессов при протекании их с конечной скоростью. Все предложенные формулировки второго закона привести в данном издании не представляется возможным, так как их слишком много. Сущность их сводится в основном к следующему: 1) любой реальный самопроизвольный процесс является необратимым; 2) энтропия любой изолированной системы стремится к максимуму; 3) невозможен процесс, имеющий единственным своим результатом превращение теплоты в работу. Установление и развитие положений второго закона термодинамики связано с именами С. Карно, Р. Клаузиуса, В. Томсона, М. Планка и ряда других ученых.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ – см. Второй закон термодинамики.

ГАЗОВАЯ ПОСТОЯННАЯ – характерная для каждого газа постоянная величина, входящая в уравнение состояния для одного или нескольких килограммов идеального газа. Численно равна отношению произведения абсолютного давления и удельного объема к абсолютной температуре. По физическому смыслу представляет собой работу 1 кг идеального газа в случае изменения его температуры на один градус при постоянном давлении. Для различных идеальных газов газовая постоянная различна.

ГЕЙ-ЛЮССАКА ЗАКОН (1802 г.) (по имени французского физика и химика Ж. Гей-Люссака) – закон теплового расширения газов. Свидетельствует о том, что при измерении температуры некоторого постоянного количества идеального газа в условиях неизменного давления объем меняется в прямо пропорциональной зависимости: $T/V = idem$.

ГИГРОМЕТР [от греч. higrós - влажный и metreo - измеряю] – прибор для определения влажности воздуха (или какого-либо другого газа). Существует несколько типов гигрометров (весо-

вые, волосные, пленочные и др.), с помощью которых устанавливается как абсолютная, так и относительная влажность.

ГОМОГЕННАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА [от греч. *homog-enos* - однородный] – термодинамическая система, состоящая из одной фазы вещества (одного или нескольких).

ДАВЛЕНИЕ – сила, как результат ударов беспорядочно движущихся молекул рабочего тела и действующая по нормали к поверхности граничащих с ним тел, отнесенная к единице площади этой поверхности. Различают абсолютное, избыточное (манометрическое) давление и разрежение (вакуум). Наиболее часто термин «давление» употребляется в смысле «абсолютное давление».

ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННОГО ПАРА – давление пара, находящегося в равновесии с соответствующей жидкой или кристаллической (твердой) фазой. Давление насыщенного пара является функцией температуры.

ДАЛЬТОНА ЗАКОН (1803 г.) – закон, отражающий некоторые особенности смесей идеальных газов. Возможные формулировки: 1) давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений компонентов, составляющих газовую смесь; 2) если смесь идеальных газов состоит из компонентов, не вступающих между собой в химическое взаимодействие, то каждый газ ведет себя так, как будто он один занимает весь объем.

ДВИГАТЕЛИ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ – тепловые двигатели, у которых подвод теплоты к рабочему телу осуществляется извне. Примерами такого двигателя могут служить паросиловая установка, двигатель Стирлинга.

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ДВС) – тепловые двигатели, в которых процесс подвода теплоты к рабочему телу осуществляется посредством сжигания топлива внутри самого двигателя. Таким образом, в ДВС рабочим телом являются продукты сгорания. Примерами двигателя внутреннего сгорания являются поршневые ДВС, газотурбинные установки, реактивные и ракетные двигатели.

ДВУХТАКТНЫЕ ПОРШНЕВЫЕ ДВС – поршневые ДВС, в которых рабочий цикл совершается за два хода поршня (за один оборот коленчатого вала двигателя).

ДЖОУЛЬ – единица измерения энергии в системе СИ, названная в честь английского физика Д. Джоуля, численно равна работе, совершаемой силой в один Ньютон на пути в один метр в направлении действия этой силы.

ДЕТОНАЦИОННОЕ СГОРАНИЕ (ДЕТОНАЦИЯ) – объемное самовоспламенение и последующее взрывное сгорание негоревших порций рабочей смеси перед фронтом основного пламени.

ДЖОУЛЯ ЗАКОН (1845 г.) (по имени английского физика Д. Джоуля) – закон, констатирующий зависимость внутренней энергии идеального газа только от его температуры.

ДЖОУЛЯ ПРОЦЕСС (по имени англ. физика Д. Джоуля) – адиабатный процесс расширения в пустоту. Этот процесс является предельно необратимым, т.к. рабочее тело расширяется без совершения внешней работы.

ДИАГРАММА $p-v$ – диаграмма состояния, на которой по оси ординат откладываются абсолютное давление, по оси абсцисс – удельный объем. Особенностью этой диаграммы (рис. 1.2 на стр. 8) является то, что площадь под линией изображенного на ней обратимого термодинамического процесса эквивалентна совершенной в нем удельной работе. Диаграмму $p-v$ часто называют рабочей диаграммой. Она введена в термодинамическую практику французским физиком Б. Клапейроном в 1834 г.

ДИАГРАММА $T-s$ – диаграмма состояния, на которой по оси ординат откладываются абсолютная температура, по оси абсцисс – удельная энтропия (см. рис. 1.2 на стр. 8). Особенностью этой диаграммы является то, что площадь под линией обратимого термодинамического процесса эквивалентна переданной в нем удельной теплоте, поэтому диаграмму $T-s$ часто называют тепловой диаграммой. Она введена в термодинамическую практику американским физиком Д. Гиббсом в 1873 г.

ДИЗЕЛЯ ЦИКЛ – идеализированный цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном давлении (рис. 1.4). Процессы сжатия и расширения – адиабатные, процесс отвода теплоты – изохорный. Соответствует работе идеального компрессорного дизеля. Компрессорный дизель был построен немецким инженером Р. Дизелем (ряд патентов 1892-1895 гг.).

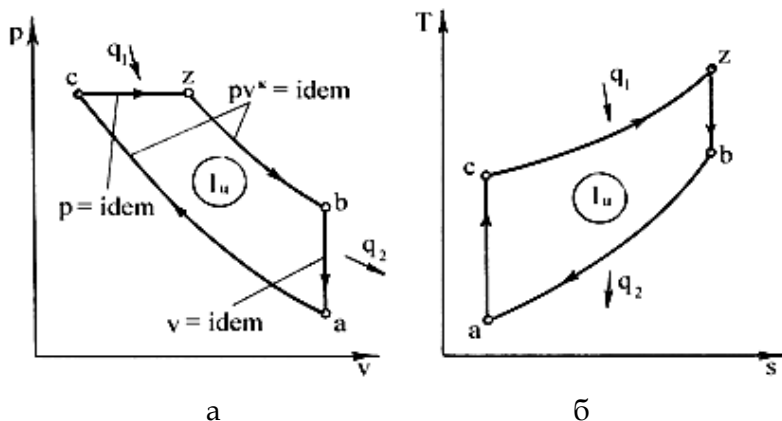


Рис. 1.4 – Цикл Дизеля в координатах p-v (а) и T-s (б)

ДИССОЦИАЦИЯ [от лат. dissociatio – разъединение, разделение] – разложение молекул вещества на составные части. Различают термическую диссоциацию, электролитическую диссоциацию и др.

ДИФФУЗОР [от лат. diffusio – распространение, растекание] – канал, в котором скорость потока в направлении его движения уменьшается, что сопровождается увеличением давления. Используется для сжатия движущихся газов (паров). При скоростях, не превышающих скорость звука, площадь поперечного сечения диффузора вдоль потока возрастает, а при сверхзвуковых – уменьшается.

ДРОССЕЛИРОВАНИЕ (ГАЗА, ПАРА) – необратимый термодинамический процесс расширения, который сопровождается снижением давления газа или пара при движении его через

какое-либо "местное" сопротивление в канале, трубопроводе или через специальное устройство (вентиль задвижку, шайбу и т. п.) и не сопровождается совершением внешней работы. Различают адиабатное и изотермическое дросселирование.

ДРОССЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ – изменение температуры рабочего тела в процессе аппаратного дросселирования. Различают дифференциальный и интегральный дроссельный эффект. Как тот, так и другой может быть положительным и отрицательным.

ЖИДКОСТНЫЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ (ЖРД) – реактивный двигатель, работающий на смеси жидкого топлива (керосина, спирта, бензина и др.) и жидкого окислителя (жидкого кислорода, перекиси водорода). В ЖРД сгорание топлива происходит независимо от внешней атмосферы. Схема ЖРД разработана русским ученым К.Э. Циолковским в 1903 г.; первые ЖРД были созданы американским ученым Р. Годпаром (1923 г.) и немецким ученым Г. Обертом (1929 г.).

ЗАКОН ТЕРМИЧЕСКОГО (ТЕПЛОВОГО) РАВНОВЕСИЯ – один из четырех основных законов термодинамики. Может быть сформулирован следующим образом: если системы I и II находятся в тепловом равновесии с системой III, то системы I и II будут также находиться в тепловом равновесии друг с другом. По предложению Р. Фаулера и Э. Гутенгейма закон термодинамического равновесия называют нулевым законом термодинамики.

ЗАКРЫТАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – термодинамическая система, которая не обменивается с окружающей средой веществом.

ЗАМКНУТЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – см. ЦИКЛ

ИДЕАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ (УСТАНОВКИ) – тепловые двигатели или холодильные (криогенные) установки, в которых все процессы обратимы и, кроме того, соблюдаются следующие условия: 1) отсутствует теплообмен рабочего тела с окружающей средой в процессах сжатия, расширения; 2) теплоемкость рабочего тела не зависит от температуры; 3) не проис-

ходит изменения химического состава и количества рабочего тела за время осуществления цикла.

ИДЕАЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН – 1) циклы, характеризующиеся максимальной термодинамической эффективностью, т. е. циклы, у которых эксергетический КПД равен единице; 2) нереконструируемый термин, соответствующий понятию «идеализированные циклы тепловых машин».

ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ – газ, у которого молекулы условно приняты за материальные точки, не имеющие объема (но имеющие массу - молекулярную массу соответствующего газа) и не взаимодействующие между собой. Термин «идеальный газ» введен немецким физиком Р. Клаузиусом в 1854 г. в термодинамическую практику вместо термина «совершенный» газ.

ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ – разница между абсолютным и барометрическим давлениями в случае, когда первое больше второго.

ИЗОБАРНЫЙ (ИЗОБАРИЧЕСКИЙ) ПРОЦЕСС [от гр. isos - разный, одинаковый и baros - тяжесть, вес] – термодинамический процесс, в ходе которого давление рабочего тела не меняется.

ИЗОБАРА – линия, изображающая на диаграмме состояния изобарный процесс. Обратимый изобарный процесс в координатах $p-v$ – прямая линия с уравнением $p=const.$, а в координатах $T-s$ для идеальных газов изобара - логарифмическая кривая, соответствующая уравнению

$$\Delta S = c_p \ln(T/T_1), \quad (1)$$

где T_1, T – начальное и конечное значения абсолютной температуры рабочего тела; c_p – удельная массовая теплоемкость при постоянном давлении. Для реальных газов в координатах $T-s$ изобара обратимого процесса в области влажного пара совпадает с изотермой и представляет собой прямую; в области перегрева – логарифмическую кривую с уравнением (1).

ИЗОБАРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – теплоемкость вещества в изобарном термодинамическом процессе.

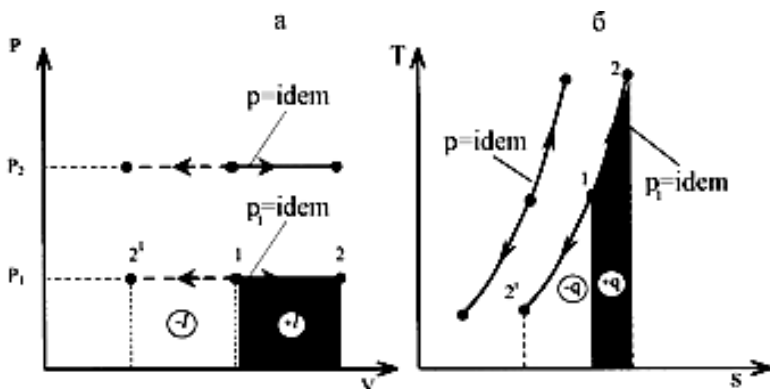


Рис. 1.5 – Обратимый изобарный процесс в координатах $p-v$ (а) и $T-s$ (б)

ИЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС [от гр. *isos* - равный, одинаковый и *dinamikos* - относящийся к силе, силовой] – термодинамический процесс, в ходе которого не меняется внутренняя энергия рабочего тела. Для идеального газа изодинамический процесс совпадает с изотермическим.

ИЗОЛИРОВАННАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА [от фр. *isoler* - разобщать] – термодинамическая система, которая находится в воображаемой оболочке, исключающей обмен энергией с окружающей средой.

ИЗОТЕРМА [от гр. *isos* - равный, одинаковый и *therme* - теплота, жар] – линия, изображающая в диаграмме состояния изотермический процесс: в координатах $p-v$ для идеального газа изотерма обратимого процесса имеет вид равнобокой гиперболы (рис. 1.6а, уравнение $p-v = idem$). Для реальных газов в области влажного пара изотерма обратимого процесса – прямая линия, совпадающая с изобарой обратимого процесса; в области перегрева изотерма изображается кривой с выпуклостью к оси абсцисс. В координатах $T-s$ изотерма – прямая линия (рис. 1.6б, уравнение $T = idem$).

ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – термодинамический процесс, в ходе которого температура рабочего тела остается постоянной. Термин «изотермический» введен в термодинамическую практику шотландским инженером и физиком В. Ренкиным.

