**Анатомия термодинамики**

Юрий Гужеля

К 200-летию опытов Гей-Люссака по расширению газа в пустоту

Теория производит тем большее впечатление, чем проще её предпосылки, чем разнообразнее предметы, которые она связывает, и чем шире область её применения. Отсюда глубокое впечатление, которое произвела на меня классическая термодинамика. Это единственная теория общего содержания, относительно которой я убеждён, что в рамках применимости её основных понятий она никогда не будет опровергнута (к особому сведению принципиальных скептиков).

А. Эйнштейн

Введение

Вопреки возвышенным оценкам Альберта Эйнштейна в данной статье приводится критический анализ основных положений термодинамики. Но ни о каком скепсисе речь не идёт. Критика носит конструктивный характер, направленный на устранение ошибок и повышение роли термодинамики в деле совершенствования тепловых машин.

Публикация статьи приурочена к 200-летию опытов Гей-Люссака по расширению газов в пустоту (1807 г). Опыты эти были продолжены Джоулем, и результаты этих экспериментов получили название «Закон Джоуля для идеального газа». Этот закон, наряду с ранее открытыми газовыми законами: Бойля – Мариотта и Гей-Люссака, – позволили сформировать основы теории термодинамики в том виде, как мы её знаем теперь.

В период формирования основ термодинамики были допущены серьёзные ошибки. Но, в целом, термодинамическая наука указала верное направление развития тепловых машин и позволила увеличить коэффициент полезного действия, при преобразовании тепла в работу, в несколько раз.

На нынешнем этапе развития техники тепловые машины близки к совершенству и, для дальнейшего повышения эффективности машин, необходимо устранить недочёты термодинамики.

Первая группа ошибок

(цепь ошибок Гей-Люссака, Джоуля, Майера, Карно, Клаузиуса, Ферми)

Считается, что вся термодинамика построена на 2-х началах.

Первое начало термодинамики представляет собой закон сохранения энергии.

Второе начало – это постулат Кельвина (или Клаузиуса). Суть этого постулата состоит в утверждении, что тепло самопроизвольно передаётся от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой. С этим утверждением нет смысла спорить, если учесть, что сравнение величин температур определяется по переходу тепла от рабочего тела к термометру.

То есть, второе начало – это слишком общее свойство, которое не играет никакой практической роли в технической термодинамике.

А из одного «закона сохранения энергии» невозможно вывести такие значимые формулы, как: КПД цикла Карно и формулу Майера. Невозможно также доказать, что в идеальном цикле изменение энтропии равно нулю; невозможно доказать, что энтропия является функцией состояния. Вывод этих соотношений возможен только с помощью «закона Джоуля для идеального газа», утверждающего, что при адиабатическом расширении газа в пустоту, без выполнения работы, температура газа не изменяется.

Но дело в том, что «закон» этот – не состоятелен. Гей-Люссак, первым проводивший опыты по расширению газа в пустоту, грубо ошибся, а вслед за ним ошибся и Джоуль. Карно, а затем и Клаузиус, применили несостоятельный «закон Джоуля» для вывода формулы термического КПД цикла Карно и получили не верную формулу. Спустя 35 лет Роберт Майер применил «закон Джоуля» для вывода формулы (впоследствии названной «формулой Майера») и для определения величины механического эквивалента теплоты. Она у него получилась равной 367 кгс м/ккал.

Поскольку «закон Джоуля» не верен, то и величина механического эквивалента теплоты определённая Майером не верна, и метод Майера также не верен.

Джоуль определил величину механического эквивалента теплоты методом прямого преобразования работы в тепло (методом не зависимым от метода Майера) и первоначально получил величину 460 кгс·м/ккал.

Но вся беда в том, что Джоуль знал о результатах Майера, и у него не было оснований считать метод Майера не верным. Поэтому, результаты Майера могли повлиять на оценку Джоулем своих результатов и подтолкнуть Джоуля и его последователей к поиску и устранению мнимых (не существующих) погрешностей, с целью приближения своих результатов к результатам Майера. После многолетних опытов, физики пришли к величине механического эквивалента теплоты: 426,935 кгс·м/ккал, представляющей собой, что-то среднее, между первоначальными величинами Майера и Джоуля.

Механический эквивалент теплоты является важнейшей константой для энергетики, и поэтому возникшие сомнения относительно его достоверности (точности определения) должны быть развеяны постановкой новых опытов.

Ошибка Гей-Люссака

В чём же состояла ошибка Гей-Люссака?

Схема опытной установки Гей-Люссака состояла из двух баллонов, соединённых свинцовой трубкой, оборудованных запорными кранами и термометрами. Воздух из одного баллона был предварительно откачан, в другом баллоне воздух находился под давлением. После того как температура установки выравнивалась с температурой окружающей среды, открывались краны, и воздух из одного баллона перетекал в другой.

После того как давление выравнивалось, величина снижения температуры в одном баллоне равнялась величине её повышения в другом.

