

**С. Карно**

**Размышления о движущей  
силе огня и о машинах,  
способных развивать эту силу**

**Серия "Классики  
естествознания"**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 53  
ББК 22.3  
С11

C11      **С. Карно**  
Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу: Серия "Классики естествознания" / С. Карно – М.: Книга по Требованию, 2013. – 80 с.

**ISBN 978-5-458-50843-8**

Впервые наиболее совершенный циклический процесс был предложен французским физиком и инженером Сади Карно в 1824 г. Карно прожил короткую жизнь – всего 36 лет, но оставил в науке яркий след и пример плодотворного взаимного влияния науки и техники. В своем труде "Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу" Сади Карно заложил основы теории тепловых машин.

**ISBN 978-5-458-50843-8**

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



## РАЗМЫШЛЕНИЯ О ДВИЖУЩЕЙ СИЛЕ ОГНЯ И О МАШИНАХ, СПОСОБНЫХ РАЗВИВАТЬ ЭТУ СИЛУ.

---

Никто не сомневается, что теплота может быть причиной движения, что она даже обладает большой двигательной силой: паровые машины, ныне столь распространенные, являются этому очевидным доказательством.

Теплоте должны быть приписаны те колоссальные движения, которые поражают наш взгляд на земной поверхности; она вызывает движения атмосферы, поднятие облаков, падение дождя и других осадков, заставляет течь потоки воды на поверхности земного шара, незначительную часть которых человек сумел применить в свою пользу; наконец землетрясения, вулканические извержения также имеют причиной теплоту.

Из этих огромных резервуаров мы можем создавать движущую силу, нужную для наших потребностей; природа, повсюду предоставляя горючий материал, дала нам возможность всегда и везде получать теплоту и сопровождающую ее движущую силу. Развивать эту силу и приспособлять ее для наших нужд—такова цель тепловых машин.

Изучение этих машин чрезвычайно интересно, так как их значение весьма велико и их распространение растет с каждым днем. Повидимому им суждено сделать большой переворот в цивилизованном мире. Тепловая машина уже обслуживает наши шахты, двигает наши корабли, углубляет гавани и реки, кует железо, обрабатывает дерево, мелет зерно, ткет и прячет наши ткани, переносит самые тяжелые грузы и т. д. Современем, должно быть, она станет универсальным двигателем, который получит преимущество над силой животных, падающей воды [1] и потоков воздуха. Перед первыми

двигателями она имеет то преимущество, что экономнее их, перед двумя остальными — неоцененное преимущество, что может работать всегда и везде и никогда не прерывать своей работы.

Если когда-нибудь улучшения тепловой машины пойдут настолько далеко, что сделают дешевой ее установку и использование, то она соединит в себе все желательные качества и будет играть в промышленности такую роль, всю величину которой трудно предвидеть.

Ибо она не только заменит имеющиеся теперь в употреблении двигатели удобным и мощным двигателем, который можно повсюду перенести и поставить, но и даст тем производствам, к которым будет применена, быстрое развитие и может даже создать новые производства.

Наибольшая услуга, оказанная тепловой машиной Англии, есть несомненно возрождение деятельности угольных копей, грозивших совсем заглохнуть, вследствие все возрастающей трудности откачивать воду и подымать уголь<sup>1)</sup>. Во вторую очередь надо поставить услугу, оказанную производству железа, как благодаря широкой замене дров углем как раз в тот момент, когда естественные запасы древесного топлива приходили к концу, так и благодаря машинам всякого рода, применение которых позволила или облегчила тепловая машина.

Железом и огнем, как известно, питаются и поддерживаются механические производства. В Англии, может быть, не существует ни одного промышленного заведения, существование которого не было основано на употреблении этих двух агентов и их широком использовании. Отнять у Англии в настоящее время ее паровые машины, это означало бы разом отнять у нее и железо и уголь, отнять у нее все источники богатства, уничтожить все средства к процветанию, это означало бы уничтожить эту великую мощь. Уничтожение флота, который

---

<sup>1)</sup> Можно утверждать, что в Англии, со времени изобретения тепловых машин, добыча угля удесятерилась. Приблизительно то же имеет место относительно добычи меди, олова и железа. Действие, которое тепловая машина произвела полвека тому назад на копи Англии, ныне повторяется на серебряных и золотых рудниках Нового Света, — рудниках, которые сокращались изо дня в день, главным образом, благодаря неудовлетворительному действию машин, откачивавших воду и поднимавших руду.

