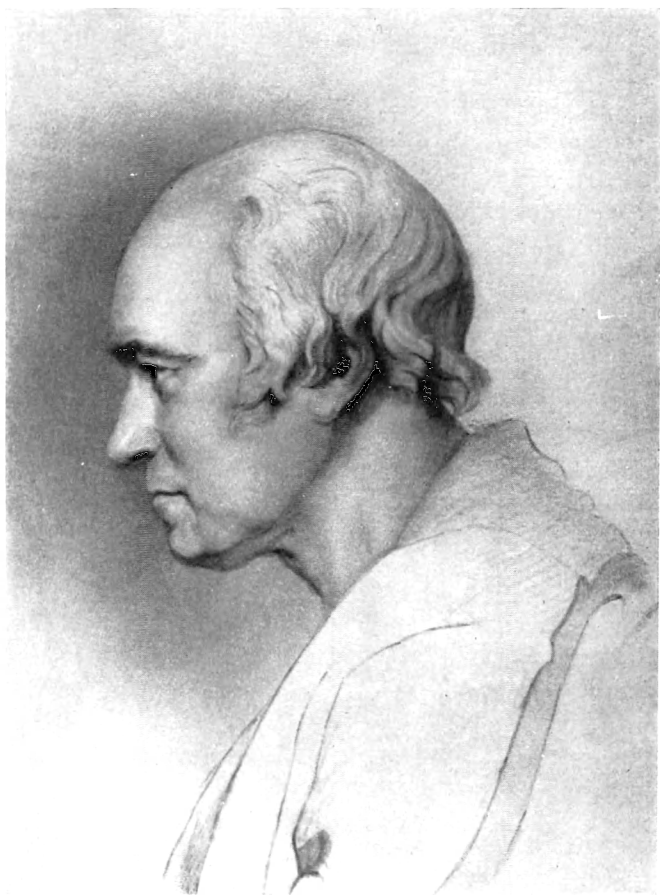


АКАДЕМИЯ НАУК СССР



РЕДКОЛЛЕГИЯ:

Доктор техн. наук *Л. Д. Белькинд*, доктор биол. наук *Л. Я. Бляхер*,
доктор физ.-мат. наук *А. Т. Григорьян*,
доктор физ.-мат. наук *Я. Г. Дорфман*,
академик *Б. М. Кедров*,
доктор экон. наук *Б. Г. Кузнецов*,
доктор биол. наук *А. И. Купцов*, доктор ист. наук *Д. В. Ознобишин*,
доктор физ.-мат. наук *И. Б. Погребысский*,
канд. техн. наук *З. К. Новокишанова-Соколовская* (ученый секретарь),
доктор хим. наук *Ю. И. Соловьев*,
канд. техн. наук *А. С. Федоров* (зам. председателя),
канд. техн. наук *И. А. Федосеев*,
доктор хим. наук *П. А. Фигуровский* (зам. председателя),
канд. техн. наук *А. А. Чеканов*, доктор техн. наук *С. В. Шухардин*,
академик *А. Л. Яншин* (председатель)



ДЖЕМС УАТТ

И. Я. Конфедератов

**ДЖЕМС УАТТ—
изобретатель
паровой машины**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Москва 1969

В книге освещены жизнь и основные моменты деятельности знаменитого английского изобретателя Джемса Уатта (1736—1819), имя которого получило широкую известность в истории науки в связи с его трудами по коренному усовершенствованию паровой машины. Автор сделал попытку проникнуть в творческий процесс изобретателя, раскрыть его логическую последовательность, обусловленную как личными качествами изобретателя, так и уровнем современных ему знаний в области естествознания и техники. Такая постановка задачи позволяет достаточно аргументированно раскрыть перед читателем творческое богатство и неутомимую изобретательность Джемса Уатта.

Книга адресуется всем, интересующимся вопросами истории техники.

Предисловие

О жизни и творчестве Джемса Уатта написано немало книг на многих языках мира. Редкая книга по общей истории техники не останавливается на его трудах. О нем писали К. Маркс и Ф. Энгельс.

Тем не менее автор взял на себя труд написать настоящую книгу не только для того, чтобы выразить традиционную дань уважения советского народа к одному из талантливых представителей народа Великобритании в связи с памятной датой — 225-летием со дня рождения Уатта. Творчество Джемса Уатта еще не исчерпано полностью. Это отчасти можно объяснить тем, что ряд авторов исследовал его труды до того, как общественная значимость парового двигателя была определена классиками научного коммунизма. Другая часть исследователей исходила из предпосылки, что изобретение паровой машины всецело зависело лишь от личных устремлений Уатта. Единственная на русском языке книга о Джемсе Уатте, написанная выдающимся ученым чл.-корр. АН СССР А. А. Радцигом [102], также недостаточно полно раскрывает деятельность Уатта и его историческое место среди других изобретателей паровой машины.

Многие книги о паровой машине и о Джемсе Уатте как ее изобретателе были подготовлены неспециалистами в области паровых машин или же написаны в те времена, когда наука еще не дала новых методов подхода к анализу работы этого типа двигателя. Недостаточно оценивался и комплекс общественных условий, в которых разворачивались события, связанные со становлением парового двигателя как нового элемента энергетики, сыгравшей такую существенную роль в промышленном перевороте. Наконец, в имеющейся литературе почти совершенно отсутствуют попытки проникновения в творческую лабораторию изобретателя, исследования путей, которыми он шел.

Работая в 1951—1954 гг. над исследованием раннего периода развития теплоэнергетики [90], автор предлагаемой книги встретился с перечисленными трудностями. Не имея возможности в то время заняться детальным изучением деятельности Уатта как одного из участников «подлинно интернационального изобретения» и более глубоко проникнуть в лабораторию его творческих исканий, автор попытался тогда лишь в той или иной степени оценить роль отдельных участников сложного процесса технических поисков, продолжавшегося свыше столетия [35].

Поэтому, когда в связи с 225-летием со дня рождения Уатта возникла мысль, поддержанная на собрании Общества Великобритании—СССР, об издании исследования о творческой деятельности Д. Уатта, автор обратился к своим разрозненным работам и заметкам. Имеющиеся материалы были дополнены новыми сведениями, в частности полученными путем личного ознакомления автора с экспонатами о жизни и деятельности замечательного сына английского народа, представленными в Южно-Кенсингтонском музее в Лондоне.

Книга написана для широкого круга читателей. По мнению автора, она дополнит те сведения, которые известны из трудов его предшественников на этом поприще. Сознавая всю трудность и ответственность поставленной задачи, автор заранее приносит извинения за возможные недочеты в работе и будет благодарен за все замечания и отзывы.

Автор

Историческая характеристика развития техники к началу деятельности Д. Уатта

Деятельность Д. Уатта совпала по времени с тем периодом развития общества, который Ф. Энгельс определил термином «промышленная революция». Этот переходный период от капитализма в его мануфактурной стадии на более высокую стадию — промышленного капитализма — все-сторонне раскрыт в работах К. Маркса, Ф. Энгельса и В. И. Ленина. В. И. Ленин, в частности, писал, что «переход от мануфактуры к фабрике знаменует полный технический переворот, ниспровергающий веками нажитое ручное искусство мастера, а за этим техническим переворотом неизбежно идет самая крутая ломка общественных отношений производства, окончательный раскол между различными группами участвующих в производстве лиц, полный разрыв с традицией, обострение и расширение всех мрачных сторон капитализма» [6, стр. 455].

В оценке этого процесса В. И. Ленин применил формулировку Ф. Энгельса, указав, что этот процесс «...принято называть в экономической науке *industrial revolution* (промышленная революция)» [5, стр. 231]. Причины выхода Англии как колониальной страны на первое место в мире по уровню промышленного развития в начале и в ходе развития промышленной революции К. Маркс объяснял тем, что сокровища, добытые за пределами Европы посредством грабежа, порабощения туземцев, убийств, притекали в метрополию и тут превращались в капитал.

Учитывая отмеченный в предисловии характер настоящего издания, а также достаточно полное освещение в ли-

температуре общественно-экономического содержания и исторического значения промышленной революции, автор не считает необходимым подробно останавливаться на этих вопросах.

Значительно слабее исследована техническая сторона промышленной революции, что можно проиллюстрировать на литературных источниках и увидеть из их сопоставления с текстом патента Уатта.

В своем патенте Уатт писал:

«Мое второе усовершенствование паровой, или огненной, машины состоит в том, чтобы использовать упругость пара для движений поршня как вверх, так и вниз попеременно путем создания вакуума соответственно над или под поршнем и одновременно заставить пар действовать на поршень в той полости цилиндра, в которой не происходит выхлопа; машина, сконструированная таким образом, может производить вдвое большее количество работы (при цилиндре тех же размеров), чем машина, где пар действовал бы только в одном направлении — или вверх, или вниз» [45, т. III].

Приведенные слова Уатта переписываются авторами книг о нем начиная с Фарей [27], книга которого издана в 1827 г., до наших дней.

«Машина, сконструированная таким образом (т. е. двойного действия.— *И. К.*), может произвести двойное количество работы (с цилиндром тех же размеров) или развить удвоенную мощность в то же время», — писал Фарей.

У Зернова написано: «Такая машина двойного действия дает работу вдвое большую, чем машина простого действия» [85]. И даже в современных изданиях об Уатте еще иногда пишут о том, что пар в этой машине оказывал давление по обе стороны поршня и, таким образом, сила машины значительно возрастала.

Итак, за 166 лет от патента Уатта, за 131 год от издания книги Фарей все авторы повторяли слова Уатта, оценивая его вклад в энергетику только с ограниченных позиций «удвоения мощности».

Первое верное определение социального значения трудов Уатта дано К. Марксом: «Только с изобретением второй машины Уатта, так называемой паровой машины двойного действия, был найден первичный двигатель, который, потребляя уголь и воду, сам производит двигатель-

ную силу и мощность которого находится всецело под контролем человека, — двигатель, который подвижен и сам является средством передвижения, который, будучи городским, а не сельским, как водяное колесо, позволяет концентрировать производство в городах, вместо того чтобы, как этого требовало водяное колесо, рассеивать его в деревне, двигатель, универсальный по своему техническому применению и сравнительно мало зависящий от тех или иных условий места его работы. Великий гений Уатта обнаруживается в том, что в патенте, который он получил в апреле 1784 г., его паровая машина представлена не как изобретение лишь для особых целей, но как универсальный двигатель крупной промышленности. Он упоминает здесь о применениях, из которых некоторые, как, например, паровой молот, введены лишь более чем через полвека» [1, стр. 388—389].

Возникает задача раскрытия технической стороны понятия «универсальный двигатель», не выполнявшаяся до настоящего времени в отношении изобретательской деятельности Д. Уатта.

Единственная подобная попытка, о которой упоминалось выше, была предпринята автором [90] в связи с исследованием начального периода развития теплоэнергетики.