На основании этого опыта был сделан ошибочный вывод о том, что при смешении масс воздуха находящихся в баллонах, температура расширенного воздуха останется равной первоначальной. Это, конечно, не верно. Ведь, очевидно, что в баллоне с более высокой температурой содержится меньшее количество газа и поэтому, при смешении масс, температура расширенного воздуха будет меньше первоначальной. Ошибка до удивления простая, но её последствия весьма значительные.

Кроме того, качественная оценка погрешностей этого эксперимента убеждает в том, что процесс не был строго адиабатическим и что этот фактор уменьшает эффект снижения температуры газа при его расширении.

Ошибка Джоуля

Джоуль думал иначе, он верил Гей-Люссаку и сделал всё, чтобы доказать его ошибочный вывод.

Джоуль поместил баллоны в калориметр, заполненный жидкостью, изменение температуры которой должно было указать на изменение температуры газа. Тем самым, Джоуль уменьшил чувствительность опытов примерно на 3-и порядка, так как массовая теплоёмкость жидкости калориметра на несколько порядков больше массовой теплоёмкости газа. Ещё на на несколько порядков он уменьшил чувствительность опытов, за счёт снижения первоначального давления газа. При этом, погрешность термометра во много раз превысила измеряемый эффект снижения температуры жидкости. И Джоуль просто не мог зафиксировать снижение температуры воды в калориметре, даже при очень значительном снижении температуры газа.

Отсюда, Джоуль сделал ложный вывод о том, что при первоначальном давлении газа стремящимся к нулю, температура газа при его расширении не изменяется.

Такой эксперимент является методически не правильным.

Попытка теоретического доказательства «закона Джоуля» (ошибка Ферми)

Общеизвестно, что физический закон может быть доказан только экспериментально. Однако творцы термодинамики для «закона Джоуля» сделали исключение, сознавая, по-видимому, всю слабость его экспериментальных обоснований.

В курсе термодинамики Энрико Ферми приводится теоретическое «доказательство» «закона Джоуля». В этом «доказательстве» допущена явная логическая ошибка, см. полный вариант статьи.

Дросселирование газов

Джоуль совместно с Томсоном провели эксперименты по дросселированию газов и открыли эффект снижения температуры при дросселировании для большинства газов. Исключение составили водород и гелий, у них температура слабо повышалась.

Но при анализе процесса дросселирования Джоулем и Томсоном были допущены ошибки. В частности, они сделали вывод: что энтальпия в процессе дросселирования не изменяется.

Это не так. Установившийся поток не может существовать без подвода энергии. Эта энергия подводится от компрессора или от ресивера и затрачивается на проталкивание газа через дроссель и на преодоление сил трения в дросселе. Эта подведённая извне энергия превращается в тепло, увеличивая внутреннюю энергию потока, а также затрачивается на увеличение скорости потока за дросселем. В результате энтальпия заторможенного потока за дросселем увеличивается. Несмотря на это температура большинства газов за дросселем снижается. Это можно объяснить только тем, что закон Джоуля не выполняется.

Что касается водорода и гелия, то у этих лёгких газов выделение тепла, на единицу массы, от трения в дросселе, на порядок выше чем, например, у воздуха. И эффект повышения температуры от трения в дросселе превышает эффект снижения температуры вследствие расширения за дросселем. Трение является признаком необратимости процесса. Поэтому, можно сказать, что процесс дросселирования лёгких газов (гелия и водорода) протекает более необратимо, чем, например, воздуха и углекислого газа. Джоуль и Томсон считали иначе.

Вторая группа ошибок

Вторая группа ошибок связана с необоснованным признанием энтальпии функцией состояния. Авторы этих ошибок менее известны.

По определению, энтальпия представляет собой сумму внутренней энергии газа и произведения давления газа на объём. Внутренняя энергия, несомненно, является функцией состояния от величин: давления, температуры и объёма. Но произведение давления на объём – это работа расширения. А работа расширения, выполненная газом, этой, рассматриваемой, порции газа уже не принадлежит. Кроме того, эта работа не всегда может быть полностью выполнена рассматриваемой порцией газа, ибо в процессе расширения могут принимать участие сторонние силы. Для того чтобы эта работа была выполнена рассматриваемой порцией газа, надо создать условия, а именно: исключить помощников. Что, не всегда возможно сделать.

То есть, сможет ли газ выполнить работу расширения, равную произведению давления на объём, или нет, зависит от организации процесса, а не только от параметров состояния. Поэтому, энтальпия – не является функцией состояния.

В статье приводится три примера, когда газ не может выполнить работу расширения (сжатия) равную произведению давления на величину изменения объёма.

Первый пример: рассмотрение процесса сжатия в осевом компрессоре. Из результатов анализа физического процесса в процессе сжатия в компрессоре выведена новая формула для определения технической работы компрессора. Согласно этой новой формуле техническая работа компрессора, в идеальном цикле, больше разности энтальпий в конце и в начале процесса сжатия. Результат этот является следствием того, что атмосферное давление не может выполнить работу сжатия, равную произведению атмосферного давления на разность объёмов в начале и в конце процесса сжатия. Причина этого в том, что атмосфера выполняет работу сжатия в компрессоре совместно с компрессором, и тот берёт на себя часть работы атмосферы.