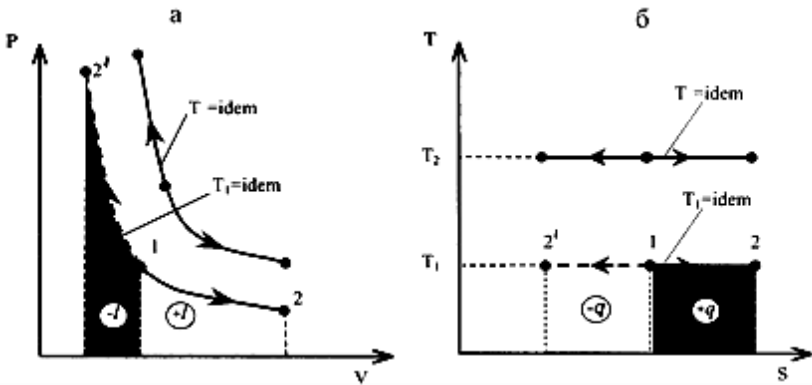


Рис. 1.6 - Диаграммы состояния изотермического процесса в координатах p - v (а) и T - s (б)

ИЗОХОРА [от греч. *isos* - равный, *choras* - пространство] - линия, изображающая на диаграмме состояния изохорный процесс. Обратимый изохорный процесс в координатах p - v - прямая линия (рис. 1.7а, $v = \text{idem}$), в координатах T - s для идеального газа изохора - логарифмическая кривая, определяемая уравнением

$$\Delta S = c_v \ln(T/T_1), \quad (2)$$

где T_1 , T - начальная и текущая абсолютная температура рабочего тела; c_v - удельная массовая теплоемкость при постоянном объеме. Изохора обратимого процесса для реальных газов (паров) в T - s координатах изображается кривой линией (рис. 1.7б), которая в области влажного пара направлена выпуклостью вверх, в области перегрева - вниз.

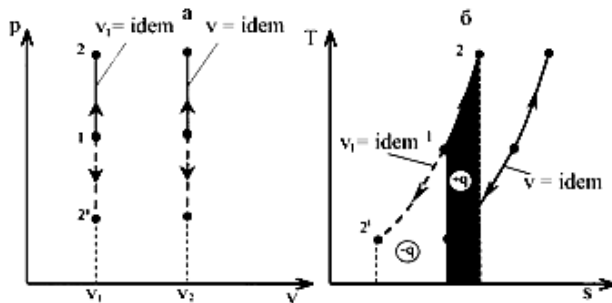


Рис. 1.7 - Диаграммы состояния изохорного процесса в координатах p - v (а) и T - s (б)

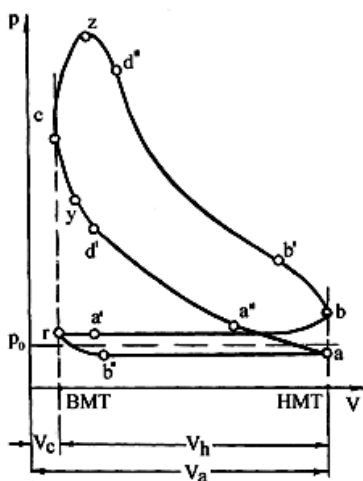
ИЗОХОРНЫЙ (ИЗОХОРИЧЕСКИЙ) ПРОЦЕСС - термодинамический процесс, в ходе которого не меняется объем рабочего тела.

ИЗОХОРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ - теплоемкость вещества в изохорном термодинамическом процессе.

ИЗОЭНТРОПИЙНЫЙ ПРОЦЕСС - термодинамический процесс, протекающий при постоянной энтропии. Изоэнтропийный процесс совпадает с обратимым адиабатным процессом.

ИСПАРЕНИЕ - процесс парообразования, происходящий только со свободной поверхности жидкости и протекающий при любой температуре.

ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА - графическая зависимость давления газов в цилиндре от положения поршня (рис. 1.8, т.е. от изменения объема) или угла поворота φ коленчатого вала (ПКВ, рис. 1.9).



Процессы: (r-a) - впуск, (a-c) - сжатие, (c-z) - сгорание, (z-b) - расширение, (b-r) - выпуск

ВМТ - верхняя мертвая точка;

НМТ - верхняя мертвая точка;

V_c - объем камеры сгорания;

V_a - полный объем цилиндра;

V_h - рабочий объем цилиндра;

D - диаметр цилиндра; S - ход поршня; ϵ - степень сжатия.

$$V_a = V_h + V_c.$$

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S, \quad \epsilon = \frac{V_a}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}.$$

Рис. 1.8 - Зависимость давления газов P в цилиндре ДВС от положения поршня

ИСТИННАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ - значение теплоемкости в какое-либо мгновение процесса, определяемое отношением

$\delta Q/dT$, где δQ - элементарное количество теплоты, переданной в процессе, dT - бесконечно малое изменение температуры.

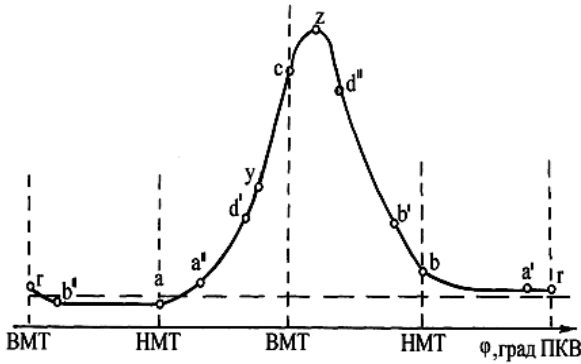


Рис. 1.9 – Зависимость давления газов P в цилиндре ДВС от угла поворота ϕ коленчатого вала

КАЖУЩАЯСЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА СМЕСИ – см.

Средняя молекулярная масса смеси.

КАРНО ЦИКЛ – обратимый цикл (рис. 1.10), состоящий из двух изотерм и двух адиабат (изоэнтроп). Характеризуется наибольшей эффективностью при взаимном преобразовании теплоты и работы среди любых других циклов, совершающихся в том же интервале температур. Предложен французским ученым и инженером С. Карно в 1824 г.

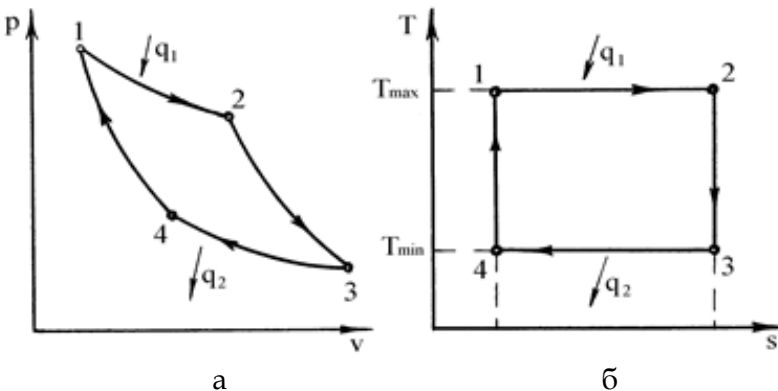


Рис. 1.10 – Цикл Карно в координатах $p - V$ (а) и $T - s$ (б)

КЕЛЬВИН (К) – единица измерения температуры по абсолютной (термодинамической) температурной шкале Кельвина. Кельвин равен $1/273,16$ абсолютной температуры в тройной точке воды. По величине совпадает с градусом Цельсия.

КЕЛЬВИНА ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА – абсолютная температурная шкала, предложенная английским ученым В. Томсоном (лордом Кельвином) в 1818 г. Тройная точка воды в шкале Кельвина соответствует $273,16$ К.

КИЛОГРАММ-СИЛА (кг, кгс) – единица измерения силы в системе МКГСС, определяемая эталоном $1 \text{ кг} = 9,81 \text{ Н}$.

КИПЕНИЕ ЖИДКОСТИ – процесс интенсивного парообразования, происходящий во всем объеме жидкости, с образованием паровых пузырьков. Кипение возможно только при вполне определенной температуре (температуре кипения). Величина температуры кипения однозначно определяется давлением жидкости и, стало быть, окружающей среды.

КЛАПЕЙРОНА УРАВНЕНИЕ (1634 г.) – уравнение состояния идеального газа, написанное для 1 кг или $m \text{ кг}$ рабочего тела: $pV = RT$; $pV = mRT$, где p – абсолютное давление, T – абсолютная температура, v , V – удельный объем и объем газа, R – газовая постоянная.

КЛАПЕЙРОНА-МЕНДЕЛЕЕВА УРАВНЕНИЕ (1874 г.). (по имени французского физика Б. Клапейрона и русского ученого Д.И. Менделеева) – уравнение состояния идеального газа, написанное для одной или M килограмм-молекул рабочего тела: $p\Omega = R_p T$; $p\Omega M = MR_p T$, где Ω – объем одной килограмм-молекулы, R_p – универсальная газовая постоянная, p , T – абсолютное давление и абсолютная температура.

КОЛИЧЕСТВО РАБОТЫ – мера энергии, передаваемой в форме работы.

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ – мера энергии, передаваемой в форме теплоты.

КОМБИНИРОВАННЫЙ ЦИКЛ – совокупность двух циклов, преследующая цель повышения эффективности использования теплоты, полученной от теплоотдатчика. В зависимости от

принципов использования этой теплоты различают: бинарные циклы, составные циклы и частично бинарные циклы.

КОМПОНЕНТ [от лат. *componens* - составляющий] – всякое независимое химически отличающееся вещество, входящее в термодинамическую систему, способное при выделении из нее или при переходе из одной части в другую к самостоятельному существованию независимо от выделившегося его количества.

КОМПРЕССОР [от лат. *compressus* - сжимание] – машина, предназначенная для сжатия различных газов и их смесей.

КОНДЕНСАЦИЯ [от лат. *condensatio* - сгущение] – явление, противоположное процессу испарения жидкости и заключающееся в образовании жидкости по всему объему, занимаемому насыщенным паром.

КОНФУЗОР – суживающееся сопло, т.е. канал, в котором поток может быть разогнан до скорости звука.

КОНЦЕНТРАЦИЯ [от лат. *con* - с и *centrum* - центр, средоточие] – величина, характеризующая относительное содержание данной составляющей в смеси. Под составляющей в общем случае понимаются вещества, ионы, радикалы.

КООРДИНАТЫ СОСТОЯНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ – физические величины, которые изменяются при наличии того или иного взаимодействия термодинамической системы с окружающей средой и остаются постоянными при его отсутствии. Координаты состояния являются признаком того или иного взаимодействия. При наличии данного вида взаимодействия изменяется соответствующая координата, при отсутствии - остается неизменной. Примерами координат состояния могут служить: объем (при механическом взаимодействии), энтропия (при тепловом взаимодействии), электрический заряд (при электрическом взаимодействии) и т. д.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД) [от лат. *co* (*sum*)-совместно и *efficient* - производящий] – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ – отношение энергии, полученной от установки в форме работы, к энергии, затраченной в форме тепла.

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛА – см. Эксергетический КПД.

КРИОГЕННЫЕ УСТАНОВКИ [от гр. *kryos* - холод, лед и *genos* - род, происхождение] – трансформаторы теплоты, создающие и поддерживающие температуру ниже 120 К.

КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА – скорость, соответствующая критическим параметрам. Численно равна скорости звука в рассматриваемой среде при соответствующих (критических) параметрах, т. е. местной скорости звука.

КРИТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА – 1) температура вещества в критическом состоянии; 2) температура движущегося рабочего тела в сечении канала, где скорость течения равняется местной скорости звука.

КРИТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ – 1) давление вещества в критической точке; 2) давление движущегося рабочего тела (потока) в сечении канала, где скорость течения равняется местной скорости звука.

КРИТИЧЕСКОЕ СЕЧЕНИЕ КАНАЛА – сечение канала, в котором скорость движения потока рабочего тела становится равной местной скорости звука.

КРИТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ – состояние вещества (или смеси веществ), возникающее при исчезновении различия между фазами, находящимися в равновесии друг с другом (например, между жидкостью и ее паром; между двумя жидкостями и др.). Наличие критического состояния веществ было установлено в 1861 г. русским ученым Д.И. Менделеевым.

КРУГОВОЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – (термин предложен французским физиком Б. Клапейроном) – см. ЦИКЛ.

ЛАВАЛЯ СОПЛО – геометрическое сопло, в первой (суживающейся) части которого происходит увеличение скорости по-

тока рабочего тела до местной скорости звука и во второй (расширяющейся) части - дальнейшее увеличение скорости.

МАЙЕРА УРАВНЕНИЕ (по имени немецкого врача и физика Р. Майера) – зависимость, устанавливающая количественное соотношение между удельными массовыми теплоемкостями при постоянном давлении и при постоянном объеме: $c_P - c_V = R$, где R - газовая постоянная.

МАКСИМАЛЬНАЯ РАБОТА [от лат. *maximas* -наибольший] – работа, которая может быть произведена рабочим телом (термодинамической системой) в обратимом термодинамическом процессе.

МАНОМЕТР [от гр. *manos* - редкий, неплотный и *metreo* - измеряю] – прибор для измерения давления.

МАНОМЕТРИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ – давление, измеряемое манометром; см. Избыточное давление.

МАССОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ КОМПОНЕНТА В СМЕСИ (g_i) – концентрация, выраженная отношением массы компонента в данной смеси к массе всей смеси:

$$g_i = \frac{m_i}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (3)$$

где m_i - масса i -го компонента.

МАССОВАЯ УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – количество теплоты, которое нужно передать, чтобы изменить температуру 1 кг вещества на один градус.

МАССОВЫЙ СПОСОБ ЗАДАНИЯ СОСТАВА СМЕСИ – способ задания состава смеси, заключающийся в задании массовых концентраций компонентов в смеси.

МАХА ЧИСЛО (по имени австрийского физика Э. Маха) – отношение скорости течения V потока рабочего тела к местной скорости звука a :

$$M = V / a.$$

Если $M < 1$, то поток называют дозвуковым, если $M > 1$, то – сверхзвуковым, а при $M = 1$ – звуковым. Сечение, в котором скорость потока равна местной скорости звука называется критическим и

все параметры потока в этом случае также являются критическими. В газовой динамике наряду с числом Маха используют безразмерную (приведенную) скорость λ , которую также часто называют скоростным коэффициентом. Число λ равно отношению скорости потока V в данной точке к величине критической скорости $a_{кр}$, общей для всего изоэнтропного потока, т.е.:

$$M = V / a_{кр}.$$

Критической скоростью называется такая скорость течения газа, которая равна местной скорости звука. Между числами M и λ существует однозначная связь. Число Маха характеризует степень преобразования энтальпии в кинетическую энергию потока.

МГНОВЕННАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – см. Истинная теплоемкость.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРАКТИЧЕСКАЯ СТОГРАДУСНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА (МПТШ) – температурная шкала, основанная на шести фиксированных значениях температуры (на шести реперных точках):

точка кипения кислорода	182,97°;
тройная точка воды	0,01°;
точка кипения воды	100,00°;
точка кипения серы	444,60°;
точка затвердевания серебра	960,80°;
точка затвердевания золота	1063,00°.

МПТШ принята VII генеральной конференцией мер и весов в 1927 г. и усовершенствована в 1948 и 1960 гг. Температура, измеренная по этой шкале, выражается в градусах Цельсия и обозначается °С.