Очевидно, что такой анализ должен осуществляться с позиций современной науки, современных понятий о промышленной революции, с которой была связана деятельность Уатта, об объекте его изобретения — паровой машине.

Что такое машина?

Первое определение понятия «машина» было дано еще в I в. до н. э. римским зодчим Марком Витрувием Поллионом [100], писавшим в полном соответствии с техникой своего времени о том, что «машина представляет собой связанное соединение деревянных частей, обеспечивающее большие преимущества для поднятия грузов».

Второе определение этого понятия, встречающееся в литературе, было сделано в 1875 г. профессором Берлинского университета Ф. Рело [53]: «Машина есть искусственное сооружение, служащее для того, чтобы заставить силы природы работать для наших нужд вполне определенным образом, при совершении движений, заранее вполне определенных и обусловленных исключительно устрой-

ством самой машины, но не зависящих совершенно от передаваемых машине сил».

Определение Рело оказалось достаточно жизненным, и в современной литературе [77] можно прочесть его модификацию: «Машина — механизм или сочетание механизмов, осуществляющее определенные целесообразные движения для преобразования энергии или производства работы».

Широкое внедрение кибернетических машин потребовало пересмотра определения понятия «машина», не ограничивающего свое значение областью механики твердых, жидких и газообразных тел.

Автором этих строк была предложена классификация [92], согласно которой современные машины подразделялись на: 1) транспортные (машина Витрувия); 2) технологические, изменяющие обрабатываемый предмет; 3) энергетические, преобразующие энергию из одной формы в другую; 4) контрольно-управляющие (системы автоматического контроля и управления) и, наконец, 5) логические. Принятый здесь порядок классификации по функциям, значение которых заключается в полной или частичной замене машиной труда человека, является одновременно порядком хронологическим, что весьма существенно для понимания технического содержания промышленной революции, в процессе развития которой сочетание технологической и энергетической функций машин переходило на новый уровень.

Технологическая машина развивалась по трем путям [89]:

1) ручное орудие превращалось в машину за счет своего образного «роста». Ручной молот, например, не изменив своего назначения и названия, «вырос» в молот, приводить в движение который стало сначала водяное колесо, а позднее — энергия пара или электричества. Ручной жернов «вырос» в мельничный постав и т. д.;

2) ручное орудие передавалось из рук человека в стальные «руки» машины. Лесопильная рама «взяла» сразу группу пил, суппорт токарного станка «взял» резец, долбежного — зубило и т. д.;

3) работавшие в механических процессах (плетение, вязанье, прядение) в качестве орудия пальцы рабочего были заменены деталями машин: валиками, иглами, крючками и т. д.

У энергетической машины был свой путь развития [91], связанный с использованием биологической энергии человека и (позднее) прирученных животных, гидравлической, ветровой, тепловой и ядерной энергии. Деятельность Д. Уатта относится к тому периоду, когда технологическая машина третьей группы начала объединяться с энергетической тепловой машиной, ранним представителем которой по ряду причин, раскрываемых ниже, явилась паровая машина.

Как пло объединение рабочих машин (транспортной и технологической) с энергетическими?

Впервые задача замены биологической энергии человека энергией других источников встала в связи с необходимостью усовершенствования двух древнейших машин: одной технологической (мельничный жернов), второй — транспортной (водоподъемный насос). Постановка задачи заключала в себе как потребность в ее решении, так и возможность изыскания этого решения. Потребность проистекала из трудоемкости процессов размол и водоподъема, а возможность — из того, что ручная мельница, как и ручной насос, потребляла энергию в организованной форме движения: в первом случае — вращательного, во втором — возвратно-поступательного.

Выполнение таких простых форм движения могло осуществляться сначала животным, ходящим по кругу, а впоследствии — путем использования энергии водных потоков несложным устройством в виде водяного колеса, а там, где нет водных источников энергии, — ветрового колеса.

Но, получив возможность приводиться в движение от более мощного двигателя, чем человек или животное, жернов и насос стали «расти», увеличиваться в размерах, весе при одновременном повышении воспринимаемых от двигателя усилий и результативности производимой работы. Водяное колесо создавало предпосылки для «роста» и молота, и ворота, и бревнотаски, и дробилки, и воздуходувного меха, т. е. всего комплекса машин заводов XVI—XVIII вв. От водяного колеса стали приводиться и технологические машины второй группы: расточные и сверлильные станки в производстве пушек, лесопильные рамы, токарные станки с ручным суппортом.

Водяное колесо прекрасно «справлялось» с рабочими машинами, пока не начала проявляться его существенная

ограниченность — локальность применения. Эта ограниченность явилась одним из побудительных мотивов для изыскания источника энергии, свободного от локальной зависимости. Пока водяное колесо работало на мельничные поставки, потребность в энергии прекрасно сочеталась с возможностями ее удовлетворения. Затруднения начались, когда потребовалось обеспечивать энергией возникавшие все в большем числе металлургические предприятия. Тогда из маленького ручного воздуходувного меха «выросла» новая машина, чтобы снабжать воздухом кузнечные горны, печи металлургического передела и домы [93].

То, что «водяные колеса» начинают ограничивать возможности металлургии, в свое время подметил И. И. Ползунов, который писал: «...обычно в Российском государстве почти все заводы на реках построены... но не всегда за неимением таковых... За недостатком приличных для плотин водяных угодий... истекают расходы, не включая народной тягости к умираемому безвозвратно при строении плотины с ее прибором расходу» [90, стр. 201].

Еще острее локальная ограниченность водной энергии проявляется на горных выработках. В связи с углублением шахт и рудников откачка воды становилась все более затруднительной, а иногда — совершенно невыполнимой. Объем этих работ возрастал в результате увеличения глубины подъема и количества накапливающейся в глубоких рудниках и шахтах воды.

Таким образом, необходимость в новом источнике энергии стала категорической, а качество его очевидным: он должен был в отличие от локальной водной энергии, говоря словами К. Маркса, сравнительно мало зависеть от тех или иных условий места его работы.

Вездесущий источник энергии! Найти его — так стояла самая острая энергетическая проблема в XVII и XVIII вв.

Решение этой проблемы в принципе было, как казалось современникам, найдено в открытии итальянским физиком Эванжелистой Торичелли в 1743 г. атмосферного давления, блестяще продемонстрированного в известных опытах Отто фон Герике с Магдебургскими полушариями [73, стр. 97, 124, 125]. Но для того чтобы атмосфера стала «работать», необходимо предварительно затратить работу на получение вакуума. Над этой задачей билось много изобретателей [8, 87, 101]. Они независимо друг от друга пришли к единственному правильному решению: вакуум

можно получить путем конденсации водяного пара при охлаждении в замкнутом пространстве. Одно из частных решений этой задачи и составило главное содержание изобретательской деятельности Уатта.

Как только принципиальная возможность получения вакуума была найдена, возникли предпосылки для осуществления цикла парового двигателя, впервые правильно описанного Д. Папеном [47, 48, 49]. За неудачными попытками Д'Акрса (Торнтон) [8] следуют работы Морланда [105], самого Папена, Гюйгенса, Готфрейля [90]. Они оказались безуспешными, потому что четыре конструктивных элемента паросиловой установки — парогенератор, двигатель, конденсатор и насос — авторы пытались объединить в одном конструктивном элементе — паровом цилиндре. И только случайно некоторые изобретатели иногда приходили к решению отделить парогенератор от двигателя. Но такое решение (Д. Д. Порты, С. де Кю и др.) не связывалось обычно с получением вакуума для «поколения» атмосферы.

Томас Севери, отделив парогенератор от машины (в данном случае совмещенной с вытеснительным насосом), впервые ввел в промышленную практику паровую установку (патент 1698 г.) для откачивания воды из шахт и рудников [90]. В этом первом тепловом двигателе камера была органически слита с насосом. Установку можно было периодически превращать то в насос, то снова в двигатель. Очевидно, это был двигатель единственного назначения: он мог только поднимать воду.

Тем не менее интересно отметить, что в своем патенте Т. Севери указывал на то, что его насос мог заменить ветровое колесо и водяной двигатель в «производстве движущей силы для фабрик всех видов» [46]. Эта часть патента Севери замечательна тем, что содержала в себе как некоторые технические, так и экономические идеи, подготавливавшие почву для будущей промышленной революции. Выражение Севери «производство движущей силы для фабрик всех видов» есть не что иное, как элементарная формула универсального двигателя — понятия, введенного К. Марксом впервые только при описании и оценке изобретения Д. Уатта. Следовательно, несмотря на то, что специфические условия начала промышленной революции начали явно складываться с 30-х годов XVIII в., предпо-

сылки к ее осуществлению, а вместе с ними и потребность в универсальном двигателе возникли значительно раньше.

Севери предлагал своеобразное техническое решение: объединив вместе положительные качества водяного колеса и парового насоса, создать двигатель, который был бы (в полном соответствии с формулировкой Маркса), с одной стороны, универсальным по своему техническому применению, а с другой стороны, сравнительно мало зависящим в своем местопребывании от тех или иных локальных условий. Действительно, возможность завезти топливо в любое место страны и питать им паровой насос снимала проблему «местопребывания» установки, а равномерное, однонаправленное, непрерывное вращательное движение вала водяного колеса обеспечивало универсальность ее применения, т. е. способность приводить в движение рабочие машины любых фабрик, как это и было заявлено в патенте Т. Севери.

Значит ли это, что универсальный двигатель (в формулировке Маркса) был изобретен Т. Севери?

Нет, не значит! Это был не двигатель, а комбинация двух двигателей, своеобразная установка переходного периода, аналогию которой мы сейчас наблюдаем в ...атомных станциях. От старого двигателя — водяного колеса — была взята универсальность по техническому применению, от нового — парового насоса — независимость от локальных условий. Чем она вызвана? Вездесущностью атмосферного давления? Нет, так как двигатель-насос Т. Севери использовал пар избыточного давления и был не «атмосферным», а паровым насосом. О независимости от местных условий мы сказали выше: «...возможность в любое место страны завезти топливо». Почему это возможно? Потому, что 1 кг топлива (в среднем по всем его видам) способен произвести примерно 3 000 000 кгм работы, а 1 кг воды по «запасу работы» равен высоте напора, т. е. содержит в себе потенциальную энергию порядка 5—10 кгм — в сотни тысяч раз меньше, чем горючее. Вот где раскрепощение от локальных условий, вот где концентрация промышленности в городах, а не рассеивание ее в деревне, как отмечал Маркс по поводу патента Уатта 1784 г.

В современной технике можно наблюдать аналогичное явление, но на новом, неизмеримо более высоком уровне. Один килограмм атомного горючего обладает запасом энергии, достаточным, чтобы произвести $8 \cdot 10^{12}$ кгм работы.

Это позволяет, например, атомному ледоколу плавать месяцами, не пополняя запас горючего. Но атомного двигателя не существует. Атомный реактор, как насос Севери с водяным колесом, объединен с паровой турбиной, двигателем, универсальным по техническому применению.