она считает своей главной опорой, было бы для нее менее гибельным.

Надежное плавание паровых кораблей можно рассматривать, как совершенно новое искусство, обязанное тепловой машине. Тепловая машина позволила установить правильное и быстрое сообщение через морские проливы и по большим рекам Старого и Нового Света. Она позволила пройти через дикие страны, куда еще недавно можно было едва проникнуть, позволила принести плоды цивилизации в такие точки земного шара, где их иначе пришлось бы ждать еще долгие годы. Плавание с помощью тепловых машин сближает в некотором роде наиболее отдаленные нации. Паровая машина связывает народы земли, как если бы они все жили в одном и том же месте. В самом деле уменьшить продолжительность, утомительность, ненадежность и опасности путешествий, разве это не значит уменьшить расстояние?<sup>1)</sup> [2].

Тепловая машина, как и большинство человеческих изобретений, родилась из почти бесформенных попыток, приписываемых различным людям; истинный же автор остается неизвестен. Но не в этих попытках заключается существенная часть открытия, а в последовательных усовершенствованиях, приведших тепловую машину в ее современный вид. Приблизительно такое же расстояние отделяет первый прибор, развивавший силу расширения пара, от современной машины, какое отделяет первый плот, построенный людьми, от многопалубного корабля.

Если честь открытия должна принадлежать той нации, в которой оно получило рост и развитие, то здесь в этой части нельзя отказаться Англии: Савери, Ньюкомен, Смитсон, знаменитый Уатт, Вульф (Woolf), Треветик (Treverteek) и некоторые другие английские инженеры являются истинными создателями тепловой машины; в их руках она прошла через все последовательные ступени усовершенствований. Естественно, что изобретение появляется и особенно развивается там, где в нем имеется наибольшая потребность.

---

1) Мы говорим, уменьшить опасности путешествий: в самом деле, если употребление тепловых машин на корабле и представляет некоторые опасности, впрочем весьма преувеличиваемые, то они с избытком искупаются возможностью всегда держаться на посещаемом и хорошо известном пути и противостоять усилиям ветра, когда он несет корабль на берег, мель или рифы.

Несмотря на работы всякого рода, предпринятые относительно паровых машин, несмотря на удовлетворительное состояние, в которое они теперь приведены, их теория весьма мало подвинута и попытки их улучшить почти всегда руководились случаем.

Часто поднимали вопрос: ограничена или бесконечна движущая сила тепла<sup>1)</sup> [3], существует ли определенная граница для возможных улучшений, граница, которую природа вещей мешает перешагнуть каким бы то ни было способом,—или, напротив, возможны безграничные улучшения? Так же долгое время искали и ищут теперь, не существует ли агентов, предпочтительных водяному пару, для развития движущей силы огня; не представляет ли, например, атмосферный воздух в этом отношении больших преимуществ. Мы ставим себе задачу подвергнуть здесь эти вопросы внимательному рассмотрению.

Явление получения движения из тепла не было рассмотрено с достаточно общей точки зрения. Его исследовали только в машинах, природа и образ действия которых не позволяли ему принять того полного развития, на которое оно способно. У подобных машин это явление оказывается в искаженном и неполном виде; поэтому трудно узнать его основы и изучить его законы.

Чтобы рассмотреть принцип получения движения из тепла во всей его полноте, надо его изучить независимо от какого-либо механизма, какого-либо определенного агента; надо провести рассуждения, приложимые не только к паровым машинам, но и ко всем мыслимым тепловым машинам<sup>2)</sup>, каково бы ни было вещество, пущенное в дело, и каким бы образом на него ни производилось воздействие.

Машины, не получающие движения от тепла, а имеющие двигателем силу человека или животных, падение воды, поток воздуха и т. д., могут быть изучены до самых мелких деталей

---

<sup>1)</sup> Мы употребляем здесь выражение движущая сила, чтобы обозначить полезное действие, которое может дать двигатель. Это действие всегда возможно свести к поднятию груза на определенную высоту; оно имеет, как известно, измерением произведение из груза на высоту, на которую груз поднят.

<sup>2)</sup> Мы различаем здесь паровые машины и тепловые машины вообще: последние могут употреблять любой агент, водяной пар или что-нибудь другое для развития движущей силы.