МЕСТНАЯ СКОРОСТЬ ЗВУКА – скорость распространения звука в среде при данных значениях параметров состояния.

МЕГАСТАБИЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ [от гр. meta - после, за, через и от лат. stabilis – устойчивый] – см. Состояние относительно устойчивого равновесия.

МЕХАНИЧЕСКИ ИЗОЛИРОВАННАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – термодинамическая система, которая не

может обмениваться с окружающей средой энергией в форме работы.

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА – работа, совершаемая рабочим телом (термодинамической системой) и представляющая собой результат изменения объема рабочего тела (системы) (см. Работа изменения объема) или его (ее) перемещения.

МЕХАНИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ – состояние термодинамической системы (рабочего тела), при котором во всех ее частях выполняется условие $p = \text{idem}$.

«**МЕХАНИЧЕСКОЕ**» **СОПЛО** – сопло, в котором увеличение скорости потока рабочего тела происходит за счет обмена энергией с внешними телами в форме работы. Так, для разгона рабочего тела до звуковой скорости вначале работа отводится вовне, а затем, начиная с момента, когда скорость потока достигнет значения местной скорости звука, работа подводится от внешних источников.

МОДУЛЬ ОБЪЕМНОЙ УПРУГОСТИ – величина, обратная изотермическому коэффициенту сжимаемости.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА – отношение массы молекулы данного вещества к так называемой атомной единице массы. С 1961 г. за атомную единицу массы принята одна двенадцатая числа массы изотопа углерода с массовым числом 12 (т. е. содержащего в ядре шесть протонов и шесть нейтронов).

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ОБЪЕМ – объем, который занимает одна килограмм-молекула вещества.

МОЛЯРНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ КОМПОНЕНТА В СМЕСИ – концентрация, выраженная отношением числа килограмм-молекул компонента в смеси к общему количеству килограмм-молекул смеси.

МОЛЯРНАЯ УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – количество теплоты, которое нужно передать, чтобы изменить температуру одной килограмм-молекулы вещества на один градус.

МОЛЯРНЫЙ СПОСОБ ЗАДАНИЯ СОСТАВА СМЕСИ – способ задания состава смеси, заключающийся в задании мольных концентраций компонентов смеси. Задание состава смеси иде-

альных газов по мольному составу аналогично заданию ее по объемному составу.

МОНОТЕРМИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ [от гр. monos - один, единственный] – двигатель с одним источником теплоты - см. Вечный двигатель второго рода.

МОЩНОСТЬ – отношение работы к промежутку времени, в течение которого она совершается. За единицу мощности принимается мощность такой равномерно работающей системы, которая в единицу времени совершает единицу работы. В системе СИ единица мощности - Ватт (Джоуль в секунду), в системе МКГСС - килограммометр в секунду (кгм/с).

НАГРЕВАНИЕ – процесс изменения состояния вещества, характеризующийся хотя бы одним из двух признаков: подводом теплоты или повышением температуры.

НАСЫЩЕННЫЙ ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ – смесь сухого воздуха с насыщенным водяным паром.

НАСЫЩЕННЫЙ ПАР – пар, который находится в равновесии с жидкостью, т.е. имеет с ней одинаковые давление и температуру.

НЕИЗОЛИРОВАННАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – термодинамическая система, которая может обмениваться с окружающей средой энергией и в форме теплоты, и в форме работы.

НЕНАСЫЩЕННЫЙ ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ – смесь сухого воздуха с перегретым водяным паром.

НЕОБРАТИМЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – термодинамический процесс, после которого рабочее тело (термодинамическая система) и взаимодействующие с ним внешние тела не могут быть возвращены в начальное состояние без затраты работы.

НЕОБРАТИМЫЙ ЦИКЛ – цикл, в котором хотя бы один из составляющих его процессов необратим.

НЕРАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ – состояние рабочего тела (термодинамической системы), в котором отсутствует равновесие, т.е. в различных точках тела (системы) одноименные пара-

метры имеют различные значения и возможно наличие потоков, вещества и энергии.

НЕРАВНОВЕСНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – термодинамический процесс, проходящий через неравновесные состояния.

НЕСТАЦИОНАРНОЕ СОСТОЯНИЕ – состояние рабочего тела (термодинамической системы), при котором распределение значений параметров состояния изменяется во времени.

НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ТЕЧЕНИЕ – течение рабочего тела, при котором не выполняются какие-либо условия установившегося течения – см. Установившееся течение.

НЕУСТОЙЧИВОЕ РАВНОВЕСИЕ – состояние рабочего тела (термодинамической системы), при котором всякое бесконечно малое воздействие вызывает не бесконечно малое изменение этого состояния.

НИЖНИЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛОТЫ – нерекондуемый термин, соответствующий понятию «теплоприемник» в процессах, происходящих при температурах, больших, чем температура окружающей среды ($T > T_0$). В процессах, протекающих при $T < T_0$, нижним источником теплоты часто называют тело, от которого теплота подводится к рабочему телу (т.е. «теплоотдатчик»).

НОРМАЛЬНОЕ СОПЛО – сопло, у которого выходное сечение перпендикулярно оси канала.

НОРМАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ – давление, равное одной технической атмосфере, и температура 15 °С.

НОРМАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ – давление, равное одной физической атмосфере, и температура 0 °С.

НУЛЕВАЯ АДИАБАТА – адиабата, проходящая через нулевое состояние.

НУЛЕВАЯ ИЗОТЕРМА – изотерма с температурой, равной абсолютному нулю температуры.

НУЛЕВОЕ СОСТОЯНИЕ – состояние рабочего тела (термодинамической системы) при нулевом давлении и нулевой температуре.

НУЛЕВОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ – см. Закон термического (теплового) равновесия.

НЬЮТОН – единица силы в системе СИ. Один Ньютон определяется как сила, сообщающая массе в 1 кг ускорение в 1 м/с.

ОБРАТИМЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – термодинамический процесс, при совершении которого рабочее тело (термодинамическая система) и окружающая среда (т. е. вся система взаимодействующих тел), будучи выведены из своего первоначального состояния, в любой момент процесса могут быть возвращены в него через те же состояния, но в обратной последовательности без появления в рабочем теле (термодинамической системе) и окружающей среде каких-либо остаточных энергетических изменений.

ОБРАТИМЫЙ ЦИКЛ – цикл, состоящий только из обратимых термодинамических процессов.

ОБРАТНЫЙ ЦИКЛ – цикл, в результате которого теплота переходит от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой за счет затраты работы. По обратным циклам работают трансформаторы теплоты.

ОБЪЕМНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ КОМПОНЕНТА В СМЕСИ (r_i) – концентрация, выраженная отношением парциального объема компонента (V_i) к объему смеси ($V_{см}$): $r_i = V_i / V_{см}$.

ОБЪЕМНАЯ УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – количество теплоты, которое нужно передать, чтобы изменить температуру единицы объема вещества на один градус. В справочниках обычно приводятся данные для 1 м³.

ОБЪЕМНЫЙ СПОСОБ ЗАДАНИЯ СОСТАВА СМЕСИ – способ задания состава смеси, заключающийся в задании объемных концентраций компонентов в смеси. Задание состава смеси идеальных газов по объемному составу аналогично заданию ее по молярному составу.

ОДНОРОДНАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – термодинамическая система, имеющая во всех своих частях одинаковые свойства.

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА – совокупность тел, не входящих в рассматриваемую термодинамическую систему. Существует

часть среды, характеризующаяся тем, что в ней нет никаких разностей потенциалов термодинамического состояния, а ее размеры настолько велики, что любое взаимодействие системы не может изменить ее состояния. Эта «равновесная» часть окружающей среды сама по себе не может быть источником энергии или вещества. Наряду с этим в окружающей среде могут находиться объекты, отличающиеся от этой «равновесной» части по величине тех или иных потенциалов (например, температуры, давления и т. п.) и способные служить источником или приемником энергии и вещества.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ – см. Термические параметры состояния.

ОТКРЫТАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – термодинамическая система, которая может обмениваться веществом и энергией с окружающей средой (либо непрерывно, либо периодически).

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА ИЛИ ДРУГОГО ГАЗА – отношение абсолютной влажности к плотности сухого насыщенного водяного пара (ВП) при той же температуре (а при температурах, больших температуры насыщения ВП – при давлении смеси, к плотности перегретого пара той же температуры и давления).

ОТТО ЦИКЛ – идеализированный цикл поршневого ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме (рис. 1.11). Процессы сжатия и расширения – адиабатные, процесс; отвода теплоты – изохорный. Соответствует работе идеального (см. Идеальные тепловые машины) карбюраторного двигателя, построенного немецким механиком Н. Отто (ряд патентов 1872-1874 гг.).

ОХЛАЖДЕНИЕ – процесс изменения состояния вещества, характеризующийся хотя бы одним из двух признаков: отводом теплоты или понижением температуры.

ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ [от гр. *parametron* – отмеривающий] – характеристики состояния вещества (рабочего тела, термодинамической системы, окружающей среды).

ПАРООБРАЗОВАНИЕ – фазовый переход вещества из жидкого в парообразное состояние.

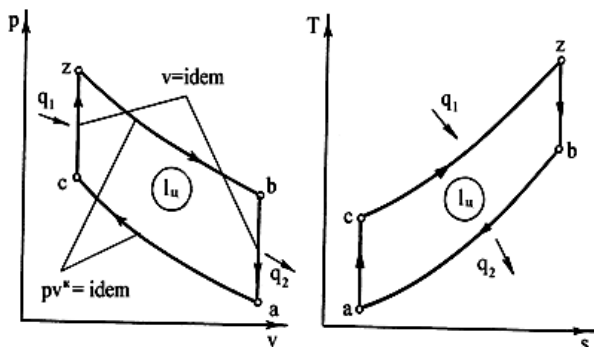


Рис. 1.11 – Идеализированный Отто-цикл поршневого ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме в координатах $p - \dot{V}$ (а) и $T - s$ (б)

ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ [от лат. partialis - частичный, отдельный] – часть общего давления смеси различных газов, которое создается данным отдельным компонентом.

ПАРЦИАЛЬНЫЙ ОБЪЕМ – объем компонента при температуре и давлении смеси.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ – закон сохранения энергии, установление которого связано с именами Р. Майера, Г. Гельмгольца и Д. Джоуля. Термин «Закон сохранения энергии» введен Г. Гельмгольцем – «Erhaltung der Kraft». Применительно к технической термодинамике первый закон может быть сформулирован в виде равенства: $\Delta U + Q + L = 0$ – для обратимых и $\Delta U + Q + Q_{\text{тр}} + L = 0$ – для необратимых термодинамических процессов с «неподвижными» телами (т.е. телами, у которых центр тяжести практически неподвижен). Впервые подобную количественную формулировку первого закона в виде уравнения, связывающего внутреннюю энергию, теплоту и работу, дал немецкий физик Р. Клаузиус. Для потока рабочего тела уравнение первого закона имеет вид: $\Delta I + Q + L_{\text{техн}} = 0$ – при отсутствии трения и $\Delta I + Q + Q_{\text{тр}} + L_{\text{техн}} + L_{\text{тр}} = 0$ – при наличии трения. В приведенных формулах U – внутренняя энергия, I – энтальпия, Q –

энергия, переданная в форме теплоты, L – энергия, переданная в форме работы, $L_{\text{техн}}$ – техническая работа, $L_{\text{тр}}$ и $Q_{\text{тр}}$ – работа и теплота трения.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ – см. Первый, закон термодинамики.

ПЕРЕГРЕТЫЙ ПАР – пар, не содержащий жидкости и имеющий температуру большую, чем температура кипения при данном давлении.

ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫЙ ПАР – см. Пересыщенный пар.

ПЕРЕСЫЩЕННЫЙ ПАР – пар, имеющий давление больше, чем давление насыщенного пара при той же температуре. Пересыщенный пар находится в состоянии относительно устойчивого равновесия. Иногда пересыщенный пар называют «переохлажденным паром».

ПЛОТНОСТЬ – отношение массы однородного тела к его объему.

ПОКАЗАТЕЛЬ АДИАБАТЫ (ОБРАТИМОГО ПРОЦЕССА) – отношение теплоемкостей при постоянном давлении (C_p) и при постоянном объеме (C_v). Показатель обратимой адиабаты часто называют коэффициентом Пуассона, а иногда ещё фактором изоэнтропийного расширения, который обозначается греческой буквой γ (гамма) или κ (капша).

ПОЛИТРОПНЫЕ ПРОЦЕССЫ [от гр. *poli* – много и *tropos* – путь] – термодинамические процессы (рис. 1.12 и 1.13) при неизменной теплоемкости и неизменном (качественно и количественно) энергобалансе во все время совершения процесса.

ПОЛИТРОПА – линия, изображающая на какой-либо диаграмме состояния политропный процесс. Политропы обратимых процессов с идеальными газами в диаграмме $p-v$ описываются уравнением $p v^n = \text{idem}$ (где n – показатель политропы). В диаграмме $T-s$ связь между энтропией и температурой имеет вид $\Delta s = c_n \ln(T/T_1)$ (c_n – удельная массовая теплоемкость в рассматриваемом политропном процессе, T_1 , T – начальное и текущее значения температуры рабочего тела).