Насколько, кем и как была разрешена техническая проблема окончательного перехода от гидравлической энергии к тепловой, к историческому моменту начала деятельности Д. Уатта?

Решение Севери об объединении парового насоса с водяным колесом было крайне неудовлетворительным. Наиболее узкое место его заключалось в низкой экономичности. Если при подъеме воды из шахт и рудников установка Севери могла работать с коэффициентом полезного действия 0,6% (определенным непосредственными опытами известных французских ученых Гей-Люссака, Прони и Жирара) [101, стр. 27], то при переходе к низким давлениям комбинированных установок к.п.д. снижался до 0,3%, т. е. вдвое. Если еще учесть, что значительную долю воды приходилось затрачивать на конденсацию пара (как за счет нагрева воды в замкнутой системе охлаждения, так и за счет увеличения ее количества при разомкнутой системе) и что, кроме того, часть работы затрачивалось на вращение водяного колеса, имевшего в то время к. п. д. порядка 30—40%, то общий к. п. д. комбинированной установки падал до 0,1%. Иными словами, только одна тысячная доля тепла, заключенного в топливе, использовалась на полезную работу.

А развитие промышленности требовало универсального двигателя все острее и острее. И поскольку комбинация двух двигателей была решением паллиативным, она не снимала остроты проблемы, которая во времена Уатта отчетливо сформулировалась в следующем требовании: придать независимому от местных условий тепловому двигателю универсальность по техническому применению. Последняя же в свою очередь сводилась прежде всего к тому, чтобы принципиально периодически действующий тепловой двигатель заставить отдавать потребителю работу непрерывно.

Что было сделано предшественниками Уатта в решении большой и сложной проблемы, которую Ф. Энгельс назвал «первым подлинно интернациональным изобретением»?

ТАБЛИЦА 1

Историческая последовательность и элементы развития	Автор	Год
<i>1-й этап</i>		
Определен удельный объем водяного пара	Д. де Порта	1550
Введена конденсация пара для получения вакуума	Т. Севери	1698
Описан цикл парового двигателя	Д. Папен	1698
Предложен паровой цилиндр	Лейбниц	1680
Предложено избыточное давление в поршневой паровой установке	Я. Леупольд	1724
Применен отдельный конденсатор, исследованы свойства водяного пара	Д. Уатт	1769
<i>2-й этап</i>		
Осуществлен подъем воды давлением пара	С. де Ко	1615
Предложены две камеры для получения непрерывного действия насосной установки	Ворчестер	1663
Построен паровой насос, получивший промышленное применение	Т. Севери	1702
Введена смесительная конденсация в цилиндре	Деагюлье	1715
<i>3-й этап</i>		
Сооружена балансирная насосная установка, двигатель отделен от рабочей машины	Т. Ньюкомен	1705
<i>4-й этап</i>		
Предложено грузовое аккумулятивное как метод непрерывной отдачи работы потребителю	Д. Гуль	1736
Спроектирована двухцилиндровая машина для непрерывной отдачи работы потребителю	И. И. Ползунов	1763
Введены два цилиндра для паровой повозки	Ж. Кюньо	1769
Применено кинетическое аккумулятивное для непрерывного вращательного движения вала машины	Васбру	1779
Введен цилиндр двойного действия как метод непрерывной отдачи работы потребителю	Д. Уатт	1782

В книге, посвященной деятельности Уатта, этот вопрос носит вспомогательный характер, поэтому автор ограничился кратким перечислением основных этапов открытия физических принципов работы парового двигателя и изобретения его конструктивных форм в табл. 1. Каждому участнику «подлинно интернационального изобретения» здесь отведено место, соответствующее сделанному им вкладу. Далее, ссылаясь на эту таблицу, автор дает только краткие пояснения технической сущности включенных в нее вопросов.

В таблицу не включены многие авторы частичных усовершенствований парового двигателя и менее прогрессивных форм решения задачи об универсальности (Фицджеральд, 1754; Окслей, 1763; Кларк, 1669; Стюарт, 1777; Пикар, 1780; Камерон, 1784; Томсон, 1793; Фальк, 1794; Картрайт, 1797; Горнбловер, 1798; Садлер, 1798). Все перечисленные изобретатели сконструировали, построили и ввели в эксплуатацию универсальные по своему техническому применению паровые двигатели, полностью оправдывающие определение Энгельса о «подлинно интернациональном изобретении». Не перечислены и имена выдающихся инженеров, которые вносили значительные усовершенствования в насосную установку Ньюкомена — Коули: Смитона, Бейтона и др. [24]

Следовательно, автору предстоит разобраться не только в том, как, зачем и почему Д. Уатт принял участие в большом и нужном деле изобретения универсального двигателя, но и в том, почему десятки людей, решавших ту же задачу и каждый по-своему решивших ее, остались забытыми, а изобретение паровой машины связывают только с именем Джемса Уатта. Для этого надлежит рассмотреть еще один вопрос в развитии паровых двигателей до начала работы с ними Уатта, вопрос, явившийся основным во всей его деятельности, поставивший его в ряд изобретателей универсального двигателя, хотя сам Уатт такой задачи перед собой не ставил.

Какую же задачу ставил он, как возникли и сложились условия этой задачи?

До начала деятельности Уатта паровые установки работали уже почти три четверти века, правда, как это видно из приведенной таблицы, они отражали собой лишь первый и второй этапы развития и становления универсального двигателя. В частности, широкое распространение

получила сначала в Англии, а позднее и на материке водоотливная установка Ньюкомена — Коули, которая, по словам Маркса, проработала свыше 90 лет, но никакого промышленного переворота не совершила.

Но эволюция этой машины подготовила значительный материал, поставила перед изобретателями много вопросов. Основным из них был, безусловно, вопрос об экономической стороне внедрения техники, основанной на новой энергетике, заменившей ограниченную в то время по своему локальному характеру гидроэнергетику.

Лошадь, используемая в рудниках взамен энергетической машины, с углублением рудников стала все хуже справляться с возложенной на нее задачей. Вот что писал по этому поводу современник начального периода развития теплоэнергетики, автор одной из конструкций паровой насосной установки, лично знавший Ньюкомена, шведский ученый Мортен Тривальд:

«Вследствие того, что пятилетний опыт применения огненной машины в королевских шахтах Кенигсберга в Венгрии показал большую экономию расходов по откачиванию воды из шахт по сравнению с прежним методом откачивания конной тягой... Горное министерство решило изъять всех лошадей, которых в настоящее время занято 500, заменив их 5 огненными и воздушными машинами, несмотря на то обстоятельство, что снабжение дровами этих машин затруднительно и дорого» [64].

Почему же министерство пошло на ликвидацию конного привода?

«Конный привод, — пишет далее Тривальд, — приводит в движение 8 парами лошадей, которые сменяются 4 раза в течение 24 часов, таким образом привод требует 32 пары лошадей в сутки. Этот привод подает 25 футов воды в минуту посредством двух комплектов насоса 8 дюймов в диаметре с ходом в $2\frac{1}{2}$ фута, что дает в сумме 5 футов и 5 ходов в минуту. Если предположить, что огненная машина будет делать только 13 шестифутовых ходов в минуту, то будет ясно видно посредством умножения (13 на 6. — И. К.), что в то же самое время, в которое конный привод поднимает 25 футов воды, огненная машина поднимает 78 футов, т. е. на 53 фута больше, чем конный привод» [64].

Оригинальный на современный взгляд метод исчисления поднимаемой воды не в кубических, а в линейных фу-

гах объясняется широко распространенным стандартом диаметров насосов и числа их ходов, сложившимся в качестве опытного оптимального для конного привода.

Заключение экономических расчетов Тривальда сводится к следующему: «Что касается стоимости лошади и устройства привода, то они обходятся в 900 имперских гульденов в месяц, в то время как огненная машина со всей ее стоимостью и расходом на дрова... обходится только в 400 имперских гульденов в месяц. Получается такая разница в производительности и стоимости, что Горное объединение решило так скоро, как это окажется возможным, оставить на откачивании воды одни лишь огненные машины».

Но не везде дело обстояло экономически так благополучно, как на Кенигсбергских рудниках. Тот же Тривальд пишет о том, что, по его личным наблюдениям, в Англии в районе Ньюкастля «...шахты считались наиболее богатыми, но настолько заливаемыми водой, что разорили две богатые семьи, которые не знали никаких других средств для откачивания воды, кроме устройств, приводимых в движение лошадьми» [64].

Однако и введение машин Ньюкомена не решало вопроса полностью. Как писал Прайс, «...машины Ньюкомена дали возможность разрабатывать копи на глубину вдвое большую, чем это было возможно раньше. Однако польза их сильно ослабляется громадным расходом топлива, так как каждая такая более или менее крупная машина расходует угля в год на 3000 фунтов стерлингов, т. е. такую сумму, что приложение машин почти не окупает себя» [101].

Итак, экономические расчеты перерастают из вопроса замены лошадей машинами в вопрос снижения расхода топлива самими машинами. От чего зависит расход топлива на одно и то же количество отданной работы? Первое предположение — от качества топлива. Проверили одну машину на разном топливе. Проверили две машины на одном и том же топливе. Да, от качества топлива зависит его расход. Но он зависит и от самой машины: на одном и том же топливе одна машина поднимала больше воды и на большую высоту, т. е. совершала большую работу, чем другая машина.

Началась длительная пора исканий, в которых принимали участие многие оставшиеся безвестными инженеры, мастера, рабочие. Имена некоторых сохранились для истории. Сохранились сведения и о их отдельных достижениях

и ошибках. Оказалась неработоспособной, например, самая большая пароатмосферная машина М. Тривальда, построенная им для откачивания воды из Даннеморских рудников в Швеции [64]. Современный расчет показал и причину ее неработоспособности: в ней парогенератор был в несколько раз меньше, чем следовало, и не мог снабжать машину достаточным количеством пара — ошибка, проистекавшая из убеждения Тривальда в том, будто в воде содержится неисчислимо количество... воздуха, который, по его мнению, и являлся рабочим агентом машины. «... Многие будут удивлены, — заявлял он, — откуда берется весь этот горячий воздух, который требует машина в своем постоянном движении. Для этих было бы полезно знать, что любая вода содержит неисчислимо количество воздуха, что легко может быть проверено путем помещения воды под колпак воздушного насоса». Принимая пар за воздух, Тривальд пишет: «Из этого замечательного свойства воздуха расширяться при нагревании и получается сила или эффект огненной машины. Что касается пара, который пропускается в цилиндр, то он является не чем иным, как влажным воздухом, нагретым в высокой степени, каждая частица воздуха окружена несравненно тонкой пленкой воды, очень напоминающей пузырь». Ошибка Тривальда основывалась на теоретических данных. Ссылаясь на опыты Роберта Бойля, он отмечал, что «...один кубический дюйм воздуха в нагретом состоянии способен заполнить пространство в 15 000 кубических дюймов и давить на окружающий воздух с тою же силою, с какой давил бы при заполнении этого пространства воздух в естественном состоянии, что, я полагаю, многие сочтут невероятным» [64]. Современный подсчет показывает, что это действительно невероятно. Увеличить объем воздуха при том же давлении («естественном состоянии» Тривальда) можно путем нагревания его до температуры порядка $4\,000\,000^{\circ}$ и то только теоретически, так как при таких температурах вещество воздуха будет переходить в состояние плазмы.