посредством теоретической механики. Все случаи предвидены, все возможные движения подведены под общие принципы, прочно установленные и приложимые при всех обстоятельствах. Это — характерное свойство полной теории. Подобная теория, очевидно, отсутствует для тепловых машин. Ее нельзя получить, пока законы физики не будут достаточно расширены и достаточно обобщены, чтобы наперед можно было предвидеть результаты определенного воздействия теплоты на любое тело.

Мы будем в последующем предполагать знание, хотя бы приблизительное, различных частей, составляющих обычную паровую машину. Поэтому мы считаем излишним объяснять, что такое топка, паровой котел, паровой цилиндр, поршень, холодильник и т. д.

Получение движения в паровых машинах всегда сопровождается одним обстоятельством, на которое мы должны обратить внимание. Это обстоятельство есть восстановление равновесия теплорода [4], т.-е. переход теплорода от тела, температура которого более или менее высока, к другому, где она ниже. В самом деле, что происходит в паровой машине, находящейся в движении? Теплород, полученный в топке благодаря горению, проходит через стенки котла, дает рождение пару и с ним как бы соединяется. Пар увлекает его с собой, несет сперва в цилиндр, где он выполняет некоторую службу, и оттуда в холодильник, где, соприкасаясь с холодной водой, пар сжижается. Холодная вода холодильника поглощает в конечном счете теплород, полученный сгоранием. Она согревается действием пара, как если бы была поставлена непосредственно на топку. Пар здесь только средство переноса теплорода; он выполняет ту же роль, что и при отоплении бани паром, с той только разницей, что здесь его движение становится полезным.

В процессах, которые мы описали, легко узнать восстановление равновесия теплорода, его переход от тела более или менее нагретого к телу более холодному. Первое из этих тел — сожженный в топке воздух, второе — вода холодильника. Восстановление равновесия теплорода происходит между ними, если не полностью, то во всяком случае отчасти, так как с одной стороны сожженный воздух, выполнив свою роль, побыв в соприкосновении с котлом, уйдет в трубу с температурой

более низкой, чем та, которую он получил при сгорании; и, с другой стороны, вода холодильника, оживив пар, удалится из машины с температурой более высокой, чем она имела первоначально.

Возникновение движущей силы обязано в паровых машинах не действительной трате теплорода [5], но его переходу от горячего тела к холодному, т.-е. восстановлению его равновесия,—равновесия, которое было нарушено некоторой причиной, будь то химическое действие, как горение, или что-нибудь иное. Мы увидим, что этот принцип применим ко всем машинам, приводимым в движение теплотой.

Согласно этому принципу, недостаточно создать теплоту, чтобы вызвать появление движущей силы: нужно еще добить холода; без него теплота стала бы бесполезна. В самом деле, если бы вокруг нас были тела только такие же горячие, как и топка, каким бы образом можно было сконденсировать пар? Куда бы его деть, раз он получен? [6] Не следует думать, что его можно, как это практикуется в некоторых машинах<sup>1)</sup>, выбросить в атмосферу: атмосфера не приняла бы его. Она принимает его в обычных условиях, потому что выполняет роль большого холодильника, потому что она находится при более низкой температуре: иначе она была бы им вскоре заполнена или, вернее, была бы насыщена им еще раньше<sup>2)</sup>. Повсюду, где существует разность температур, повсюду, где

<sup>1)</sup> Некоторые машины высокого давления выбрасывают пар в атмосферу вместо того, чтобы его конденсировать: их употребляют, главным образом, там, где трудно получить достаточный приток холодной воды для конденсирования.

<sup>2)</sup> Существование воды в жидким состоянии, обязательно предполагаемое здесь, так как без нее паровые машины не могли бы действовать, возможно только при давлении, способном мешать воде испаряться, а именно давлении равном или превосходящем упругость пара при данной температуре. Если подобного давления не производилось бы атмосферным воздухом, то в одно мгновение разился бы водяной пар в количестве достаточном, чтобы произвести то же давление, и все время нужно было бы преодолевать это давление, чтобы выбрасывать пар из машины в новую атмосферу. Это равносильно преодолеванию упругости, которая остается у пара после конденсирования в обычном способе.

Если бы на поверхности земного шара царствовала очень высокая температура, какая без сомнения существует внутри него, то все воды океанов были бы в виде пара в атмосфере и не имелось бы ни одной капли в жидким состоянии.