Второй пример: рассмотрение процесса расширения газа в турбине. В результате чего выведена новая формула для определения величины работы турбины. Согласно этой новой формуле работа турбины меньше разности энтальпий начала и конца процесса расширения, в идеальном цикле. Причина этого в том, что в турбине может быть реализовано расширение газа только в направлении движения потока газа. Расширение газа в направлении перпендикулярном потоку происходит без выполнения работы.

Полученные новые формулой технической работы компрессора и турбины также указывают на то, что энтальпия не является функцией состояния

Третий пример: рассмотрение современной методики определения энтальпии газа, в непрерывном процессе истечения газа. Где, нагреваемый газ, выполняет работу расширения в изобарическом процессе, затрачиваемую на сжатие охлаждаемого газа, впереди по потоку. В этом случае, работа расширения газа будет меньше произведения давления на разность удельных объёмов газа, в конце и начале процесса расширения. Так как, так как уменьшение объёма охлаждаемого газа будет происходить не только вследствие расширения нагреваемого газа, но также вследствие охлаждения потока газа.

Такой метод определения энтальпии является методически не верным и даёт заниженное значение энтальпии. В этом примере, как и в предыдущих двух, речь идёт об идеальном процессе истечения, без трения и без завихрений в потоке.

Рассмотренные ошибки второй группы весьма существенные, величина их составляет более 10 процентов от измеряемой величины.

Согласование столь неточной термодинамической теории с практикой достигается за счёт введения поправочных коэффициентов. В общепринятых расчётных формулах термодинамических циклов в роли этих поправочных коэффициентов выступают: КПД компрессора и внутренний относительный КПД турбины. Физическая сущность этих поправочных коэффициентов ошибочно объясняется только необратимыми потерями. Таким образом, все ошибки теории списываются на необратимость. Необратимые потери от трения в реальном цикле, конечно, есть, но они на порядок меньше чем принято считать. В основном, эти коэффициенты скрывают ошибки теории.

Выводы

В термодинамике допущено немало ошибок. От некоторых известных законов и формул термодинамики, таких как: «Закон Джоуля для идеального газа»; формула КПД цикла Карно; формула Майера; формула определения технической работы компрессора, формула работы турбины, – необходимо отказаться. Следует также признать, что энтропия и энтальпия не являются функциями состояния.

Но отказ от этих известных закономерностей не означает краха термодинамической теории. Оставшихся законов и взаимосвязей, дополненных новыми формулами технической работы компрессора и работы турбины, вполне достаточно для решения любых практических задач, при условии выполнения следующих мероприятий:

экспериментального, не зависимого от метода Майера, уточнения величины механического эквивалента теплоты;

уточнения методики экспериментов по определению теплоёмкости газов при постоянном давлении;

выработки новой методики расчёта табличных значений: теплоёмкостей, внутренней энергии, энтальпии, – учитывающей зависимость внутренней энергии от объёма и зависимость теплоёмкости Ср от давления;

расширения экспериментальной базы данных (увеличение количества реперных точек) для более точного определения калорических параметров газов (Ср, Сv, U, H);

Выполнение указанных мероприятий и применение предложенных формул, позволит повысить точность расчётов термодинамических циклов тепловых машин. В особенности, это касается новых (пионерских) разработок изделий, предназначенных для эксплуатации в ещё не освоенном диапазоне температур и давлений. Позволит, в частности, более правильно рассчитывать КПД воздушно-реактивных двигателей и дальность полёта летальных аппаратов, проектируемых для эксплуатации в ещё не освоенном диапазоне высот и скоростей.

Знакомство с полным вариантом статьи позволит почувствовать сопричастность в распутывании противоречий и ошибок корифеев термодинамики, а может быть и моих собственных ошибок. В любом случае, знакомство с этой, почти детективной, историей доставит удовольствие всем читателям, которые привыкли составлять собственное мнение по интересующему их вопросу, не оглядываясь на авторитеты. Надеюсь, что технические приложения, разобранные в статье, в скором времени найдут применение на практике.

Автор с благодарностью примет (контактная информация) все конструктивные замечания и предложения по данной теме.

**Список литературы**

Кириллин В.А., Сычёв В.В., Шейндлин А.К. Техническая термодинамика. М.: «Энергоиздат», 1983.

Энрико Ферми. Термодинамика. Харьков, издательство Харьковского университета, 1969.

Гельфер Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. М.: «Высшая школа», 1981.

Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М.: «Мир», 1976.

Ривкин С.Л., Термодинамические свойства газов. Справочник. М.: «Энергоатомиздат», 1987.

Тепло и массообмен теплотехнический эксперимент. Cправочник. Под общей редакцией Григорьева В.А. и Зорина В.М. М.: «Энергоатомиздат», 1982.