По-видимому, путь от теории к практике еще не был проторен!

А у практиков дела обстояли решительно лучше. Так, конструкторы работавшей долгие годы пароатмосферной машины Ньюкомен и Коули, по словам того же Тривальда, отказались строить машину с диаметром поршня в 33 дюйма, полагая, что для питания паром такого большого

цилиндра от котла освоенных техникой того времени размеров потребуются недостижимая форсировка паросъема. «Причиной подобного решения,— писал Тривальд,— был неверный принцип по отношению к пару, который питали в своих мыслях изобретатели, полагая, что пар восстает или генерируется путем кипячения воды пропорционально ее количеству» [64]. На таких же «неверных» с точки зрения академика Тривальда позициях стоял, очевидно, и строитель пароатмосферных машин И. И. Ползунов, писавший о «парах, из воды восстающих». Другой практик-инженер Смитон, исходя из наблюдений и опыта, начал всемерно снижать форсировку парогенераторов, устанавливая по два-три паровых котла на одну машину. В частности, три котла имела паровая водоотливная машина Кронштадтских доков, построенная по проекту Смитона в 1787 г. [83].

Соотношение между теорией и практикой в деле возникновения теплоэнергетики в ее ранней форме построения пароатмосферных машин изумительно точно определено в известной формулировке Ф. Энгельса: «Итак, практика по-своему решила вопрос об отношениях между механическим движением и теплотой: она сперва превратила первое во вторую, а затем вторую в первое. А как обстояло дело с теорией?»

Довольно печально. Хотя именно в XVII и XVIII веках бесчисленные описания путешествий кишели рассказами о диких народах, не знавших другого способа получения огня, кроме трения, но физики этим почти совершенно не интересовались; с таким же равнодушием относились они в течение всего XVIII и первых десятилетий XIX века к паровой машине» [3, стр. 431].

Но кроме машины-двигателя, тепловой машины, для которой, как писал И. И. Ползунов, «теория многим слабее практики» [см. 90, стр. 193], кроме машины-орудия, создание которой во всех ее вариантах готовило технические предпосылки для перехода ремесленной мануфактуры в капиталистическую фабрику, существовало третье звено, которое играло существенную роль в изобретении универсального двигателя и, что для нас особенно интересно, в деятельности Уатта.

Об этом третьем звене и его значении в системе машин Маркс писал следующее: «Всякое развитое машинное устройство состоит из трех существенно различных частей:—

машины-двигателя, передаточного механизма, наконец машины-орудия, или рабочей машины. Машина-двигатель действует как движущая сила всего механизма. Она или сама порождает свою двигательную силу, как паровая машина, калорическая машина, электромагнитная машина и т. д., или же получает импульс извне, от какой-либо готовой силы природы, как водяное колесо от падающей воды, крыло ветряка от ветра и т. д. Передаточный механизм, состоящий из маховых колес, подвижных валов, шестерен, эксцентриков, стержней, передаточных лент, ремней, промежуточных приспособлений и принадлежностей самого различного рода, регулирует движение, изменяет, если это необходимо, его форму, например превращает из перпендикулярного в круговое, распределяет его и переносит на рабочие машины. Обе эти части механизма существуют только затем, чтобы сообщить движение машине-орудию, благодаря чему она захватывает предмет труда и целесообразно изменяет его» [4, стр. 384].

Подчеркнутые нами слова целиком относятся к деятельности Уатта, в последующих главах будет показано, как много изобретательности и знания основ механики потребовалось Уатту, чтобы дать целую серию решений задачи, причем некоторые из его решений снова предлагались изобретателями для той же цели уже в XX в. В отдельных направлениях техники задача, сформулированная Марксом, и сейчас не потеряла своей значимости.

Перечисленные в определении К. Маркса элементы машинной системы: двигатель — передача — орудие были уже известны в технике XVIII в. и развивались в течение многих столетий [32—38, 106]. Более того, к эпохе деятельности Уатта в ряде источников описываются попытки применения передаточного механизма к стационарному и даже судовому паровому двигателю [10, 38, 33]. Специальное обозрение развития передаточных механизмов, как средства придания паровому двигателю свойств универсальности по техническому применению, было проведено [90] в исследовании, посвященном раннему периоду развития теплового двигателя.

Приведенный обширный материал позволяет с определенностью установить характерные черты всего сложного комплекса экономических и технических условий, в которых Уатт начал свою работу в качестве одного из крупнейших участников изобретения паровой машины.

Эти характерные черты можно кратко свести к следующему.

А. Задача. На повестке дня технико-экономического развития встала задача создания универсального двигателя, характеризующегося двумя основными качествами: независимостью от локальных условий и универсальностью по техническому применению.

Б. Возможности решения. 1. Независимость от локальных условий могла бы быть обеспечена только обращением к тепловому двигателю, использующему источник энергии — топливо, в сотни тысяч раз более энергоемкое, чем энергоемкость воды как источника энергии гидравлических установок. Эта часть решения была уже выполнена: на шахтах и рудниках работали паровые пароатмосферные тепловые двигатели: паровой насос Севери (первый этап развития); пароатмосферные насосные установки Ньюкоммена — Коули, Поттера, Тривальда и других (второй этап развития, на котором между собственно двигателем и рабочей машиной-насосом был введен передаточный механизм).

2. Универсальность по техническому применению могла быть решена приданием паровому двигателю способности непрерывно отдавать работу потребителю. Выше был дан ряд ссылок на изобретателей, решавших эту задачу до Уатта, одновременно с ним и несколько позднее. За этот период с 1754 г. (Фицджеральд) до 1789 г. (Садлер) характер требований к универсальности существенно изменился. Если по поводу двигателя Фицджеральда М. Хотинский [104] писал, что тогда «не было никакой надобности» преобразовывать возвратно-поступательное движение механизма паровой машины во вращательное, то во время деятельности Уатта положение резко изменилось, что видно из письма М. Болтона Уатту [21]: «В Лондоне, Манчестре, Бирмингеме люди сходят с ума по паровой мельнице. Я не тороплю вас, но думаю, что через месяц — два мы должны взять патент на какой-нибудь метод для получения вращательного движения».

3. Если у парового двигателя частного назначения, как было показано выше на экономических расчетах Тривальда, экономика играла существенную роль в сопоставлении старого (лошадь) и нового (паровая машина) двигателей, то теперь потребности развития техники, начало промышленной революции в области машины-орудия «объяв-

ляют конкурсу» на универсальный двигатель. Условия конкурса:

- 1) независимость от локальных условий;
- 2) отдача работы в форме однонаправленного, равномерного вращательного движения с максимально возможным числом оборотов (напомним, что машины Ньюмена — Коули делали 12—16 ходов в минуту);
- 3) минимальный расход топлива (паровой двигатель начинал с коэффициента полезного действия порядка 0,3—0,6%. К началу деятельности Уатта этот к.п.д. был доведен Смитом до 1%. В настоящее время к. п. д. лучших паросиловых установок достигает 40%).

На длительном пути развития парового двигателя от показателя теплоиспользования 1% до 40% самый крупный скачок был сделан Джемсом Уаттом: он увеличил к. п. д. парового двигателя в 2,7 раза! Его победа в «конкурсе» на универсальный двигатель — победа по третьему условию: минимальный расход топлива.

Итак, и задача, стоявшая на повестке дня того времени, и возможности ее решения были выражены достаточно отчетливо. Задача должна была быть решена уже по одному тому, что она возникла. Широко известно положение, высказанное Марксом: «Человечество ставит себе всегда только такие задачи, которые оно может разрешить, так как при ближайшем рассмотрении всегда оказывается, что сама задача возникает лишь тогда, когда материальные условия ее решения уже существуют или, по крайней мере, находятся в процессе становления» [2, стр 7]. Потребность в паровой машине возникла именно потому, что имелись все материальные предпосылки для ее осуществления, был освоен цикл пароатмосферного двигателя, были разработаны самые разнообразные системы передаточных механизмов и их деталей. Теперь объективные условия «предъявляли счет» субъективным стремлениям, умениям, способностям ряда изобретателей универсального двигателя.

Автором настоящей книги изучены десятки чертежей, патентов, описаний самых разнообразных технических решений парового двигателя — универсального двигателя XIX в.

Возникшую в ходе развития техники и экономики новую техническую задачу десятки изобретателей решали по-своему.

Посмотрим, как решал задачу Д. Уатт. Увидел ли он необходимость ее решения сам или же ему ее подсказала жизнь, люди, особые обстоятельства? Ставил ли он перед собой задачу в полном ее объеме или преследовал какую-то частную цель, частное решение? Какие возникали перед ним трудности и как он преодолевал их? Что помогало в его работе? Что мешало ему работать? Как шел сам процесс решения задачи и можно ли проследить его движение? Стоит ли по отдельным сохранившимся фразам, по чертежам и патентным заявкам, по записям и переписке, по наброскам и рисункам, вооружившись арсеналом современных средств научного исследования, пытаться ответить на эти вопросы, проникнуть в творческую лабораторию Уатта, в ход его мыслей?

Автор полагает, что стоит с целью проникнуть во внутреннюю, скрытую от взгляда поверхностного наблюдателя напряженную творческую деятельность этого замечательного человека. В этом автор видел основную цель этой книги.

Предшественники и современники Уатта

Задача создания универсального двигателя ко времени деятельности Уатта приняла конкретную форму превращения прерывно действующего теплового двигателя в непрерывно действующий. Какие материальные условия определяли возможность такого превращения? Находились ли эти условия в «процессе становления» или уже существовали? Использовались ли они кем-либо, кроме Уатта, как, когда, в какой форме? В какой форме эти условия использовал Уатт?

Современная теплоэнергетика позволяет ответить на эти вопросы. В роторных тепловых двигателях — паровой или газовой турбине — потенциальная энергия рабочего тела (пара или газа) преобразуется в кинетическую энергию парового или газового потока, непрерывно отдаваемую лопаткам турбины. Однако во времена Уатта развитие науки и техники еще не подготовило возможности для подобного преобразования. Рабочие машины делали 10—15 ходов в минуту. Приводившие их в движение конные или водяные приводы были столь же тихоходными. Время роторного двигателя настало, когда понадобился механический привод для быстроходных генераторов электрического тока, только в конце XIX в.

А поршневой двигатель? В его цилиндре, в полости цилиндра работа и сейчас отдается периодически в соответствии со вторым законом термодинамики. Более того, в автомобильных, авиационных и судовых четырехтактных двигателях на три нерабочих хода только один рабочий.