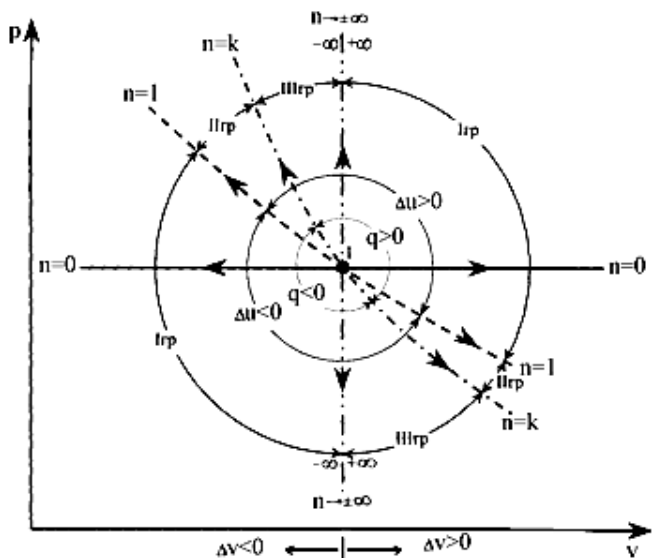


Рис. 1.12 - Политропный процесс в координатах $p - v$

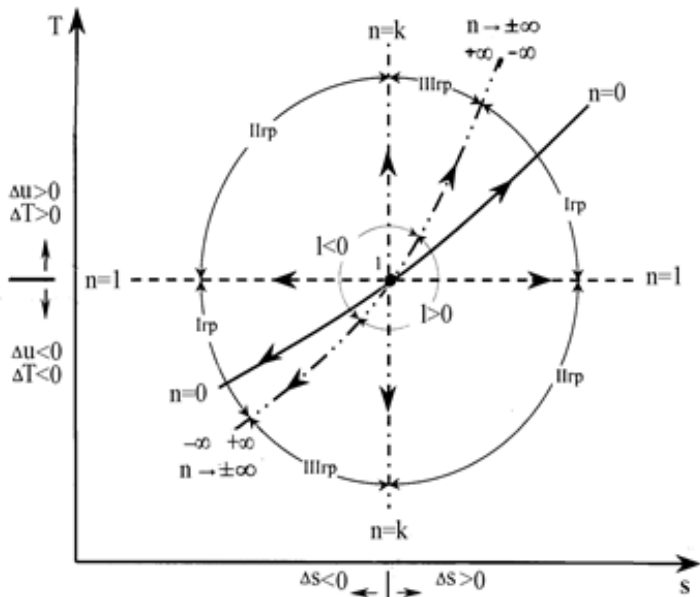


Рис. 1.13 - Политропный процесс в координатах $T - s$

ПОКАЗАТЕЛЬ ПОЛИТРОПЫ – число, определяющееся выражением $(c_p - c_n)/(c_v - c_n)$, где c_p , c_v и c_n – соответственно теплоемкости при постоянном давлении, постоянном объеме и в рассматриваемом политропном процессе. Показатель политропы может иметь любое численное значение в пределах от $-\infty$ до $+\infty$. Для каждого конкретного политропного процесса он имеет определенное значение, которое остается неизменным в ходе всего процесса.

ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ПДВС) – двигатель внутреннего сгорания, основным элементом конструкции которого является цилиндр с поршнем.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ – температурные шкалы, у которых начало отсчета ведется не от абсолютного нуля температуры (например, шкалы: Цельсия, Фаренгейта, Реомюра).

ПРИВЕДЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРА – отношение абсолютной (термодинамической) температуры вещества к его абсолютной критической температуре.

ПРИВЕДЕННОЕ ДАВЛЕНИЕ – отношение давления вещества к его критическому давлению.

ПРИВЕДЕННАЯ ТЕПЛОТА – отношение количества переданной теплоты к абсолютной температуре, при которой происходит процесс.

ПРИВЕДЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ – значения параметров состояния вещества, отнесенные к их значениям в критической точке.

ПРИВЕДЕННЫЙ ОБЪЕМ – 1) отношение удельного объема вещества к его критическому объему; 2) нерекомендуемый термин, соответствующий понятию «парциальный объем компонента в смеси».

ПРОИЗВОДСТВО ЭНТРОПИИ – приращение энтропии термодинамической системы в единицу времени вследствие необратимости процессов, происходящих в самой системе.

ПРОСТЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ (СИСТЕМЫ) – термодинамические процессы (системы), в которых не

происходит изменения агрегатного состояния рабочего тела или его природа в результате протекания химической реакции.

ПРОЦЕСС ГАЗООБМЕНА – совокупность процессов очистки цилиндра двигателя от продуктов сгорания и заполнения его свежим зарядом, т. е. процесс смены рабочего тела.

ПРОЦЕСС РАСШИРЕНИЯ – процесс увеличения объема газа в цилиндре при движении поршня от ВМТ к НМТ, в ходе которого происходит преобразование теплоты, выделившейся при сгорании топлива, в работу. Расширение – это единственный процесс рабочего цикла, в течение которого реализуется основное назначение двигателя - производство работы.

ПРОЦЕСС СГОРАНИЯ – комплекс физико-химических процессов, связанных с возникновением и протеканием реакций окисления топлива, сопровождающихся интенсивным тепловыделением и световым излучением.

ПРОЦЕСС СЖАТИЯ – называют процесс уменьшения объема рабочего тела в цилиндре двигателя при движении поршня от НМТ до ВМТ, сопровождающийся повышением давления и температуры свежего заряда.

ПРЯМОЙ ЦИКЛ – цикл, в результате совершения которого часть подведенной теплоты преобразуется в работу, а другая часть отдается теплоприемнику. По прямым циклам работают тепловые двигатели.

ПСИХРОМЕТР [от гр. psychria- холод и metreo - измеряю] – прибор для определения относительной влажности воздуха.

ПУАССОНА КОЭФФИЦИЕНТ (по имени французского ученого С. Пуассона) – показатель адиабаты обратимого процесса - отношение теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме.

ПУАССОНА УРАВНЕНИЕ – уравнение адиабаты обратимого процесса с идеальным газом в диаграмме состояния pV : $pV^{\kappa} = \text{const}$. Выведено французским ученым С. Пуассоном в 1823 г.

ПЬЕЗА [от гр. piezo - давлению] – единица измерения давления в абсолютной системе механических величин МТС, равная давлению в один стень на один квадратный метр. Одна пьеза равна 1000 Па.

ПЬЕЗОМЕТР [от гр. piezo - давлю и metreo- измеряю] – жидкостный манометр.

РАБОТА – одна из форм передачи энергии одним телом другому при их взаимодействии, не зависящая от температуры этих тел и не связанная с переносом вещества от одного тела к другому. Термин «работа» введен в науку в начале XIX в. английским естествоиспытателем - врачом и физиком Т. Юнгом. Систематическое употребление термина «работа» в его механическом понимании ведет начало от труда французского инженера и механика Ж. Понселе «Курс механики в приложении к машинам» (1826 г.).

РАБОТА РАСШИРЕНИЯ – работа против сил внешнего давления, связанная с увеличением объема рабочего тела (термодинамической системы).

РАБОТА СЖАТИЯ – работа, совершаемая внешними силами над рабочим телом (термодинамической системой) при уменьшении объема тела (системы).

РАБОТА ТРЕНИЯ – часть работы, совершенной в процессе, которая расходуется на преодоление сопротивления трения.

РАБОТА ЦИКЛА – алгебраическая сумма работ, совершенных за цикл.

РАБОЧАЯ ДИАГРАММА – см. Диаграмма pV .

РАБОЧЕЕ ТЕЛО – тело, при помощи которого в тепловых машинах осуществляется взаимное превращение теплоты и работы. В качестве рабочего тела в тепловых машинах преимущественно используются пары или газы различных веществ, так как они при нагреве или охлаждении существенно изменяют свой объем, чем обеспечивается высокая эффективность взаимного преобразования теплоты и работы.

РАБОЧИЕ КООРДИНАТЫ – см. Диаграмма pV .

РАБОЧИЙ ОБЪЕМ ЦИЛИНДРА КОМПРЕССОРА (ИЛИ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ) – объем, описываемый при движении поршня компрессора (поршневого двигателя) между двумя крайними положениями.

РАБОЧИЙ ЦИКЛ ПДВС – совокупность повторяющихся тепловых, химических и газодинамических процессов, в результате которых термохимическая энергия топлива преобразуется в механическую работу.

РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ – состояние, в которое приходит рабочее тело (термодинамическая система) при постоянных внешних условиях; характеризуется неизменностью во времени термодинамических параметров состояния и отсутствием в теле (системе) потоков вещества и теплоты. При этом одноименные параметры имеют одно и то же значение по всему объему тела (системы).

РАВНОВЕСНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – термодинамический процесс, проходящий только через равновесные состояния.

РАЗРЕЖЕНИЕ – см. Вакуум.

РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ – реактивные двигатели, в которых и топливо, и окислитель, необходимые для горения топлива, запасаются на системе, оборудованной этим двигателем.

РАСПОЛАГАЕМАЯ РАБОТА ПРИ ИСТЕЧЕНИИ – энергия, представляющая собой изменение кинетической энергии потока в результате его разгона при истечении.

РАСЧЕТНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ СОПЛА – такой режим, при котором давление в выходном сечении сопла равно давлению в среде, куда происходит истечение.

РАСШИРЯЮЩЕЕСЯ СОПЛО – геометрическое сопло для разгона потока рабочего тела до сверхзвуковой скорости.

РЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ [от лат. re - часть сложных слов, обозначающая повторное, возобновляющееся действие, и activus - действенный] – тепловые двигатели, в которых выделяющаяся в результате сгорания топлива теплота преобразуется в кинетическую энергию газообразных продуктов сгорания. Последняя используется непосредственно для получения тяги.

РЕАКТИВНАЯ ТУРБИНА – турбина, в которой расширение рабочего тела и связанное с ним ускорение потока происходят и в неподвижном направлявшем (сопловом) аппарате в каналах, образованных рабочими лопатками колеса турбины.

РЕАКТИВНАЯ СТУПЕНЬ ТУРБИНЫ – ступень, в которой расширение рабочего тела и связанное с ним ускорение потока происходят в каналах, образованных рабочими лопатками колеса турбины.

РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОТЫ [от лат. *regeneratio* - восстановление, возрождение, возобновление] – внутренний теплообмен между двумя различными участками цикла, заключающийся в предварительном подогреве рабочего тела (перед его нагревом от теплоотдатчика) за счет теплоты охлаждения этого тела после совершения им работы. Впервые идея регенерации теплоты была реализована шотландским пастором Р. Стирлингом в 1816 г. - см. Цикл Стирлинга.

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ЦИКЛ – цикл, в котором теплота, отведенная от рабочего тела на одном из участков цикла (представляющая собой часть всей отводимой от рабочего тела теплоты), снова передается рабочему телу на другом участке цикла. Примером регенеративного цикла может служить цикл Стирлинга.

РЕНКИНА ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА (по имени шотландского инженера и физика В. Ренкина) – абсолютная температурная шкала, по которой тройная точка соответствует $450,67^{\circ}\text{F}$. Обозначается температура по этой шкале $T^{\circ}\text{Ranc}$, $T^{\circ}\text{Ra}$. Масштаб градуса по шкале Ренкина совпадает с масштабом градуса по температурной шкале Фаренгейта.

РЕНКИНА ГРАДУС ($^{\circ}\text{Ranc}$, $^{\circ}\text{Ra}$) – единица измерения температуры по абсолютной (термодинамической) температурной шкале Ренкина. По величине совпадает с градусом Фаренгейта.

РЕНКИНА ЦИКЛ – идеализированный цикл паросиловой установки. Состоит из процессов (рис. 1.14): сжатия жидкости (3-4): изобарного нагрева, парообразования и перегрева рабочего тела (4-6, 5-6 и 6-1); адиабатного расширения (1-2); изобарного процесса конденсаций (2-3). Предложен в середине XIX в. шотландским инженером и физиком В. Ренкиным. Почти одновременно с В. Ренкиным и независимо от него к такому же идеализированному циклу паросиловой установки пришел и немецкий физик Р. Клаузиус.

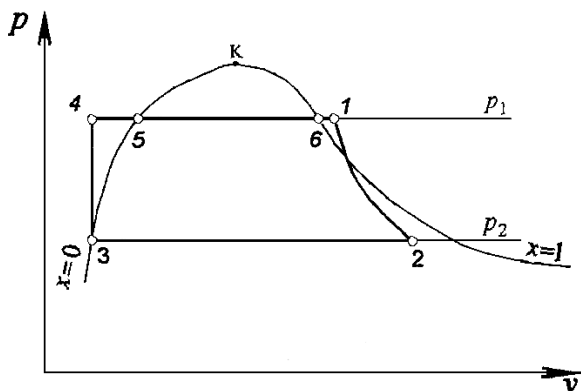


Рис. 1.14 – Изображение цикла В. Ренкина в $p-v$ -диаграмме

РЕОМЮРА ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА – предложена ученым Р. Реомюром (Франция) в 1730 г. Температура таяния льда соответствует в ней нулю, температура кипения воды – 80° . Переход из шкалы Реомюра в температурную шкалу Цельсия можно осуществить по формуле:

$$t^{\circ}C = \frac{5}{4}t^{\circ}R.$$

РЕОМЮРА ГРАДУС ($^{\circ}R$) – единица измерения температуры по температурной шкале Реомюра. По величине в 1,25 раза больше градуса Цельсия.

САБАТЭ ЦИКЛ – идеализированный цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты (см. Цикл Тринклера). Французский инженер Сабатьен Ле Претр де Вобан построил двигатель, в основе рабочего процесса которого лежит указанный выше идеализированный цикл, в 1909 г., т.е. через пять лет после создания подобного ДВС русским инженером Г.В. Тринклером.

САМОРОИЗВОЛЬНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – термодинамический процесс, для совершения которого не требуется затрат энергии извне. В ходе такого процесса энергия, наоборот, отводится от рабочего тела (термодинамической системы).

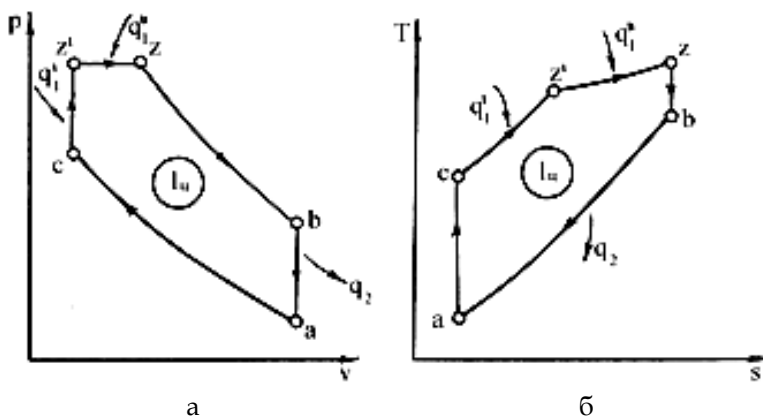


Рис. 1.15 – САБАТЭ-цикл в $p-v$ -диаграмме (а) и в $T-s$ -диаграмме (б)

СВЕРХЗВУКОВОЕ ТЕЧЕНИЕ – режим течения, при котором в рассматриваемом сечении потока его скорость выше местной скорости звука (число Маха больше единицы).