возможно восстановление равновесия теплорода, возможно получение движущей силы. Водяной пар есть одно из средств обнаруживать эту силу, но не единственное: все тела природы могут быть применены для этого; все тела способны к изменению объема, к сжатию и расширению при действии тепла и холода; все способны при изменении своего объема побеждать некоторые сопротивления и таким образом развивать движущую силу. Твердое тело, например железный стержень, переменно нагреваемый и охлаждаемый, увеличивается и уменьшается в длине и может двигать тела, прикрепленные к его концам. Жидкость, переменно нагреваемая и охлаждаемая, увеличивается и уменьшается в объеме и может побеждать более или менее значительные препятствия, мешающие ее расширению. Газообразная жидкость способна к большим изменениям объема при изменении температуры: если она находится в сосуде, который может расширяться, например, в цилиндре с поршнем, она произведет значительные движения. Пары всех тел, способных переходить в газообразное состояние: алкоголя, ртути, серы и т. д., могут исполнять ту же роль, что и пары воды. Водяной пар, переменно нагреваемый и охлаждаемый, мог бы производить движущую силу, как и постоянные газы, т.-е. не возвращаясь в жидкое состояние. Большинство этих средств было предложено, многие даже испробованы, хотя до сих пор и без заметного успеха.

Мы показали, что в паровых машинах движущая сила происходит благодаря восстановлению равновесия теплорода: это имеет место не только для паровых машин, но для всех тепловых машин, т.-е. для всех машин, где теплород является двигателем. Очевидно, теплота может быть причиной движения только тогда, когда она заставляет тела изменять объем или форму; эти изменения происходят не от постоянства температуры, но именно вследствие переменного действия тепла и холода: чтобы нагреть какое-либо тело, надо иметь более теплое тело, чтобы его охладить — более холодное. Необходимо отнять теплород у первого из этих тел, для передачи второму через посредство промежуточного вещества. Это-то и означает восстановить, или, по крайней мере, стараться восстановить равновесие теплорода.

Здесь уместно задать себе следующий одновременно любопытный и важный вопрос: неизменна ли по величине движу-

щая сила тепла, или она меняется вместе с агентом, с помощью которого она развивается, с промежуточной средой, выбранной как орудие действия теплоты?

Ясно, что этот вопрос может быть сделан только для заданного количества тепла<sup>1)</sup> и для заданной разности температур. Например, пусть тело *A* поддерживается при температуре 100°, а другое тело *B* при температуре 0°, и спрашивается, какое количество движущей силы может быть получено при переносе определенного количества теплорода (например того, которое необходимо, чтобы расплавить килограмм льда) от первого из этих тел ко второму; спрашивается, будет ли это количество движущей силы обязательно ограниченным, меняется ли оно с веществом, употребляемым для ее проявления, представляет ли водяной пар в этом отношении более или менее значительные преимущества перед парами алкоголя, ртути, перед постоянным газом или каким-либо другим веществом.

Мы попытаемся ответить на эти вопросы с помощью установленных выше понятий.

Очевидно само собой, как выше указано, или по крайней мере становится очевидным после размышления о расширении производим теплотой, следующее: повсюду, где имеется разность температур, может происходить возникновение движущей силы [7]. Обратно, повсюду, где можно затратить эту силу, возможно образовать разность температур, возможно нарушить равновесие теплорода. Удар, трение тел, разве это не суть средства поднять их температуру, привести их в более теплое состояние, чем окружающие предметы, нарушить равновесие теплорода там, где это равновесие прежде существовало? То, что температура газообразных жидкостей повышается при сжатии и понижается при разрежении, есть результат опыта. Вот верное средство изменять температуру тел и нарушать равновесие теплорода столько раз, сколько вздумается, посредством одного и того же тела.

<sup>1)</sup> Мы считаем здесь излишним объяснять, что такое количество теплорода или количество тепла (мы употребляем оба выражения без различия), ни описывать, как эти количества измеряются калориметром. Мы также не объясняем, что такое скрытая теплота, температура, теплоемкость и т. д.: читатель должен знать эти понятия из изучения элементарных сочинений по физике и химии.