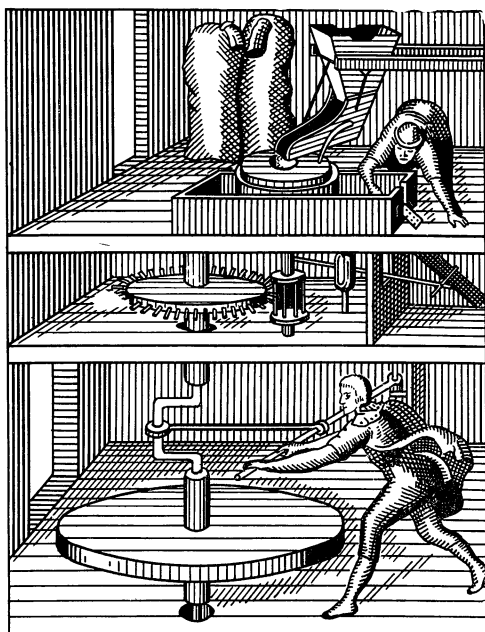


Рис. 1. Ручной привод к мельничному жернову с шатунно-кривошипным механизмом и маховиком (XVI в.)

И тем не менее валы этих двигателей вращаются непрерывно, передавая свое вращение колесам автомашины, пропеллеру самолета, винту корабля. Существуют, следовательно, какие-то методы решения этой задачи, впервые вставшей перед изобретателями в XVIII в.

Познакомимся с ними.

В полости цилиндра двигателя мотоцикла или подвесного лодочного двигателя работа отдается прерывно. На валу этих двигателей посажен небольшой маховичок. Зачем? Получив толчок от поршня, маховичок приобретает запас кинетической энергии, которую отдает валу, вращая его на рабочем такте поршня с несколько повышенной скоростью. На следующем такте поршень не дает работы, но, поскольку вал двигателя должен вращаться непрерывно, маховичок «делится» с ним запасенной кинетической энергией, несколько уменьшая при этом скорость своего вращения. Маховичок в данном случае — аккумулятор кинетической

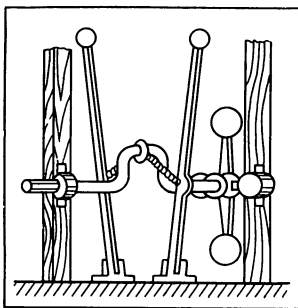


Рис. 2. Ручной привод с кривошипом и маховиком в виде крестовины с шарами (XVII в.)

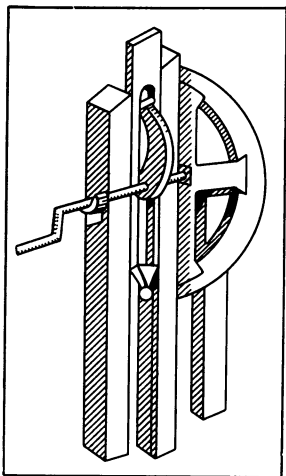


Рис. 3. Кулачковый ручной привод «толчейного стана» с маховиком (XV в.)

энергии движения, накапливающий ее во время рабочего хода и отдающий во время холостых ходов.

А разве во времена Уатта не знали маховиков?

Знали и применяли для получения непрерывной работы от прерывно ее отдающего живого двигателя — человека (рис. 1). Маховик, возникший до нашей эры в гончарных кругах, принимал различные конструктивные формы (рис. 2, 3, 4), выполняя свою функцию, ту же самую, которую выполняет маховичок мотоциклетного двигателя.

Почему же никто не догадался применить маховик к паровой насосной машине Ньюкомена, чтобы превратить ее в универсальный двигатель? Для чего? Чтобы приводить в движение возникавшие прядильные и ткацкие станки, вращать мельничные жернова или трансмиссионные валы? Для этого необходимо, по технологическим условиям, чтобы степень неравномерности вращения вала лежала в пределах порядка 0,01—0,02, т. е. чтобы изменение скорости вращения за оборот вала не превосходило 1—2% от среднего ее значения.

Итак, берем существующий двигатель Ньюкомена — Коули, снабжаем его маховиком и... задача решена.

Так ли это?

Вот характеристики двигателя Ньюкомена — Коули, со-

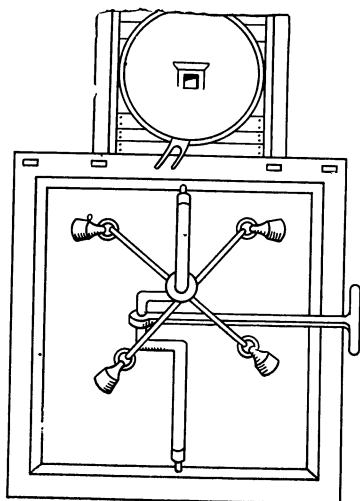


Рис. 4. Кривошипно-шатунная передача к мельничному поставу; маховик выполнен путем подвески гирь к радиальным стержням (XV в.)

временного Уатту. Мощность — 8 э.л.с., число ходов в минуту — 12. Обращаемся к современной литературе [82] и вычисляем значение потребной массы маховика для удовлетворения поставленной нами задачи. Для маховиков с диаметром 2, 3, 4, 6, 8, 10 м находим их массу по табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Диаметр маховика, м	Масса маховика, отнесенная к центру тяжести обода, кг	
	при степени нерав- номерности 0,02	при степени нерав- номерности 0,01
2	490 000	980 000
3	216 000	432 000
4	123 000	246 000
6	54 500	109 000
8	30 600	61 200
10	19 628	39 256

Итак, на выбор: либо маховик диаметром 2 м, весящий от 490 до 980 т, либо маховик диаметром 10 м (!), весящий от 19 до 39 т.

Очевидно, что во времена Уатта метод кинетического механического аккумулирования энергии для получения непрерывной отдачи работы находился в процессе своего становления [90, стр. 126—135]. Масса маховика уменьшается пропорционально квадрату возрастания числа оборотов. Это обстоятельство было известно как Уатту, так и другим изобретателям, и они его использовали, как это будет видно дальше.

Если кинетическое аккумулирование целесообразно только при достаточно высоких оборотах вала, то потенциальное аккумулирование возможно при самых низких оборотах.

В чем оно состоит? В том, что работа машины не только отдается потребителю, но запасается на период холостого хода поршня, в данном случае — не в кинетической энергии маховика, а в потенциальной энергии системы пружин, сжатого воздуха, либо, наконец, поднятого груза.

Аккумулирование энергии при помощи поднятого груза было давно известно. Камни, положенные на крышки воздуходушных мехов (рис. 5), помогали преобразовать направление рабочего движения рукоятки сверху вниз при рабочем движении меха снизу вверх (II в. н. э.). Груз на конце рычага (рис. 6) давал возможность прерывную работу на педали распределять непрерывно на два воздуходушных меха, снабженные своими потенциальными аккумуляторами — камнями на крышках (XVII в. н. э.).

Таких примеров можно привести множество. Несложный подсчет [74] показывает, что, отдавая поднимаемому грузу половину работы рабочего хода, можно возвращать ее во время холостого, осуществляя таким образом, непрерывную отдачу.

Потенциальное аккумулирование во времена Уатта было вполне возможно. Почему же его не применяли?

Применяли. На рис. 7 (середина XVIII в.) иллюстрируется техника грузового потенциального аккумулирования на прерывно действующем пароатмосферном двигателе. Рабочее движение поршня двигателя — вниз. Вместе с поршнем, опускающимся под давлением атмосферного воздуха в цилиндре *a*, движется зубчатая рейка *c*, соединенная

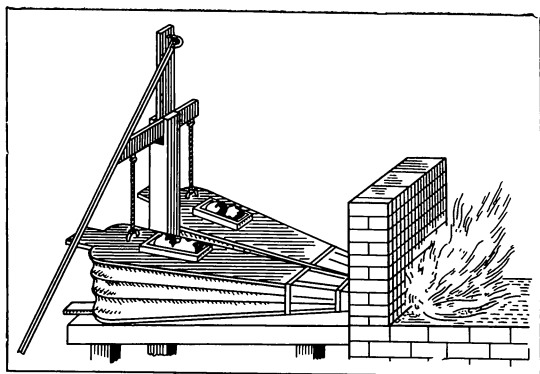


Рис. 5. Ручной привод посредством балансира к двум воздуходувным мехам (XVI в.)

с сектором *m* и вертикальной зубчатой рейкой *e* через шестерню *d*. При опускании поршня сектор *m* не передает работу валу, так как собачка храпового зацепления *p* свободно скользит по зубцам. Вся работа расходуется на рейку *e* и делится на две части: одна идет на поднятие груза, укрепленного на конце рейки *e*, потребляющего половину

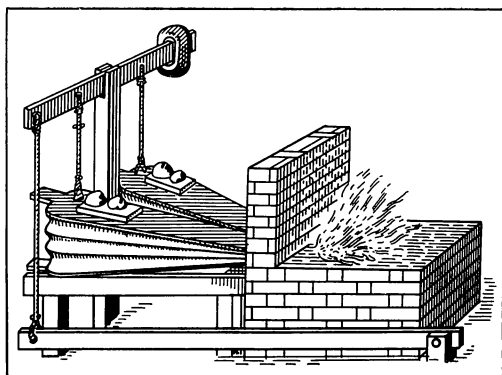


Рис. 6. Педальный привод к спаренным воздуходувным мехам с использованием силы тяжести для аккумуляции работы и натяжения канатов (XVI в.)

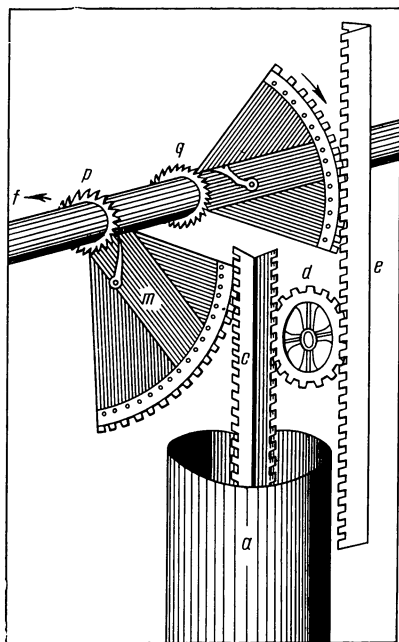


Рис. 7. Старинный чертеж механизма получения непрерывного однонаправленного вращения вала от периодически действующего цилиндра пароатмосферного двигателя, предложенный Фицджеральдом в 1759 г.

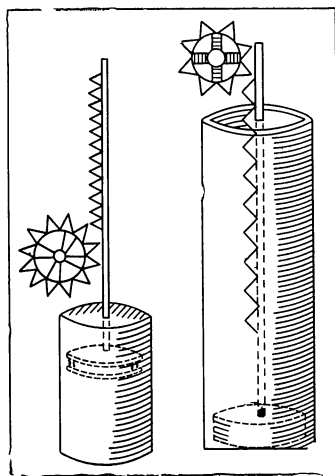


Рис. 8. Чертеж из книги Д. Папена — шестерня и рейка как механизм преобразования поступательного движения во вращательное (1698 г.)