СВОБОДНАЯ ЭНЕРГИЯ – нерекондуемый термин, соответствующий понятию «энергия Гельмгольца».

СОПЛО – канал, в котором происходит увеличение скорости и уменьшение давления потока рабочего тела. В зависимости от способа разгона потока различают: геометрическое сопло; «масловое» сопло; «тепловое» сопло и «механическое» сопло.

СОРБЦИЯ [от лат. *sorbere* - поглощать] – поглощение газообразных или растворенных веществ твердыми телами или жидкостями. Различают два вида сорбции: адсорбцию и абсорбцию.

СОРБЕНТ – тело, с помощью которого осуществляется процесс сорбции.

СОСТОЯНИЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА (ТЕМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ) – совокупность свойств рабочего тела (термодинамической системы), которыми вполне определяется все возможные его (ее) отличия от любого другого тела (системы).

СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ – состояние рабочего тела (термодинамической системы), в которое оно приходит при неизменных внешних условиях, характеризующееся неизменно-

стью во времени параметров состояния и отсутствием потоков вещества и теплоты.

СРЕДНЕТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА ПРОЦЕССА – частное от деления количества переданной в процессе теплота на вызванное этим изменение энтропии рабочего тела или теплоотдатчика.

СРЕДНЯЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА СМЕСИ – молекулярная масса смеси вообразяемого химически однородного газа, физические свойства которого эквивалентны свойствам рассматриваемой смеси. Молекулы газов, входящие в состав механической смеси, в реакцию друг с другом не вступают, поэтому молекулы смеси как химического понятия не существуют. Средняя молекулярная масса смеси – величина условная, поэтому иногда ее называют «кажущейся» молекулярной массой смеси.

СРЕДНЯЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – теплоемкость, усредненная для некоторого интервала температур, определяемая из выражения $c_m = Q_{1-2}/(T_2 - T_1)$, где T_1 , T_2 – начальное и конечное значения температуры, Q_{1-2} – переданная теплота. Средняя теплоемкость представляет собой постоянную величину в рассматриваемом интервале температур.

СТЕН (СН) [от гр. sthenos – сила] – единица измерения силы в абсолютной механической системе единиц МТС; сила, сообщаемая массе в одну тонну ускорение в 1 м/с^2 . Стен равен 10^3 Н .

СТЕПЕНЬ ВЛАЖНОСТИ ПАРА – отношение массы жидкости к общему количеству влажного насыщенного пара. Степень влажности равна разнице между единицей и степенью сухости.

СТЕПЕНЬ НАСЫЩЕНИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА (ИЛИ КАКОГО-ЛИБО ДРУГОГО ГАЗА) – отношение действительного влагосодержания к максимально возможному (т. е. при состоянии насыщения).

СТЕПЕНЬ ПЕРЕГРЕВА ПАРА – разница между температурой перегретого пара и температурой кипения при данном давлении.

СТЕПЕНЬ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ (ПОРШНЕВЫХ ДВС) – отношение давления рабочего тела в конце процесса подвода теплоты при постоянном объеме к давлению в конце сжатия.

СТЕПЕНЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСШИРЕНИЯ (ПОРШНЕВЫХ ДВС И ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК) – отношение объема рабочего тела в конце процесса подвода теплоты при постоянном давлении к объему в конце сжатия.

СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ В ПОРШНЕВЫХ МАШИНАХ – отношение максимального объема рабочего тела к минимальному.

СТЕПЕНЬ УВЕЛИЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ (В ПОРШНЕВЫХ ДВС) – см. Степень повышения давления.

СУЖИВАЮЩЕЕСЯ СОПЛО – геометрическое сопло, предназначенное для разгона потока рабочего тела до скоростей, не превышающих скорость звука. См. Конфузор.

СУХОЙ НАСЫЩЕННЫЙ ПАР – пар, не содержащий жидкости и имеющий температуру кипения при данном давлении.

ТЕМПЕРАТУРА [от лат. *temperatura* – соединение] – величина, характеризующая тепловое состояние тела и являющаяся мерой интенсивности теплового движения молекул. Возможен перевод с латыни слова *temperature*, и как «смесь» (например, о бронзе говорили «температура», т.е. смесь олова и меди). Поэтому появление термина «температура» связано с тем, что исследователи под температурой тела понимали смесь из материи тела и теплорода. Градус температуры (во второй половины XVIII в. говорили «градус теплоты») характеризовал концентрацию теплорода в этой смеси.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАБОТА В ДАННОМ ПРОЦЕССЕ – нереконструируемый термин, соответствует понятию «максимальная работа».

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАБОТА ЦИКЛА – алгебраическая сумма максимальных работ, совершенных за цикл.

ТЕПЛОТА (ТЕПЛО) – одна из форм передачи энергии, которая происходит путем энергетического взаимодействия между молекулами без видимого направленного перемещения тел, зависящая только от температуры этих тел и не связанная с переносом вещества от одного тела к другому.

«ТЕПЛОВАЯ СМЕРТЬ» ВСЕЛЕННОЙ – конечное состояние, которое якобы возникает в результате необратимого превраще-

ния всех форм движения в тепловое, рассеяния теплоты в пространстве и перехода мира в состояние равновесия с максимальным значением энтропии. Этот вывод делается на основе абсолютизации второго закона термодинамики и распространения его на всю вселенную (впервые эти идеи были выдвинуты в середине XIX в. немецким физиком Р. Клаузиусом). Идея «тепловой смерти» несостоятельна, так как: 1) вселенная бесконечна в пространстве и является незамкнутой совокупностью бесчисленного множества качественно разнородных систем; 2) множество всех возможных состояний материи во всей вселенной является бесконечным и не может быть реализовано за сколь угодно значительный промежуток времени. Понятие о наиболее вероятном состоянии, отождествляемом с максимальным значением энтропии, к миру в целом неприменимо. 3) Второй закон термодинамики не определяет направленность всех возможных изменений материи; в мире существуют другие законы, которые обуславливают концентрацию рассеянной материи и энергии и включение их в новые циклы развития. Образование звезд и галактик является одним из проявлений этого процесса. Необратимое изменение материи во вселенной не предполагает какое-либо стремление мира к конечному состоянию, а представляет собой бесконечное возникновение качественно новых состояний, возможностей и тенденций развития.

ТЕПЛОВАЯ МАШИНА (УСТАНОВКА) – машина, предназначенная для взаимного превращения теплоты и работы.

ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ – условный термин, обозначающий кинетическую энергию движения молекул. Для идеального газа кинетическая энергия движения молекул есть его внутренняя энергия.

ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ – тепловая машина, в которой происходит превращение теплоты в работу. Тепловые двигатели работают по прямым циклам. Примерами тепловых двигателей являются: поршневые двигатели внутреннего сгорания, газотурбинные установки, паросиловые установки и т. п.

ТЕПЛОЕМКОСТЬ – соотношение между переданной в процессе теплотой и произошедшим при этом изменением темпера-

туры. По-видимому, впервые этот термин (в форме «емкость» для теплорода) ввел французский химик Д. Блэк в 1760 г. Различают среднюю теплоемкость и истинную теплоемкость.

ТЕПЛОИСТОЧНИК – нерекондуемый термин, соответствующий понятию «теплоотдатчик».

ТЕПЛООТДАТЧИК – тело (термодинамическая система), сообщающее энергию в форме теплоты рабочему телу.

ТЕПЛОПРИЕМНИК – тело (термодинамическая система), которому рабочее тело отдает теплоту.

ТЕРМИЧЕСКИ ИЗОЛИРОВАННАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – термодинамическая система, которая не может обмениваться с окружающей средой энергией в форме теплоты.

ТЕРМИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ – коэффициенты: изобарного расширения, изохорной упругости, изотермической сжимаемости и адиабатной сжимаемости.

ТЕРМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (η_t) – отношение работы прямого цикла к теплоте, подведенной к рабочему телу от теплоотдатчика. Учитывает только те потери, которые обусловлены необходимостью обязательного отвода теплоты на каком-то участке цикла. $\eta_t = (Q_1 - Q_2) / Q_1$ (Q_1 , Q_2 – подведенная и отведенная теплоты).

ТЕРМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ – абсолютное давление, удельный объем и абсолютная температура.

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА – свойства, характеризующие термическими параметрами.

ТЕРМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ – состояние термодинамической системы (рабочего тела), при котором во всех ее частях температура одинакова.

ТЕРМИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ – уравнение состояния, связывающее между собой термические параметры состояния.

ТЕРМОДИНАМИКА [от гр. *thermos* – теплота и *dinamicos* – силовой, относящийся к силе] – наука о методах исследования наиболее общих свойств макроскопических материальных тел,

проявляющихся в процессах преобразования одного вида движения материи в другой. Впервые термин «термодинамика» встречается в работе английского физика В. Томсона «Динамическая теория теплоты» (1851 г.)

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА – см. Диаграмма состояния.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ (АБСОЛЮТНАЯ) ТЕМПЕРАТУРА – температура, отсчитываемая по термодинамической (абсолютной) шкале температур от абсолютного нуля температуры.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН – см. Идеализированные циклы тепловых машин.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ – см. Эксергетический коэффициент полезного действия.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – последовательное изменение хотя бы одного из параметров состояния рабочего тела.

ТЕРМОМЕТР [от гр. *therme* - тепло и *metreo* - измеряю] – прибор для измерения температуры. В историко-физической литературе изобретение термометра связывают обычно с именами двух ученых - итальянца Г. Галилея и голландца К. Дреббеля. Само слово «термометр» впервые появилось в 1624 г. в книге француза Лерешона.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКСЕРГИЯ – эксергия, обусловленная разницей температур и давлений рабочего тела (термодинамической системы) и окружающей среды.

ТЕХНИЧЕСКАЯ АТМОСФЕРА (АТ) – внесистемная единица измерения давления. Техническая атмосфера – это давление веса столба ртути (имеющей температуру 0°С и плотность 1359,51 кг/м³; находящейся на уровне моря и на широте 45°) высотой 735,6 мм (1 ат = 98100 Па).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА – наука, изучающая вопросы взаимного превращения теплоты и работы.

ТОР – малоупотребительное в технике наименование единицы давления в один миллиметр ртутного столба, данное в

честь итальянского ученого Э. Торричелли, который изобрел прибор для измерения атмосферного давления (1644 г.).

ТОЧКА РОСЫ – наивысшая температура, при которой в данной газовой смеси (например, в ненасыщенном влажном воздухе) может существовать жидкая фаза.

ТРЕТИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ – закон о некоторых термодинамических свойствах веществ вблизи абсолютного нуля температуры. Одной из возможных формулировок является следующая: при приближении к абсолютному нулю температуры энтропия любого тела конечного объема, имеющего однородный состав, стремится к нулю. Третий закон термодинамики установлен в 1906 г. немецким физиком и физико-химиком В. Нернстом, однако выше приведена формулировка М. Планка, т.к. она (по признанию самого В. Нернста) имеет наиболее общую форму. Одним из возможных следствий этого закона является недостижимость абсолютного нуля температуры.

ТРЕТЬЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ – см. Третий закон термодинамики.

ТРИНКЛЕРА ЦИКЛ – идеализированный цикл поршневого ДВС со смешанным подводом (рис. 1.16), теплоты (последовательно в двух процессах: изохорном и изобарном). Процессы сжатия и расширения – адиабатные, процесс отвода теплоты – изохорный. Соответствует работе идеального (см. Идеальные тепловые машины) бескомпрессорного дизеля. Бескомпрессорный дизель был создан русским инженером Г.В. Тринклером (патент выдан в 1904 г.).

ТРОЙНАЯ ТОЧКА – точка на диаграмме состояния однокомпонентной системы, соответствующая состоянию, при котором находятся в равновесии (т.е. могут сосуществовать одновременно) три фазы вещества. Для воды тройная точка характеризуется температурой $0,01^{\circ}\text{C}$ и давлением $4,579$ мм рт. ст.

ТУРБИНА [от лат. turbo – волчок] – двигатель, у которого в работу (вращательное движение рабочего колеса – ротора) преобразуется кинетическая энергия потока рабочего тела. В зависимости от природы рабочего тела различают гидравлические (жидкостные), паровые и газовые турбины.

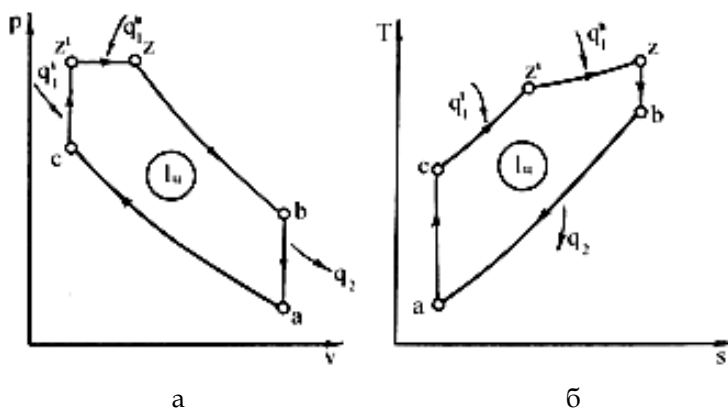


Рис. 1.16 – Цикл Тринклера в $p-v$ -диаграмме (а) и в $T-s$ -диаграмме (б)

ТУРБОРЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ (ТУРБОКОМПРЕССОРНЫЕ РЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ) (ТРД) – воздушные реактивные двигатели, у которых сжатие воздуха происходит не только в диффузоре, но и в компрессоре. Привод компрессора осуществляется от газовой турбины, являющейся частью ТРД.

ТУРБОПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ – комбинированный ДВС, состоящий из поршневого ДВС и газотурбинной установки. На рисунке показана принципиальная схема турбопоршневого двигателя.

УДЕЛЬНАЯ ГАЗОВАЯ ПОСТОЯННАЯ – см. Газовая постоянная.

УДЕЛЬНАЯ МАССОВАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – количество теплоты, которое надо передать, чтобы изменить температуру одного килограмма вещества на один градус.

УДЕЛЬНАЯ МОЛЯРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – количество теплоты, которое надо передать, чтобы изменить температуру одной килограмм-молекулы вещества на один градус.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – количество теплоты, которое надо передать, чтобы изменить температуру какой-либо единицы вещества на один градус.

УДЕЛЬНАЯ ОБЪЕМНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – количество теплоты, которое надо передать, чтобы изменить температуру одного кубического метра вещества на один градус.