Водяной пар, употребленный обратным образом, чем его употребляют в паровых машинах, можно рассматривать как средство нарушать равновесие теплорода [8]. Чтобы в этом убедиться, достаточно внимательно продумать, каким образом получается движущая сила действием теплоты на водяной пар. Представим себе два тела *A* и *B*, поддерживаемые оба при постоянной температуре, при чем температура *A* выше температуры *B*: эти два тела, которым можно отдавать теплоту и брать ее не меняя их температуры, будут служить двумя бесконечными резервуарами теплорода. Мы назовем первое нагревателем, второе — холодильником.

Если мы хотим получить движущую силу, перенося определенное количество тепла от тела *A* к телу *B*, то можно поступать следующим образом:

1°. Отнять теплород от тела *A*, для образования пара, т.-е. заставить выполнить это тело роль топки или, вернее, металла, из которого сделан котел в обычных машинах; мы предполагаем, что пар образуется как раз при температуре тела *A*.

2°. Впустить пар в расширяющийся сосуд, как, например, цилиндр с поршнем; объем сосуда увеличится, а вместе с тем увеличится объем и пара. Расширявшийся пар понизит свою температуру, как это случается со всеми упругими жидкостями [9]; предположим, это разрежение велось до тех пор, пока температура не станет равняться температуре тела *B*.

3°. Сконденсировать пар, соприкасая его с телом *B* и производя на него одновременно постоянное давление, покуда он окончательно не превратится в жидкость. Тело *B* выполнит здесь роль воды холодильника, с той только разницей, что оно конденсирует пар, не смешиваясь с ним и не меняя своей температуры<sup>1)</sup>.

---

1) Можно было бы удивиться, что тело *B*, будучи при той же температуре как пар, может его оживить: строго говоря, это конечно невозможно; но так как малейшая разность в температуре вызывает конденсацию, то этого достаточно, чтобы сохранить правильность наших рассуждений. Совершенно также в дифференциальном исчислении достаточно, чтобы пренебрегаемые величины можно было рассматривать, как бесконечно убывающие, по отношению к величинам сохранямым в уравнении, чтобы быть уверенным в правильности результата. Тело *B* сгущает пар, не меняя своей температуры: это следует из нашего предположения, ибо мы приняли, что это тело поддерживается при постоянной температуре. Ог него отнимают столько теплорода, сколько ему приносит пар. В таком состоянии находится металл холодиль-

Операции, которые здесь описаны, могут быть проведены в одном направлении или в обратном. Ничто не препятствует образованию пара с помощью теплорода тела *B* и при температуре этого тела, сжатию его так, чтобы он нагрелся до температуры тела *A*, и, наконец, конденсации его в соприкосновении с этим телом и продолжению сжатия до полного оживления.

Нашими первыми операциями одновременно получалась движущая сила и производился перенос теплорода от тела *A* к телу *B*; обратными операциями одновременно затрачивалась движущая сила и возвращался теплород от тела *B* к телу *A*. Но если действовать тем и другим образом и тем же количеством пара, и нет никаких потерь ни в движущей силе, ни в теплороде, то количество движущей силы, произведенной в первом случае, будет равно тому, которое было затрачено во втором, и количество теплорода, прошедшее в первом случае от тела *A* к телу *B*, будет равно количеству возвратившегося во втором случае от тела *B* к телу *A*; можно делать бесконечное число операций этого рода, так что, в конце, концов не будет ни произведенной движущей силы, ни перехода теплорода от одного тела к другому.

Значит, если бы существовали средства более выгодные для использования тепла, чем те, которыми мы пользовались, т.-е. если бы было возможно, каким бы то ни было методом, получить от теплорода большее количество движущей силы, чем мы получили первой серией наших операций, то стоило бы только употребить часть этой силы для возвращения указанным методом теплорода от тела *B* к телу *A*, от холодильника к нагревателю, и первоначальное состояние было бы восстановлено; можно было бы возобновить подобную операцию и действовать так и далее: это было бы не только вечным движением, но и беспредельным созданием движущей силы без за-

---

ника, если конденсирование пара происходит подведением снаружи холодной воды, как это прежде делалось у многих машин. Также может находиться вода в резервуаре на постоянном уровне, если с одной стороны ее утсекает столько, сколько притекает с другой.

Можно даже представить себе, что тела *A* и *B* сами собой остаются при постоянной температуре, хотя бы они теряли или приобретали определенные количества тепла. Если, например, тело *A* было бы паром при температуре его оживления и тело *B*—льдом при температуре замерзания, то, как известно, эти тела могли бы отдавать и принимать теплород, не меняя температуры.