работы поршня, другая — на вал двигателя через сектор и храповое зацепление *q*. Поршень опустился в нижнее положение. Работа, отданная им, разделена поровну между валом и поднятым грузом. Начался второй цикл. Груз опускается и отдает свою работу валу через рейку *e*, шестерню *d*, рейку *c*, сектор *m* и храповое зацепление *p*. Одновременно некоторая небольшая доля работы расходуется на подъем поршня машины в исходное верхнее положение.

Цикл завершен. Задача решена. Работа в полости цилиндра прерывна, на валу двигателя — непрерывна.

Так Фицджеральд в 1759 г. реализовал набросок Папена (рис. 8), иллюстрирующий идею превращения поступательного движения поршня во вращательное движение вала двигателя.

Фицджеральд не был одинок в своем творческом труде. В 1760 г. Филе повторил его попытку.

Почему ни Фицджеральду, ни Филе не стоят памятники, как изобретателям универсального двигателя? По этому поводу полезно ознакомиться с выводами М. Хотинского [104], который описывает машину Фицджеральда (см. рис. 7), ссылаясь на текст, опубликованный в «Philosophical Transactions» за 1758 г.: «Фицджеральд... для предложенной им цели употребляет систему больших зубчатых и малых храповых колес, зацепляющих за зубья, утвержденные на дуге или секторе рычага. Движение сообщается маховому колесу, в котором скопляется значительное движение, и рукоятке, употребляющейся для различных целей. Маховое колесо, сосредоточивающее в себе известное количество движения машины, в то время как она принимает действие парового двигателя, поддерживает ход во время промежутков этого действия».

Если на рис. 7 добавить маховик, то будет понятна причина неудач изобретателя, повторенная впоследствии Тревитиком в своем паровозе. Это — противоборство двух инерциальных систем (груз и маховик), между которыми включены зубцы реек и шестерен, ломающиеся в силу несостоятельности примирить борьбу двух масс.

Имело место еще одно обстоятельство, хорошо подмеченное Хотинским в словах, что «в его время (Фицджеральда. — *И. К.*) паровая машина употреблялась исключительно для выкачивания воды из рудников и каменноугольных копей и, следовательно, не было никакой надобности

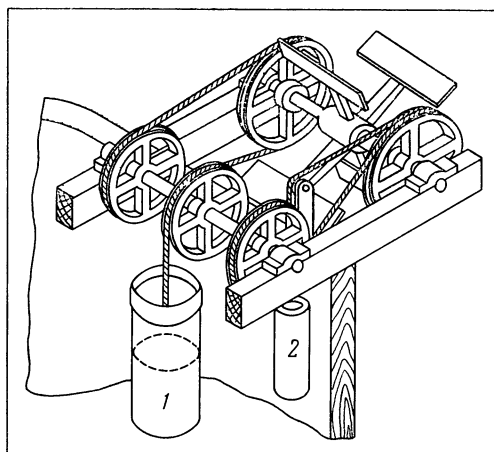


Рис. 9. Схема, показывающая принцип работы судовой машины, предложенной Халлом

превращать прямолинейное движение ее во вращательное».

Но если слова Хотинского в значительной степени были справедливы для промышленных предприятий того времени, то возникала новая проблема, которую нельзя было решить без универсального двигателя, — транспортная проблема.

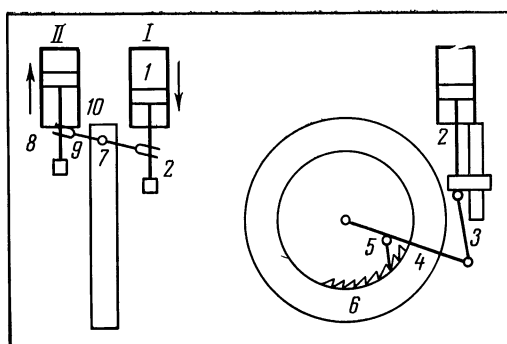


Рис. 10. Схема работы двухцилиндрового двигателя паровой повозки Кьюньо (1769 г.)

Первая попытка применения грузового потенциального аккумуляирования на водном транспорте принадлежит, по-видимому, Джонатану Халлу (Johnatan Hulls, в русских книгах встречаются написания Гуль, Гулль, Холс, Хэлл, Хольс).

Из редкой книги Халла [33] видно назначение предлагаемого им судна — портовый буксир, что следует и из названия книги. На рис. 9, заимствованном из книги А. А. Радцига [101], изображена принципиальная схема устройства.

Текст автора книги не раскрывает сущности работы машины: «Предложение это сводится к соединению вертикального цилиндра атмосферной машины с осью гребного колеса с помощью канатной передачи на два шкива (чем обеспечивалось непрерывное вращение в одну сторону гребного колеса)». А чем обеспечивалась непрерывная отдача работы пароатмосферной одноцилиндровой машиной? Грузом 2 (у Радцига цифр нет), поднимаемым при рабочем движении поршня двигателя вниз, а при опускании движущем колесо через перекрестную канатную передачу (для однонаправленного вращения колеса) и поднимающего вверх поршень двигателя.

Предложение Халла не было реализовано по вполне понятным причинам. Чтобы его установка (котел, цилиндр, груз, шкивы, валы, канаты, топливо — при расходе до 75 кг на 1 э.л.с.-ч) имела мощность, соответствующую хотя бы мощности дюжины хороших гребцов, ее потребовалось бы разместить в судне такого большого тоннажа, что указанной мощности было бы недостаточно для собственного движения судна, тем более — для буксировки.

Военные нужды всегда содействовали развитию техники, и Халл не случайно предлагал свое судно для военного флота. Военные же цели руководили идеями изобретателя универсального двигателя для сухопутного транспорта, военной паровой повозки, прародителя современных бронемоточастей — Жозефа Кюньо (Cugnot). В 1769 г. был предложен первый, военный, и в 1770 второй, гражданский, вариант повозки, способной (по предположению автора) везти груз 4,5 т со скоростью 4 км/час. На ней использовался двигатель избыточного давления (выше атмосферного), простого действия. На современных автомашинах двигатели тоже избыточного давления, тоже простого действия. Более того, как шаг к усовершенствованным двигателям

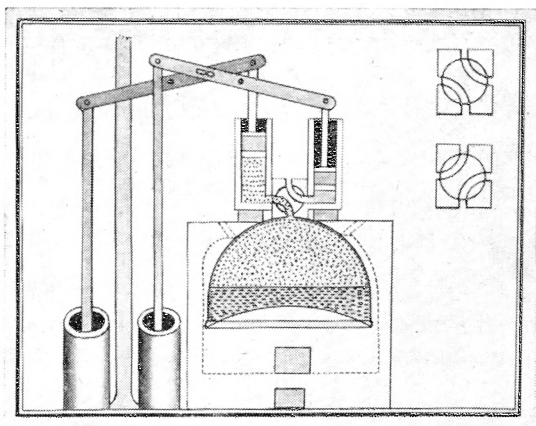


Рис. 11. Схема двухцилиндровой насосной паровой установки избыточного давления, предложенной Я. Леупольдом (1724 г.)

автомашин автор предложил не один, а два цилиндра в качестве нового, более прогрессивного, чем аккумулятивное, метода получения непрерывной работы. Два цилиндра работают поочередно, как представлено на схеме (рис. 10). При рабочем движении вниз поршень передает работу ведущему колесу через храповое устройство и одновременно поднимает вверх поршень второго цилиндра.

Впоследствии и Уатт обратится к двум цилиндрам, но уже для увеличения равномерности хода и мощности двигателя. Уатт придумал нечто иное для непрерывного хода двигателя, о чем будет сказано в своем месте.

Но не Кюньо явился первым, кто предложил два цилиндра. Путь к многоцилиндровым двигателям имел свою историю. Впервые два цилиндра появились на рисунке (рис. 11), опубликованном в обширном труде Якоба Леупольда [38] в 1724 г. в Лейпциге. Но Леупольд не явился изобретателем универсального двигателя, хотя в его предложении имелись определенно прогрессивные элементы: избыточное давление пара и два цилиндра, работающие поочередно. Но вместо того чтобы связать их в единый механизм (это сделано нами на рис. 11: болт на одном, прорез на другом балансира), Леупольд получил непрерывность только в подаче воды (частная задача); поршни

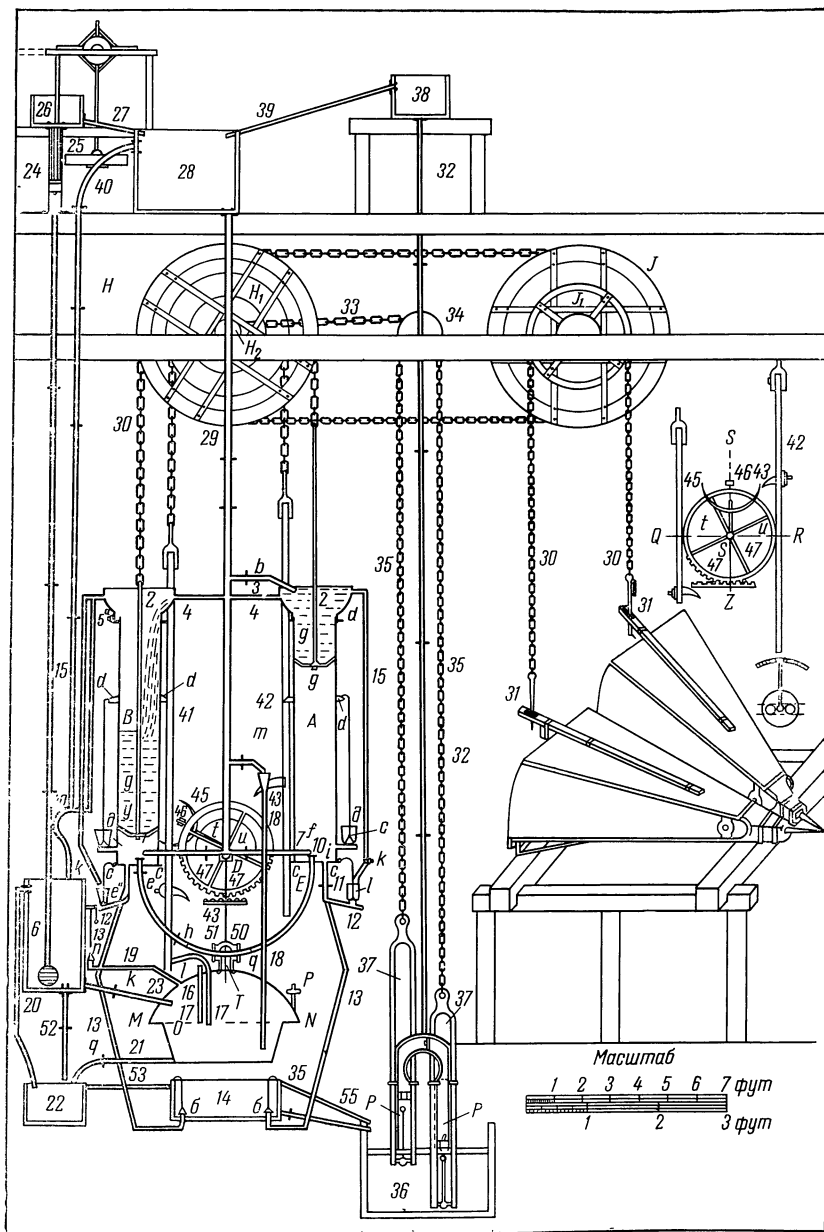


Рис. 12. Проект двухцилиндрового парового двигателя, разработанный И. И. Ползуновым в 1763 г.