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС – вес единицы объема вещества.

УДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ – объем единицы массы вещества.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ГАЗОВАЯ ПОСТОЯННАЯ ($R\mu$) – постоянная, входящая в уравнение состояния для одного/нескольких килограмм-молекул идеального газа (уравнение Клапейрона - Менделеева), одинаковая для всех идеальных газов. Физически может быть интерпретирована как работа, которую совершает одна килограмм-молекула идеального газа при изменении температуры на один градус в изобарном процессе. $R\mu$ имеет размерность Дж/кмоль*град. Её численное значение в этой размерности - 8314. Впервые универсальная газовая постоянная была предложена русским инженером И.П. Алымовым (1865 г.).

УПРУГОСТЬ НАСЫЩЕННОГО ПАРА – нереконструируемый термин, соответствующий понятию «давление насыщенного пара».

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА – уравнение состояния, связывающее термические параметры состояния идеального газа. Оно впервые увидело свет в 1824 году в работе французского инженера и ученого С. Карно «Размышления о движущейся силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» в виде $p = N(t + 267)/v$, где N - постоянная величина. (Число 267 - обратное коэффициенту объемного расширения газов $1/267$. Это значение коэффициента было общепринятым до классических экспериментальных работ французского физика и химика В. Реньо). Объединение законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака до этого встречалось в работах Гей-Люссака, но оно носило случайный характер. В 1934 г. французский инженер и физик Б. Клапейрон использовал объединенное уравнение в виде:

$$pv = \frac{P_0 v_0}{267 + t_0} (267 + t) = R(267 + t),$$

где $p_0 v_0 / (267 + t_0)$ Клапейрон обозначил через R . Только после введения абсолютной шкалы температур и доказательства тождества термической шкалы со шкалой газового термометра объ-

единенное уравнение стали записывать в современной форме $pV = RT$ (немецкий физик, классик науки Р. Клаузиус, 1862 г.).

ФАЗА – совокупность всех однородных частей системы, одинаковых во всех точках по составу и всем химическим и физическим свойствам (не зависящим от количества), и ограниченных от других частей некоторой видимой поверхностью (поверхностью раздела). Данное определение фазы верно при условии, что внешние поля отсутствуют или их напряженность одинакова во всех точках системы. Понятие фазы введено в термодинамическую практику американским физиком Д. Гиббсом.

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД – переход вещества из одной фазы в другую.

ФАРЕНГЕЙТА ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА – практическая температурная шкала, в которой за нуль градусов принята температура смеси воды, льда и нашатыря, за сто градусов – нормальная температура человеческого тела. Предложена в 1724 г. Д. Фаренгейтом. Переход из шкалы Фаренгейта в шкалу Цельсия производится по зависимости:

$$t^{\circ}C = \frac{5}{9}(t^{\circ}F - 32).$$

ФАРЕНГЕЙТА ГРАДУС (°F, °Ф) – единица измерения температуры по температурной шкале Фаренгейта. По величине в 1,8 раза меньше градуса Цельсия.

ФИЗИЧЕСКАЯ АТМОСФЕРА (АТМ) – внесистемная единица измерения давления. Физическая атмосфера – это давление веса столба ртути (имеющей температуру 0 °С и плотность 13595,1 кг/м³; находящейся на уровне моря и на широте 45°) высотой 760 мм (1 атм = 101325 Па).

ФИЗИЧЕСКАЯ ЭКСЕРГИЯ [от греч. ex - из, вне и erg - сила, работа] – эксергия вещества, параметры состояния которого отличны от параметров состояния окружающей среды.

ФОРМЫ ЭНЕРГИИ – условный термин, обозначающий энергию какой-либо формы движения материи. Энергия – это единая мера движения материи. Поэтому, строго говоря, не может быть различных «форм» энергии. Так, «кинетическая»

энергия есть энергия движущегося тела, «электрическая» энергия - энергия движения электронов и т.п. Строго рассуждая, нельзя говорить и о превращении одной «формы» энергии в другую. Энергия не «превращается». Превращаются одни формы движения материи в другие, а энергия как мера движения остается неизменной.

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ ГАЗОВАЯ ПОСТОЯННАЯ - не рекомендуемый термин, соответствующий понятию «газовая постоянная».

ХИМИЧЕСКАЯ ЭКСЕРГИЯ [от греч. erg (on) - работа, сила и ex - из, вне] - эксергия вещества, имеющего параметры состояния, одинаковые с параметрами окружающей среды, но отличающегося от нее по химическому составу.

ХОЛОД - количественная характеристика процесса внешнего охлаждения, равная переданной теплоте с обратным знаком при температуре ниже температуры окружающей среды.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ - установки, осуществляющие перенос теплоты к окружающей среде от тел, температура которых ниже температуры окружающей среды. Холодильные установки являются разновидностью трансформаторов теплоты.

ХОЛОДИЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ - отношение теплоты, отведенной от охлаждаемых объектов (подведенной к рабочему телу в обратном цикле), к работе цикла.

ХОЛОДНЫЙ ИСТОЧНИК - не рекомендуемый термин, соответствующий понятию «теплоприемник» в процессах, происходящих при температурах больших, чем температура окружающей среды ($T > T_0$). В процессах, протекающих при $T < T_0$, холодным источником часто называют тело, от которого теплота подводится к рабочему телу (т. е. теплоотдатчик).

ЦЕЛЬСИЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА - практическая температурная шкала. Предложена шведским физиком А. Цельсием в 1742 г. Первоначально точка таяния льда обозначалась числом 100, а кипения воды - 0. В 1750 г. Штремер ввел обратное обозначение.

ЦЕЛЬСИЯ ГРАДУС (°C) – единица измерения температуры по шкале Цельсия и по международной практической температурной стоградусной шкале.

ЦИКЛ – термодинамический процесс (совокупность нескольких процессов), в результате которого рабочее тело, пройдя последовательно различные состояния, возвращается в исходное. Различают прямые и обратные циклы.

ЦИКЛЫ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ – см. Циклы: Отто, Дизеля, Тринклера.

ЧЕТЫРЕХТАКТНЫЕ ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ – поршневые двигатели внутреннего сгорания, у которых рабочий цикл совершается за два оборота коленчатого вала (за 4 хода поршня).

ЭЖЕКТОР [от фр. *ejectur*] – устройство для сжатия и перемещения газов, паров или жидкостей. Принцип действия эжектора основан на передаче кинетической энергии одной среды, движущейся с высокой скоростью (рабочая среда), другой среде (подсасываемая среда). Сжатие и перемещение подсасываемой среды достигается за счет передачи ей части энергии рабочей среды в процессе их смешения.

ЭКСЕРГИЯ [от греч. *erg (on)* – работа, сила и *ex* – из, вне] – количество энергии какого-либо вида, полностью превратимого в другие виды энергии, которое может быть получено от термодинамической системы (рабочего тела) в результате ее обратимого (см. Обратимый термодинамический процесс) перехода из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой. Термин «эксергия» введен югославским ученым З. Рантом в 1953 г. на конференции в Линдау.

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ – отношение суммы эксергии полученных полезных эффектов к сумме эксергии затрат.

ЭНЕРГИЯ [от гр. *energeia* – деятельность] – одно из основных свойств материи – мера ее движения. Первоначально вместо слова «энергия» использовался термин «живая сила» (Г. Лейбниц). В начале XIX в. термин «энергия» был введен в науку англий-

ским естествоиспытателем, врачом и физиком Т. Юнгом, который, по-видимому, заимствовал его у Аристотеля, обозначавшего этим словом некоторое деятельное начало. Полная энергия термодинамической системы (рабочего тела) складывается из внешней и внутренней (V). Энергия системы, как тела в целом (внешняя энергия), включает в себя кинетическую ($mw^2/2$, где w - скорость центра масс) и потенциальную, которая определяется положением системы (тела) во множестве материальных полей (сил давления, сил тяжести, электрических, магнитных и т.п.). В технической термодинамике, изучающей лишь вопросы взаимного превращения теплоты и работы, электрические, магнитные и многие другие явления не рассматриваются, и поэтому потенциальная энергия в поле соответствующих сил принимается равной нулю. Тогда внешняя энергия будет состоять из кинетической и потенциальной в поле сил давления (pV) и в поле сил тяжести (mgh , где m -масса системы, g - ускорение силы тяжести, h - уровень центра масс системы относительно нулевого уровня). Таким образом, при рассмотрении полной энергии в технической термодинамике имеют в виду сумму:

$$\frac{mw^2}{2} + pV + mgh + U.$$

ЭНТАЛЬПИЯ [от гр. нагреваю] – функция состояния термодинамической системы (рабочего тела), равная сумме внутренней энергии и произведения объема системы на давление (это произведение представляет собой потенциальную энергию системы в поле сил давления). Энтальпия относится к характеристическим функциям, так как является критерием равновесия при $S = idem$ и $p = idem$.

ЭНТРОПИЯ [от гр. en - в, внутрь и trope - поворот, превращение] – функция состояния термодинамической системы (рабочего тела), определяемая тем, что ее дифференциал (dS) при элементарном равновесном процессе равен отношению бесконечно малого количества переданной теплоты (δQ) к абсолютной температуре системы (T): $dS = \delta Q/T$. Энтропия может использоваться как критерий направленности (знак изменения

энтропии совпадает со знаком передаваемой в процессе теплоты) и как мера энергетической ценности теплоты с точки зрения возможности превращения ее в работу. Энтропия является количественной мерой, позволяющей судить о степени необратимости того или иного процесса.

ЭНТРОПИЙНАЯ ДИАГРАММА – см. Диаграмма T- s.

ЭРИКСОНА ЦИКЛ – регенеративный цикл, образованный двумя изотермами и двумя изобарами. Прямой цикл Эриксона является идеализированным циклом двигателя, построенного в 30-х годах XIX в. шведским инженером Д. Эриксоном. Обратный цикл Эриксона является идеализированным циклом холодильных установок.

ЭФФЕКТИВНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ – отношение действительно полученной от теплового двигателя работы к подведенной теплоте, которая может (теоретически) выделиться при полном сгорании топлива.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) в настоящее время получили широкое распространения во многих отраслях народного хозяйства. На ближайшие десятилетия они останутся основным источником энергии для автомобилей, тракторов, мобильной сельскохозяйственной, строительной, мелиоративной и другой техники. Развитие теории ДВС связано с именами Г. Даймлера, К. Бенца, Рикардо, А. Дюжюда, Г. Гюльдена и многих др., а также российских ученых Н.Р. Брилинга, Е.К. Мазинга, А. А. Липгарта, Г. Г. Калиша, В. Ю. Гиттиса, И. М. Ленина, А.С. Орлина, Б.С. Стечкина и др.

Рост выпуска ДВС остро ставит проблемы их качественного совершенствования, в основе которых – увеличение мощности, снижение расхода топлива, дымности и токсичности отработавших газов, улучшение эксплуатационных показателей. Для термодинамического расчета рабочих процессов теплового ДВС необходимы знания его основных понятий и определений, методов расчета этих параметров и показателей, в том числе с использованием ЭВМ.

2.1. Общие представления. Классификация ДВС

Двигателем внутреннего сгорания (ДВС) называют поршневой тепловой двигатель, в котором процессы сгорания топлива – выделение теплоты и превращение ее в механическую работу происходят непосредственно в его цилиндре. ДВС классифицируют по следующим основным признакам [1-5]:

1. По назначению:

- а) стационарные, которые применяются на электростанции малой и средней мощности, для привода насосных установок, в сельском хозяйстве и т. п.
- б) транспортные, устанавливаемые на автомобилях, тракторах, судах, локомотивах и других транспортных машинах.

2. По роду применяемого топлива различают двигатели, работающие на: а) легком жидком топливе (бензине, бензоле, керо-

сине, лигроине и спирте); б) тяжелом жидком топливе (мазуте, соляровом масле, дизельном топливе и газойле); в) газовом топливе (генераторном, природном и других газах); г) смешанном топливе; основным топливом является газ, а для пуска двигателя используется жидкое топливо; д) различных топливах (бензине, керосине, дизтопливе и др.) — многотопливные двигатели.

3. По способу преобразования тепловой энергии в механическую различают двигатели:

- а) поршневые, в которых процесс сгорания и превращения тепловой энергии в механическую совершается в цилиндре;
- б) газотурбинные, в которых процесс сгорания топлива совершается в специальной камере сгорания, а превращение тепловой энергии в механическую происходит на лопатках колеса газовой турбины;
- в) комбинированные, в которых процесс сгорания топлива происходит в поршневом двигателе, являющемся генератором газа, а превращение тепловой энергии в механическую совершается частично в цилиндре поршневого двигателя, а частично на лопатках колеса газовой турбины (свободнпоршневые генераторы газов, турбопоршневые двигатели и т. п.).

4. По способу смесеобразования различают поршневые двигатели:

- а) с внешним смесеобразованием, когда горючая смесь образуется вне цилиндра; по такому способу работают все карбюраторные и газовые двигатели, а также двигатели с впрыском топлива во впускную трубу;
- б) с внутренним смесеобразованием, когда в процессе впуска в цилиндр поступает только воздух, а рабочая смесь образуется внутри цилиндра; по такому способу работают дизели, двигатели с искровым зажиганием и впрыском топлива в цилиндр и газовые двигатели с подачей газа в цилиндр в начале процесса сжатия.

5. По способу воспламенения рабочей смеси различают:

- а) двигатели с воспламенением рабочей смеси от электрической искры (с искровым зажиганием);
- б) двигатели с воспламенением от сжатия (дизели);

в) двигатели с форкамерно-факельным зажиганием, в которых воспламенение смеси искрой осуществляется в специальной камере сгорания небольшого объема, а дальнейшее развитие процесса горения происходит в основной камере.

г) двигатели с воспламенением газового топлива от небольшой порции дизельного топлива, воспламеняющегося от сжатия, – газожидкостный процесс.

6. По способу осуществления рабочего цикла поршневые:

а) четырехтактные без наддува (впуск воздуха из атмосферы) и с наддувом (впуск свежего заряда под давлением);

б) двухтактные – без наддува и с наддувом. Различают наддув с приводом компрессора от газовой турбины, работающей на отработавших газах (газотурбинный наддув); наддув от компрессора, механически связанного с двигателем, и наддув от компрессоров, один из которых приводится в действие газовой турбиной, а другой – двигателем.