же возвращались у него в исходное положение методом грузового аккумуляирования, для чего они заливались свинцом.

Первое приближение к современной схеме объединения двух цилиндров на одном валу (рис. 12) было разработано в 1763 г. Иваном Ивановичем Ползуновым в его проекте двигателя, который, по его словам, был бы в состоянии «...все наложенные на себя тягости, каковы к раздуванию огня обычно к заводам бывают потребны, носить, и, по воле нашей, что будет потребно, исправлять». Принцип универсальности по техническому применению, выраженный Ползуновым в словах: «что будет потребно, исправлять», потребовал непрерывности, которая была осуществлена изобретателем путем объединения работы двух цилиндров прерывного действия общим механизмом, как это несколько позднее сделал Кюньо для своей повозки.

Двигатель, предложенный Ползуновым (схема на рис. 13), преодолевал ограниченность двигателя Ньюкомена, хорошо изложенную словами Ф. Араго [9]: «Таким образом, атмосферная машина для выкачивания воды представляет снаряд безукоризненный, и прерывность ее действия не представляет никаких неудобств. Совсем другое дело в том случае, когда упомянутая машина употребляется в виде двигателя. Орудия и инструменты, приводимые ею в действие, движутся весьма быстро во время нисхождения поршня, но во время его восхождения (нерабочий ход.— *И. К.*) они останавливаются или продолжают двигаться только силой приобретенной скорости» (по инерции движения.— *И. К.*).

Для Ползунова этого было вполне достаточно, так как фабрично-заводские орудия его времени были преимущественно орудиями периодического действия — мехи, песты, молота, дробилки и т. п. — и ему согласно определению Хотинского, приведенному выше, «не было никакой надобности превращать прямолинейное движение... во вращательное».

Но исторический процесс развития производительных сил, развития техники, как их элемента, продолжался.

Одновременно с Ползуновым в 1763 г. в Англии Оксдей пытался использовать зубчатые и храповые передачи для однонаправленного вращательного движения вала шахтного углеподъемника. Если задача водоподъема породила в свое время паровые машины Севери и Ньюкомена,

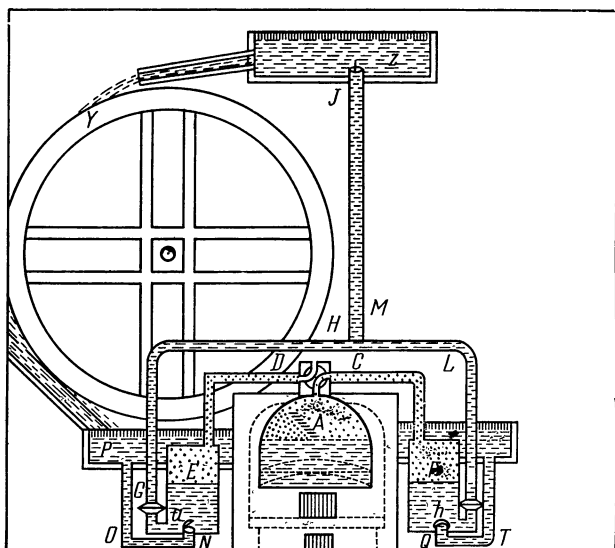


Рис. 14. Парогидравлическая комбинированная установка, предложенная Папеном в 1707 г., с двумя вытеснительными камерами, работающими поочередно. Схема дана в книге Я. Леупольда (1724 г.)

который отдавал бы работу не только непрерывно, но и в конкретной форме вращательного однонаправленного равномерного движения.

Получение вращательного движения преследовал в своих исканиях и Стюарт, который в 1777 г. получил английский патент на двигатель для «мельниц всех типов» (изумительное совпадение с формулировкой Болтона!). Работа Стюарта была заранее обречена на провал, поскольку автор пытался, как и Фицджеральд, совместить несовместимое: храповики, переключения и... маховик!

Переход к вращательному движению означал нечто большее, чем видоизменение только формы движения. Переход к вращательному движению сопровождался увеличением скорости движения. А это означало, что старые ремесленные методы расчета, основанные на статической механике, становились все более и более несостоятельными. Кроме зримых, видимых элементов работы

машин, которые так легко определялись при помощи циркуля, линейки и листа бумаги, возникали невидимые элементы, к числу которых следует прежде всего отнести возникновение сил инерции. Эти невидимые силы, не смотря на свою невидимость, проявляли себя достаточно результативно, так что тот же Стюарт высказал предположение (позднее подхваченное неплохим конструктором пароатмосферных двигателей Смитом) о том, что кривошипно-шатунный механизм принципиально неприменим к поршневому двигателю, что снабженная подобным механизмом машина непременно «разобьет себя на пуске» (слова Стюарта) или будет поворачиваться обратно из мертвых положений.

Время кинематики машин было еще далеко впереди. Только в 1875 г. профессор Берлинского университета Франц Рело издал книгу «Кинематика машин» (факт, подтверждавший глубокое высказывание Энгельса о том, что наука в своем развитии обязана производству не менее, чем производство — науке).

Тем не менее шатунно-кривошипный механизм вместе с маховиком все более и более привлекал внимание изобретателей.

В этом отношении знаменательна работа некоего Васбру (Wasbrough), который в 1779 г. в Бристоле (Англия) осуществил привод от пароатмосферного двигателя прерывного действия к токарным станкам и мукомольным поставам. Повторение безнадежных попыток предшественников применить потенциальное аккумулятивное при помощи шестерен, храповиков, груза и переменного зацепления не охладило устремлений Васбру. Он осуществил решительный переход от потенциального аккумулятивного к кинетическому, призвав на помощь маховик. Сначала изобретателя постигла неудача, объясняемая тем, что в его конструкции не было пока исключено зубчатое зацепление, которое плохо уживается с маховиком. Васбру сделал решительный и прогрессивный шаг вперед. Вопреки уверенности Стюарта и Смита по поводу роковых последствий включения шатунно-кривошипного механизма в систему паровой машины, Васбру решительно отказался от зубчаток и храповиков и подвесил самый обыкновенный шатун к концу балансира уже обычного в то время двигателя Ньюкомена — Коули. К чести Васбру следует заметить, что он не просто соединил балансир посредством ша-

тунного звена с кривошипом вала, не непосредственно, а через зубчатую передачу, увеличившую число оборотов вала, на котором был закреплен маховик. Возможно, что Васбру не догадывался о том, что аккумулирующее действие маховика пропорционально при прочих равных условиях квадрату числа оборотов, но он встал на правильный путь, на который впоследствии встали и Уатт (которому патент Васбру причинил немало огорчения), и Картрайт, и Томсон, и ряд других изобретателей универсального по своим техническим применениям двигателя.

Сама жизнь ставила перед изобретателями задачу, решение которой было подготовлено сложившимися материальными условиями.

Годом позднее, в 1780 г., Пикар (Pickard), владелец пуговичной фабрики в Бирмингеме, прибавив к шатунно-кривошипному механизму противовесы и валоповоротное устройство, запатентовал свою систему.

Но самым решительным образом страхи Стюарта и Смитона были преодолены оставшимися неизвестными для истории техническими работниками, сумевшими решить задачу превращения пароатмосферной машины Ньюкомена в универсальный двигатель не только в проекте, не понятном современниками, как это имело место в творчестве Ползунова, но в непосредственной заводской практике.

Вопреки поверхностным высказываниям отдельных историков первые подлинно универсальные двигатели не были ни двигателями двойного действия, ни двигателями избыточного давления, ни двигателями многоцилиндровыми.

По поводу этих двигателей английский историк техники Диккинсон писал [18]:

«К концу восемнадцатого века атмосферная машина действительно была сделана машиной с вращательным движением посредством шатуна, кривошипа и маховика; трудность, вытекавшая из гибкого соединения цепью балансира с поршнем, была преодолена путем весовой нагрузки (наше грузовое потенциальное аккумулятивное. — *И. К.*) шатуна или соединенного с ним конца балансира, которая была приблизительно равна половине нагрузки на поршень».

Вернемся к табл. 2, где были показаны веса маховиков для машины прерывного действия. Непрерывность дейст-

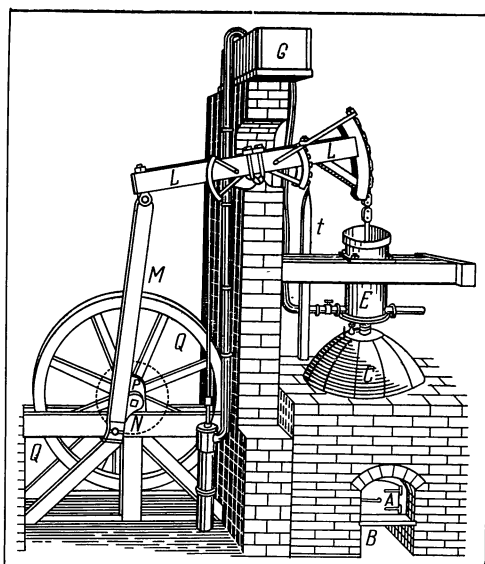


Рис. 15. Пароатмосферный двигатель с потенциальным и кинетическим аккумулярованием, по иллюстрации Фарей

вия, достигнутая путем грузового потенциального аккумулярования работы, вдвое снижала вес маховиков, а увеличение числа оборотов, достигшее к этому времени порядка 20—30, иначе говоря удвоившееся, вчетверо снижало тот же вес. Итого — снижение веса маховика в 6 раз. Теперь для степени неравномерности порядка 0,02 трехметровый маховик весил только 30 т вместо 200, а быстрое увеличение числа оборотов вскоре привело к маховикам вполне приемлемого веса.

Такой универсальный двигатель представлен на рис. 15 [27].

Таким образом, в словах Диккинсона отражено не что иное, как описанный выше метод грузового механического аккумулярования работы рабочего хода поршня, рассчитанный на то, чтобы половина работы передавалась непосредственно приводимым машинам — орудиям; а вторая половина аккумуляровалась в поднятом грузе, а затем передавалась рабочим машинам в течение холостого хода поршня. Оба хода были рабочими, и применение кинети-

ческого аккумуляирования в виде маховика упрощалось, так как потребный вес его сокращался вдвое, а при возросшем к этому времени числе оборотов вала уравнивавшаяся способность маховика значительно увеличивалась.