7. По способу регулирования при изменении нагрузки:

а) двигатели с качественным регулированием, когда в связи с изменением нагрузки меняется состав смеси путем увеличения или уменьшения количества вводимого в двигатель топлива;

б) двигатели с количественным регулированием, когда при изменении нагрузки состав смеси остается постоянным и меняется только ее количество;

в) двигатели со смешанным регулированием, когда в зависимости от нагрузки изменяются количество и состав смеси.

8. По конструкции различают:

а) поршневые двигатели, которые, в свою очередь, делятся:

- по расположению цилиндров на вертикальные рядные, горизонтальные рядные, V-образные, звездообразные и с противоположными цилиндрами;

- по расположению поршней на однопоршневые (в каждом цилиндре имеется один поршень и одна рабочая полость), с противоположно движущимися поршнями (рабочая полость расположена между двумя поршнями, движущимися в одном цилиндре в противоположные стороны), двойного действия (по обе стороны поршня имеются рабочие полости);

б) роторно-поршневые двигатели, которые могут быть трех типов: ротор (поршень) совершает планетарное движение в корпусе; при движении ротора между ним и стенками корпуса образуются камеры переменного объема, в которых совершается цикл - эта схема получила преимущественное применение; корпус совершает планетарное движение, а поршень неподвижен; ротор и корпус совершают вращательное движение – бироторный двигатель.

9. По способу охлаждения различают двигатели: а) с жидкостным охлаждением; б) с воздушным охлаждением;

10. По конфигурации камер сгорания (КС) – с неразделенными однополостными, разделенными и полуразделенными КС;

11. По типу кривошипно-шатунного механизма: нереверсивные, имеющие одно постоянное направление вращения; реверсивные, у которых перемена направления вращения осуществляется реверсивным механизмом; тронковые, у которых в качестве направляющей используется тронковая часть поршня; крейцкопфные, у которых в качестве направляющей поршня служит ползун;

12. По степени быстроходности:

а) тихоходные (со средней скоростью поршня до 10 м/с);

б) быстроходные (со средней скоростью поршня выше 10 м/с).

На наиболее распространенных в настоящее время автотранспортных средствах устанавливают поршневые двигатели с воспламенением от искры (карбюраторные, газовые, с впрыском топлива) и с воспламенением от сжатия (дизели). На некоторых опытных автомобилях применяют газотурбинные, а также роторно-поршневые двигатели.

Сегодня подавляющее большинство ДВС в качестве топлива использует жидкое топливо и газ. Актуальным является проведение исследований и разработок, направленных на диверсификацию сырьевой базы, поиск эффективных и экологически чистых топлив из нетрадиционных источников сырья, так называемых альтернативных моторных топлив.

2.2. Основные понятия и определения ДВС

При перемещении поршня в цилиндре ДВС различают два крайних его положения – верхнее и нижнее. Положения кривошипно-шатунного механизма двигателя (рис. 2.1), при которых оси шатуна и плоскости кривошипа совпадают называются мертвыми точками. Верхней мертвой точкой (ВМТ) называют положение поршня в цилиндре ДВС, наиболее удаленное от оси коленчатого вала; нижней мертвой точкой (НМТ) – минимально удаленное положение поршня от оси коленчатого вала. В мертвых точках скорость поршня равна нулю, так как в них изменяется направление перемещения поршня.

Перемещение поршня от ВМТ до НМТ или от НМТ до ВМТ называют ходом поршня и обозначают S . Ход поршня соответствует половине оборота коленчатого вала и равен двум радиусам кривошипа, т. е. $S = 2R$.

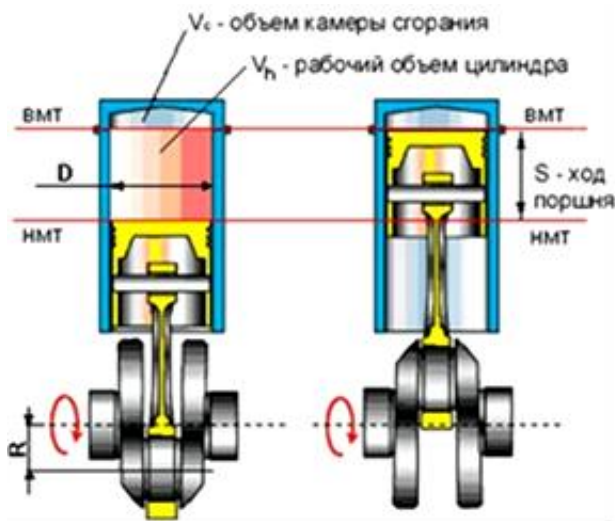


Рис. 2.1 – Принципиальная схема ДВС

Ряд периодически повторяющихся процессов (впуск, сжатие, сгорание, расширение и выпуск) в каждом цилиндре двигателя, в результате которых осуществляется преобразование тепловой энергии в механическую работу, называют рабочим циклом или

рабочим процессом двигателя. Часть рабочего цикла двигателя, совершаемого за один ход поршня, называют тактом.

Двигатель, у которого рабочий цикл совершается за два такта, или за один оборот коленчатого вала, называют двухтактным (рис. 2.2, а). Двигатель, рабочий цикл которого совершается за четыре такта (хода поршня), или за два оборота коленчатого вала, называют четырехтактным (рис. 2.2, б).

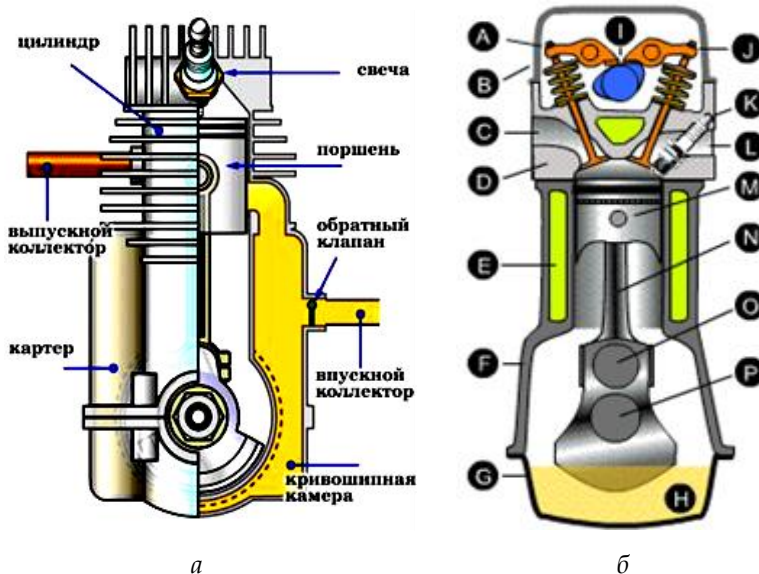


Рис. 2.2 - Принципиальная схема двухтактного (а) и четырехтактного (б) ДВС:

А - впускной клапан, рычаг и пружина; В - крышка; С - впускной канал; D - головка блока; Е - охлаждающая жидкость; F - корпус ДВС; G - поддон картера; H - маслосборник; I - распределвал; J - выпускной клапан, рычаг и пружина; K - свеча; L - выпускной клапан; M - поршень; N - шатун; O - подшипник; P - коленчатый вал

Объем, описываемый поршнем при его перемещении от ВМТ до НМТ, называют рабочим и обозначают V_h (м³) [6-7]:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} \cdot S,$$

где D - диаметр цилиндра, м; S - ход поршня, м

Объем внутренней полости цилиндра при положении поршня в ВМТ называют объемом камеры сгорания и обозначают V_C .

Объем внутренней полости цилиндра при положении поршня в НМТ называют полным объемом цилиндра и обозначают V_a .

Полный объем цилиндра V_a равен сумме рабочего объема цилиндра V_h и объема камеры сгорания V_C , т. е. :

$$V_a = V_h + V_C.$$

Сумму рабочих объемов всех цилиндров называют литражом двигателя и обозначают V_L :

$$V_L = V_h \cdot i,$$

где i - число цилиндров ДВС.

Эффективность использования рабочего объема цилиндра и какую мощность можно получить от одного литра рабочего объема данного двигателя характеризуется таким удельным показателем ДВС, как его литровая мощность N_L , позволяющей определять степень форсирования двигателя:

$$N_L = \frac{N_E}{V_h} = \frac{p_E \cdot n}{30\tau},$$

где N_E - мощность, снимаемая с коленчатого вала двигателя (эффективная мощность; p_E - условное постоянное давление в цилиндре двигателя, при котором работа, произведенная рабочим телом за один такт (среднее эффективное давление - характеризует полезную работу, получаемую за один цикл с единицы рабочего объема цилиндра); n - частота вращения коленчатого вала; τ - тактность ($\tau = 4$ или $\tau = 2$).

Поршневая мощность N_{II} - эффективная мощность, отнесенная к 1 дм² площади сечения цилиндра:

$$N_{II} = \frac{N_E}{F_{II} \cdot i} = N_L \cdot S, \quad (2.1)$$

где F_{II} - площадь поршня; S - ход поршня.

Из уравнения (2.1) видно, что литровая мощность N_L может быть увеличена при повышении среднего эффективного давления p_e и частоты вращения коленчатого вала n .

Величиной литровой мощности N_L пользуются для сравнительной оценки различных ДВС с точки зрения совершенства рабочего процесса и конструктивного выполнения. Чем больше литровая мощность, тем более форсирован двигатель и меньше его габариты и масса. Литровая мощность дизелей без наддува находится в пределах от 12 до 15 кВт/л и уступает аналогичному показателю двигателей с искровым зажиганием – 20–50 кВт/л, для дизелей с наддувом до 35 кВт/л.

Отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания называют степенью сжатия и обозначают ε :

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = \frac{V_h}{V_c} + 1.$$

Степень сжатия показывает, во сколько раз уменьшается объем цилиндра над поршнем ДВС при перемещении поршня из НМТ в ВМТ. У современных карбюраторных ДВС степень сжатия $\varepsilon = 6-10$, а у дизельных двигателей $\varepsilon = 16-22$. Степень сжатия влияет на мощность и экономичность двигателя. С увеличением степени сжатия повышается мощность двигателя и его экономичность.

2.3. Принцип действия четырехтактного карбюраторного ДВС

Рабочий цикл в четырехтактном одноцилиндровом карбюраторном ДВС по тактам осуществляется таким образом.

Первый такт – впуск (рис. 2.3, а). Во время такта впуска впускной клапан 6 открыт, а поршень 4 перемещается от ВМТ к НМТ, увеличивая объем надпоршневого пространства в цилиндре 5. Вследствие увеличения объема над поршнем в цилиндре образуется разрежение. Под действием разрежения цилиндр заполняется горючей смесью (смесь паров топлива и воздуха), поступающей из карбюратора через открытый впускной клапан

б в течение всего такта. Горючая смесь в цилиндре смешивается с остаточными газами, оставшимися от предыдущего цикла в пространстве сжатия, и образует рабочую смесь.

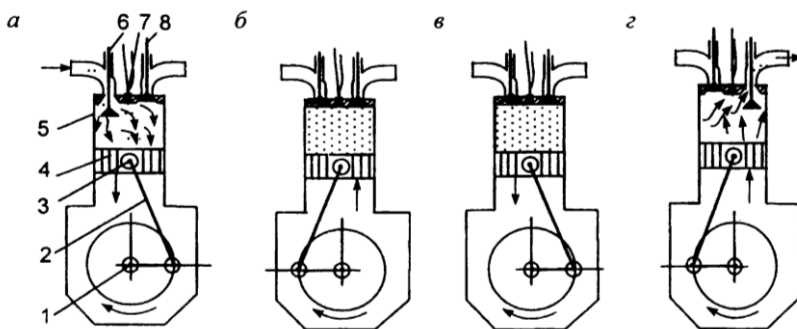


Рис. 2.3 – Рабочий цикл в четырехтактном одноцилиндровом карбюраторном ДВС

Второй такт – сжатие (рис. 2.3, б). Во время такта сжатия впускной и выпускной клапаны 6 и 8 закрыты, а поршень 4 перемещается от НМТ к ВМТ, сжимая находящуюся в цилиндре рабочую смесь. При сжатии рабочей смеси в цилиндре ее температура и давление повышаются, что создает лучшие условия сгорания смеси. В конце такта сжатия рабочая смесь воспламеняется от электрической искры от свечи 7.

Третий такт – рабочий ход (рис. 2.3, в). Во время такта рабочего хода оба клапана (6 и 8) закрыты. В результате горения рабочей смеси температура и давление газов повышаются. Под действием силы давления газов поршень перемещается от ВМТ к НМТ. Поршень 4 передает воспринимаемое им усилие через палец 3 и шатун 2 на шейку коленчатого вала 1, заставляя его вращаться и производить механическую работу.

Четвертый такт – выпуск (рис. 2.3, г). Во время такта выпуск-кавыпускной клапан 8 открыт, а поршень 4 перемещается от НМТ к ВМТ, выталкивая в атмосферу отработавшие газы из цилиндра.

2.4. Принцип работы четырехтактного дизельного двигателя

Первый такт – впуск (рис. 2.4, а). При такте впуска впускной клапан 6 открыт, а поршень 4 перемещается от ВМТ к НМТ и в цилиндр 5 поступает атмосферный воздух. Впуск воздуха происходит так же, как и впуск горючей смеси у карбюраторного двигателя.

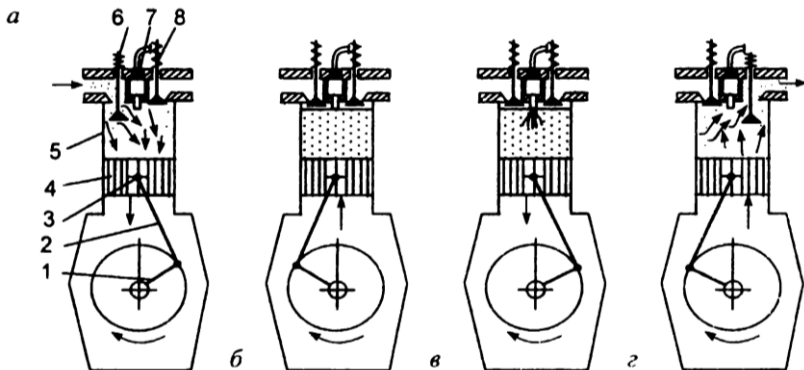


Рис. 2.4 – Рабочий цикл в четырехтактном одноцилиндровом дизельном ДВС

Второй такт – сжатие (рис. 2.4, б). При такте сжатия впускной и выпускной клапаны (6 и 8) закрыты, а поршень 4 перемещается от НМТ к ВМТ, сжимая находящийся в цилиндре воздух. В конце такта сжатия топливо из топливного насоса по топливопроводу поступает в форсунку 7, из которой в распыленном виде впрыскивается в цилиндр 5. В цилиндре топливо смешивается с нагретым воздухом, имеющим температуру выше температуры самовоспламенения топлива.

Третий такт – рабочий ход (рис. 2.4, в). При рабочем ходе клапаны 6 и 8 закрыты. В начале такта при положении поршня 4, близком к ВМТ, топливо, поступившее в мелко распыленном состоянии в цилиндр 5, успевает в течение тысячных долей секунды прогреться, частично испариться и самовоспламениться. Затем топливо быстро сгорает, в результате чего температура резко повышается. Под действием силы давления газов поршень 4 перемещается от ВМТ к НМТ и с помощью пальца 3 и шатуна

2 вращает коленчатый вал 1.

Четвертый такт – выпуск (рис. 2.4, *з*). Выпуск отработавших газов происходит так же, как и выпуск газов у карбюраторного двигателя.

Дизельные двигатели по сравнению с карбюраторными имеют следующие основные преимущества:

- 1) обладают высокой экономичностью (расход топлива у дизелей на единицу произведенной работы меньше на 23-30%;
- 2) работают на более дешевых сортах топлива, которое менее опасно в пожарном отношении.

Но дизельные двигатели по сравнению с карбюраторными имеют и существенные недостатки: большую массу, приходящуюся на единицу мощности; высокую первоначальную стоимость; более трудный пуск при низких температурах.

2.5. Тепловой баланс ДВС

С помощью теплового баланса можно определить степень совершенства конструкции и регулировок ДВС и наметить пути улучшения экономичности его работы. В таблице 2.1 приведены средние значения составляющих теплового баланса.

Т а б л и ц а 2.1

Соотношение составляющих теплового баланса
автотракторных ДВС на режиме номинальной мощности, %

Тип двигателя	q_e	$q_{охл}$	q_g	$q_{нс}$	$q_{ост}$
ДВС с искровым зажиганием	27–38	13–27	30–50	0–45	3–8
Дизель:					
без наддува	36–42	17–35	25–45	0–5	2–5
с наддувом	38–45	12–25	25–40	0–5	2–5

Данные таблицы 2.1 показывают, что основные тепловые потери – это потери в систему охлаждения и с отработавшими газами. Один из способов снижения тепловых потерь – применение турбонаддува с приводом нагнетателя за счет энергии

отработавших газов, а также использование высокотемпературной системы охлаждения.

Эффективные показатели ДВС приведены в таблице 2.2.

Т а б л и ц а 2.2

Значения эффективных показателей ДВС

Двигатели	P_e , МПа	g_e , г/кВт ч	η_e
Четырехтактные ДВС с искровым зажиганием	1,1–1,3	300–215	0,27–0,38
Четырехтактные дизели: без наддува с наддувом	0,65–0,8	235–202	0,36–0,42
	1,20–1,8	223–188	0,38–0,45
Двухтактные дизели: без наддува с наддувом	0,4–0,6	257–223	0,33–0,38
	0,8–1,3	248–223	0,35–0,41

Здесь P_e – среднее эффективное давление – условное постоянное давление в цилиндре двигателя, при котором работа, произведенная рабочим телом за один такт, равняется эффективной работе двигателя;

$$P_e = P_i - P_{mn},$$

где P_i – среднее индикаторное давление:

$$P_i = \frac{L_i}{V_h},$$

используемого для сравнительной оценки эффективности рабочих циклов, совершаемых газами в цилиндрах ДВС различной размерности, посредством использования величины индикаторной работы за цикл P_i , отнесенной к единице рабочего объема цилиндра V_h ;

P_{mn} – среднее давление механических потерь;

g_e – эффективный удельный расход топлива – расход топлива, приходящегося на один киловатт эффективной мощности в течение часа:

$$g_e = \frac{G_T \cdot 10^3}{N_e};$$

η_e – эффективный КПД, как отношение количества теплоты P_e , преобразованной в полезную эффективную работу на валу двигателя при сгорании в его цилиндрах 1 кг топлива L_e , к теплоте сгорания топлива Q_1 :

$$\eta_e = \frac{L_e}{Q_1}.$$

Успешное выполнение данной задачи требует углубленного знания теории рабочего процесса ДВС, что обеспечит понимание взаимосвязей и взаимовлияний параметров между собой, учет многих конструктивных, режимных, эксплуатационных и других факторов и, в конечном счете, грамотный выбор опытных исходных данных [7–44]. Только в этом случае тепловой расчет может быть выполнен успешно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Термодинамика и рабочие процессы двигателей / В.С. Кукис. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2008. – 162 с.
2. Смесеобразование и системы питания дизелей: учеб. пособие / В.С. Кукис, В.В. Руднев, М.Л. Хасанова; М-во образования и науки РФ, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Челябинский гос. пед. ун-т". – Челябинск: Изд-во Челябинского гос. пед. ун-та, 2011. – 139 с.
3. Техническая термодинамика: учеб. пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташев. – М.: Высш. шк., 2000. – 261 с.
4. Техническая термодинамика: учебник для машиностроит. спец. вузов / В.И. Крутов, С.И. Исаев и др.; под ред. В.И. Крутова – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.
5. Термодинамика и рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1: Основы термодинамики и теплообмена / С.С. Скачкова, Т.Г. Михайлова. – Екатеринбург: Изд-во ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2010. – 158 с.
6. Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания: методическое. пособие для студентов заочной формы обучения специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / Г.М. Кухарёнок. – Минск: БНТУ, 2011. – 62 с.
7. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЛЮМОВ И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК: учеб. пособие / Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин, В.А. Складар, В.В. Кисиль. – Челябинск, Изд-во ЧГПУ, 2016.
8. О понятии «Информационно-педагогический тезаурус магистранта» / В.А. Белевитин, М.Ю. Семагин // Инновационные технологии в подготовке современных профессиональных кадров: опыт, проблемы. – Челябинск: Челябин. филиал РАНХиГС. – 2017. – С. 23-29.
9. Педагогический компонент становления креативной личности выпускника вуза / М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин и др. // Инновационные технологии в подготовке современных профессиональных кадров: опыт, проблемы». – Челябинск: Челябинский филиал РАНХиГС. – 2017. – С. 167-171.

10. НАУЧНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ КАК ЗАЛОГ ИХ БУДУЩЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РОСТА / М.Л. Хасанова // Профессиональное образование в 21 веке». – Челябинск, Изд-во ЧГПУ. – 2013. – С. 135-137.
11. Интеллект-карта как эффективный способ подачи и запоминания учебного материала / М.Л. Хасанова // Сб. мат-лов XXXV Междун. научно-практич. конф-ии «Россия сегодня: социально-экономические и духовно-нравственные ориентиры развития нации». – 2018. – С. 274-276.
12. Методы научного исследования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://images.rambler.ru/search?query=&adult=soft&i=2&utm_source=rambler-search&utm_medium=mixup&utm_campaign=images_up.
13. РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ МЕХАНИЗМОВ "ЗАЛЕЧИВАНИЯ" ДЕФЕКТОВ СПЛОШНОСТИ ОСЕВОЙ ЗОНЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ / Е.Н. Смирнов, В.А. Складар, В.А. Белевитин, Р.А. Шмыгля, О.Е. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2016. – Т. 59. – № 5. – С. 322-327.
14. Материаловедение. Свойства металлов и сплавов: учеб. пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск, ЧГПУ. – 2012.
15. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75-80.
16. О МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ РАСКАТОВ С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ НА ПЛАСТИЛИНОВЫХ МОДЕЛЯХ / А.А. Минаев, Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1992. – № 4. – С. 57-59.
17. К РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 9. – С. 77-80.

18. Исследование полей перемещений при прокатке квадратной полосы в овальном калибре / В.К. Воронцов, Ю.С. Атеф, В.В. Бринза, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1977. – № 5. – С. 101-105.
19. DEFECT HEALING IN THE AXIAL ZONE OF CONTINUOUS-CAST BILLET / Y.N. Smyrnov, V.A. Skliar, V.A. Belevitin, e. al. // Steel in Translation, 2016. – Т. 46. – № 5. – С. 325-328.
20. О выборе оптимального соотношения диаметров валков и заготовки для винтовой прокатки / Р.М. Голубчик, В.К. Воронцов, В.А. Белевитин // Сталь. 1982. – № 8. – С. 64-66.
21. THE STUDY OF THREE-DIMENSIONAL FLOW OF METAL UNDER FREE FORGING / V.A. Belevitin, V.F. Obesnyuk, E.R. Logunova // Металлы, 2003. – № 1. – С. 26-32.
22. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЛИТА Н.И. БРАЖНИКОВА / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. – № 3. – С. 54-56. Версии: ULTRASONIC CONTROL OF THE FLUID-FLOW VELOCITY WITHOUT N.I. BRAZHNIKOV'S UNDOCKING OF A PIPELINE / A.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin, F.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2006. – Т. 79. – № 2. – pp. 345-353.
23. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ / Н.И. Бражников, В.А. Белевитин, А.И. Бражников. Москва, 2008.
24. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОВАННЫХ ВАЛОВ / В.А. Белевитин, Н.И. Бражников // Сталь. 2000. – № 4. – С. 47-48.
25. Modeling of the energy potential saving in the production of seamless pipes / V. Belevitin, Y. Smyrnov, S. Kovalenko, A. Suvorov, V. Skliar // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2017. – Vol. 52. – № 4. – pp. 718-723.
26. AN ULTRASOUND METHOD FOR CONTROLLING THE QUALITY OF SHAPED FORGINGS / I.P. Belevitina, N.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin // Metallurgist, 1996, – V. 39. – № 10. – P. 198.

27. Simulation of the macrostructure influence of forging ingots on the potential capabilities of obtaining high-quality forgings / V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov, e. al. // Metallurgical and mining industry. 2016. – № 7. – pp. 18-23.
28. Совершенствование деформационного режима прокатки сортовых профилей из конструкционных марок стали в условиях непрерывного стана / Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин и [др.] // Производство проката, 2018. – № 8. – С. 19-25.
29. The Approbation of a Mathematical Model of the Influence of Three-Level Semantic Representation of a Educational Message on the Dynamics of Students' Creativity / Ye. Gafarova, V. Belevitin, Yu. Korchemkina, Ye. Smirnov, M. Khasanova. // International Journal of Engineering & Technology, 2018, V.7, № 4.38. – № 8. – pp. 19-25.
30. Integrated Approach to Modeling IC Competence in Students / V.A. Belevitin, S.A. Bogatenkov, V.V. Rudnev, M.L. Khasanova, A.I. Tyunin // International Journal of Engineering & Technology, 2018. – V.7. – № 4(38). – № 8. – pp. 60-62.
31. S.A. Bogatenkov, V.A. Belevitin, M.L. Khasanova. Risk Management Based on Model of Competences when Introducing Innovative Information Technology // International Journal of Engineering & Technology, 2018. – V.7. – № 4(38). – № 8. – pp. 78-81.
32. Physical and Computer modeling of nev soft reduction Process of continuously cast blooms / Ye. N. Smirnov, V. A. Belevitin, V.A. Sklyar, e. al. // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2015. – V. 50. – № 6. – pp. 12-17.
33. MODELING OF THE ENERGY POTENTIAL SAVING IN THE PRODUCTION OF SEAMLESS PIPES / V. Belevitin, Ye. Smyrnov, S. Kovalenko, A. Suvorov, V. Skliar // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2017. – V. 52. – № 4. – pp. 718-723.
34. COMPLETE EVALUATION OF EXTRUDED ALUMINUM SECTION AND SEMIPRODUCT MECHANICAL PROPERTIES UNDER CONDITIONS OF TYPICAL REGIONAL MANUFACTURER ALTEK / E.N. Smirnov, V.A. Sklyar, M.V. Mitrofanov, O.E. Smirnov, V.A. Belevitin, A.N. Smirnov // Metalurgist, 2018. – Vol. 61. – No. 9-10. – pp. 878-883.

35. Бесконтактный одноканальный времяимпульсный расходомер жидкости / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова [и др.] // Метрология. 2004. – № 11. – С. 16-25.
36. Расчет параметров пластического формоизменения сортовых заготовок / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1990. – № 12. – С. 26-28.
37. Автомобильные эксплуатационные материалы: учеб. пособие / А.Г. Карпенко, К.В. Глемба, В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во Челяб. гос.-пед. ун-та. – 2014.
38. Моделирование ресурсов повышения экологической безопасности крупных городов / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин. – Челябинск, 2017.
39. Компетентностно-ориентированное управление подготовкой кадров в условиях электронного обучения: колл. монография / С.А. Богатенков, Е.А. Гнатышина, В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во ЮУрГГПУ. – 2017.
40. Пропедевтика инженерной культуры обучающихся: инновации в образовании: колл. монография / Л.М. Базавлущая, В.А. Белевитин и [др.]. – Челябинск, 2017.
41. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТИ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ / А.И. Серов, Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин // Обогащение руд. 2017. – № 3 (369). – С. 15-20.
42. AN ULTRASOUND METHOD FOR CONTROLLING THE QUALITY OF SHAPED FORGINGS / I.P. Belevitina, N.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin // Metallurgist. 1996. – Т. 39. – № 10. – С. 198.
43. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА: теория и практика организации и проведения: учеб.-метод. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. – Челябинск, 2017.
44. МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ: РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ И ЗАЩИТЕ: учеб.-метод. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. – Челябинск, 2016.

Учебное издание

**Хасанова Марина Леонидовна,
Белевитин Владимир Анатольевич,
Руднев Валерий Валентинович,**

**ТЕРМОДИНАМИКА
И РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ДВИГАТЕЛЕЙ:
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ,
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

Справочное пособие

ISBN 978-5-907210-44-8

Изд-во ЮУрГГПУ
454080 г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Редактор Л.Г. Шибакова
Компьютерный набор В.А. Белевитин

Формат 60x841/16

Бумага типографская

Тираж 100 экз.

Объем 3,3 уч.-изд. л. (3,8 п. л.)

Подписано в печать 14.01.2019

Заказ № 454.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69