Рис. 15 соответствует описанию Диккинсона. Тяжелый литой шатун *М* являлся грузовым аккумулятором, возвращавшим аккумулярованную им работу во время опускания поршня (рабочий ход) кривошипу во время подъема поршня (холостой ход).

В словах Диккинсона, однако, есть некоторая расплывчатость, заключающаяся в датировании внедрения в производство универсальных двигателей описанного типа. Он пишет: «...к концу восемнадцатого века». Но к 1800 г. завод «Болтон и Уатт» поставил 289 машин общей мощностью 4542 л. с., которые решительно вытесняли пароатмосферные машины, будучи более экономичными (в среднем в 2,5—3 раза!), и строительство пароатмосферных машин сократилось [39]. По данным книги Фарея [27], откуда заимствован рис. 15, можно полагать, что машины описанного типа начали внедряться в английскую промышленность в 70-х годах XVIII в. Их значение подчеркнуто английскими же авторами [39] в словах: «Мысль о том, что Уатт был изобретателем паровой машины, преобладает у лиц, не знакомых с развитием производства, но не следует даже упоминать о том, что эта мысль неверна. Еще до рождения Уатта Томас Ньюкомен построил машину, которая сыграла большую роль в работе по откачке воды и осушке копей, а также и для других целей. В машине Ньюкомена впервые был применен шатунно-кривошипный механизм для получения вращательного движения для привода машин».

Противореча себе, далее Диккинсон пишет [18], что пароатмосферные двигатели «благодаря их дешевизне строились в большом числе... и были широко применимы до 1820 г.», из чего следует полагать, что данные Фарея ближе к истине и что описанная им машина возникла значительно ранее, чем к концу XVIII в.

До 1781 г., когда побуждаемый Болтоном Уатт дал первое решение машины с вращательным движением вала, универсальный двигатель уже работал и развивался далее в изобретениях ряда авторов, изыскивающих методы получения вращательного движения, либо еще не запатенто-

ванные, либо запатентованные для частного назначения, так что патенты могли быть обойдены.

В 1784 г. Камерон предложил свой проект универсального двигателя, о котором сохранилось мало данных, но есть указание на то, что это был пароатмосферный двигатель с балансиrom и вращательным движением, по-видимому, аналог безымянного двигателя Фарея.

Опыт развеял страх Стюарта, что машина, снабженная шатунно-кривошипным механизмом, «разобьет себя на пуске», и этот механизм в различных комбинациях все шире начинает применяться рядом изобретателей, а сам Уатт пишет о нем, что «...истинный изобретатель кривошипного механизма был человек, создавший обыкновенный токарный станок (Уатт имеет в виду станок с ножным pedalным приводом, широко распространенным в точильных кругах и швейных машинках и в наши дни.— И. К.). Применить его к паровой машине было так же легко, как воспользоваться ножом, предназначенным для резки хлеба, для разрезания сыра» [101].

Шатунно-кривошипный механизм вводится в конструкцию поршневых двигателей.

Им воспользовался Томсон, получивший английский патент в 1793 г. Его двигатель (рис. 16) делает значительный шаг вперед, выравнивая работу не путем грузового аккумуляирования, применимого при невысоких скоростях движущихся частей, а путем суммирования работы двух цилиндров простого действия. Повторяя идеи Ползунова и Кюньо, Томсон дает первое решение, впоследствии широко распространенное в так называемых машинах тандем: поршни двух цилиндров работают на один общий шток. Нижний цилиндр стоит так же, как в машинах Ньюкомена,— его рабочий ход направлен вниз. Верхний цилиндр опрокинут, и его рабочий ход направлен вверх. Томсону пришлось преодолеть ряд больших конструктивных трудностей, связанных с переворачиванием цилиндра пароатмосферной машины, но он преодолел их. В итоге его двухцилиндровая машина стала машиной с непрерывной отдачей работы, что сразу же поставило новую сложную задачу, так как цепь машины Ньюкомена, являясь гибким органом, передавала рабочее усилие лишь в одном направлении.

Эту задачу Томсон разрешил с исключительной простотой: он поставил две цепи, одна из которых передавала

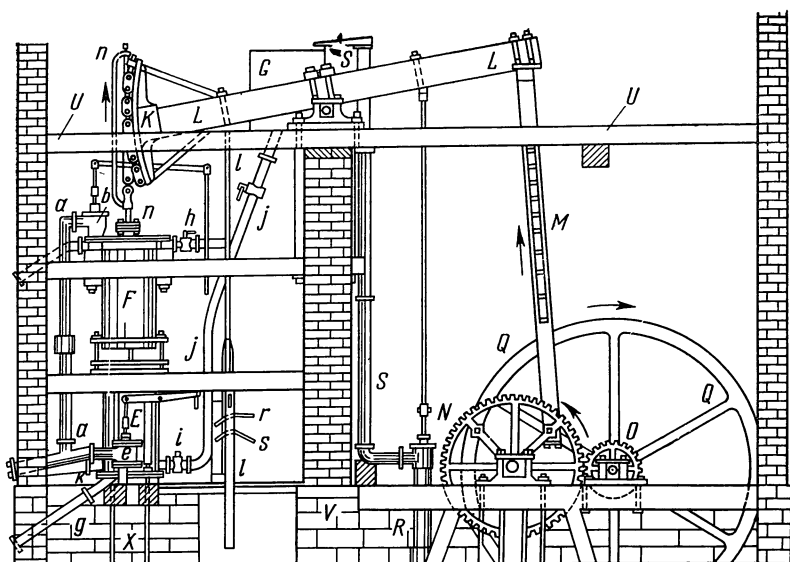


Рис. 16. Установка Томпсона с двумя пароатмосферными цилиндрами, расположенными на одной оси (1793 г.), по иллюстрации Фарей

рабочее усилие вверх, другая — вниз. Необходимость неудобного, инерционного грузового аккумуляирования отпала, шатун мог быть предельно легким, насколько это позволяла прочность конструкции. Но, применив шатунно-кривошипный механизм, Томсон ввел устройство, которое в своеобразной форме вводил и Уатт и которое увеличивало число оборотов рабочего вала машины по сравнению с промежуточным, на который кривошипно-шатунный механизм передавал движение от балансира. Тихоходная машина при наличии таких крупных возвратно движущихся частей, как балансир, поршень (в случае Томсона — два поршня), не развивала большого числа оборотов и работала на тихоходный вал. Рабочая машина, требующая значительно бóльших скоростей вращения, получала движение с последнего вала, число оборотов которого, если исходить из числа зубцов на имеющемся чертеже — 52 и 20, было в 2,6 раза больше.

Второе преимущество увеличения числа оборотов последнего вала машины состояло в том, что насаженный на него маховик мог выполнять функции кинетического аккумулялирования работы и удовлетворительно выравнивать колебания в угловой скорости вращения вала при массе, меньшей в $2,6^2 = 6,76$ раза, т. е. при обычных для машин Ньюкомена 15 ходах в минуту на валу можно было получать уже до $15 \times 2,6 = 39$ оборотов в минуту.

Двигатель Томсона — универсальный двигатель. Он независим от местных условий в силу применения энергоемкого носителя энергии — топлива, позволяющего эксплуатировать двигатель в любом месте. Он универсален по своему техническому применению, так как отдает работу в форме однонаправленного непрерывного и равномерного вращательного движения. Этот двигатель мог приводить в движение самые разнообразные фабрично-заводские рабочие машины: прядильные, ткацкие, металлообрабатывающие и т. д. Однако для транспортных агрегатов применение его становилось достаточно затруднительным. И не случайно как сам первый изобретатель сухопутного транспортного агрегата Кьюнью, так и его весьма плодотворный продолжатель Ричард Тревитик сразу же решили применять на своих повозках и локомотивах пар избыточного давления с выхлопом в атмосферу, сохранившимся и в современных паровозах.

Правильность выбора Кьюнью и Тревитика состоит в том, что они (за счет снижения к.п.д.), повышая давление в конце рабочего цикла, выбрасывая отработавший в полости цилиндра пар непосредственно в атмосферу, отказывались от необходимости конденсировать пар. Это весьма существенно, так как на 1 кг воды, потребной для генерации пара, требуется (в зависимости от глубины вакуума) от 20 до 40 кг охлаждающей воды. Паровой локомотив не имеет возможности возить с собой целый бассейн охлаждающей воды!

Охлаждать пар воздухом, окружающим локомотив? Такие попытки не только на моделях, но и на эксплуатируемых установках делались неоднократно значительно позднее. В частности, в СССР в 30-х годах нашего века эксплуатировался паровоз СО, оборудованный тендером-конденсатором, в котором располагалось теплообменное устройство из тысяч тонких оребренных латунных трубок, охлаждаемых мощным потоком воздуха, прогоняемым

вентиляторной установкой. Значительный расход энергии на вентилятор, увеличение стоимости установки, осложнение в эксплуатации, особенно в зимнее время, и малый экономический эффект от конденсации привели к отказу от такого решения.

Вопрос о воде для конденсации пара отпадал для судовых установок. Однако и здесь пароатмосферный двигатель был мало применим в силу двух отрицательных свойств: большого веса установки на единицу развиваемой мощности и большого удельного расхода топлива. Как эти недостатки отражаются на работе паровых судов, можно показать на примере.

В 1818 г. паровое судно «Саванна» впервые пересекло Атлантический океан. Водоизмещение этого судна было 350 т, мощность машины порядка 100 л. с. Путь занял 26 дней, из которых, как указывают данные, большая часть пройдена под парусами. Поломки машины? Нет, не хватило топлива. А что было бы, если бы машина «Саванны» была пароатмосферной и потребляла 10 кг угля на 1 л. с. в час? Тогда на весь путь (а под парами суда ходили в то время не быстрее, чем под парусами; скорость стала возрастать с увеличением мощности машин, а следовательно, и расхода топлива) понадобилось бы угля $26 \times 24 \times 100 \times 10 = 624$ т при полном водоизмещении корабля 350 т [55].

Пароатмосферный двигатель резко ограничивал универсальность по техническому применению. Равномерного однонаправленного вращательного движения было уже недостаточно: целый ряд экономических и эксплуатационных требований к двигателю выдвигали заводы, фабрики, транспорт.

Этим требованиям промышленности не мог удовлетворить пароатмосферный двигатель Фалька (рис. 17), который конструктивно иначе, чем Томсон, объединил работу двух цилиндров пароатмосферного цикла, поставив их рядом, как это предлагал Ползунов в 1763 г. Этим Фальк избежал конструктивных трудностей, которые пришлось преодолевать Томсону, опрокинувшему цилиндр крышкой вниз. Преобразование поступательного движения во вращательное Фальк осуществил по уже упоминавшейся схеме Д. Папена, которой, как будет показано ниже, не избежал и Уатт. Фальк не увеличил числа оборотов маховичного вала машины, и поэтому при маховике сравнительно

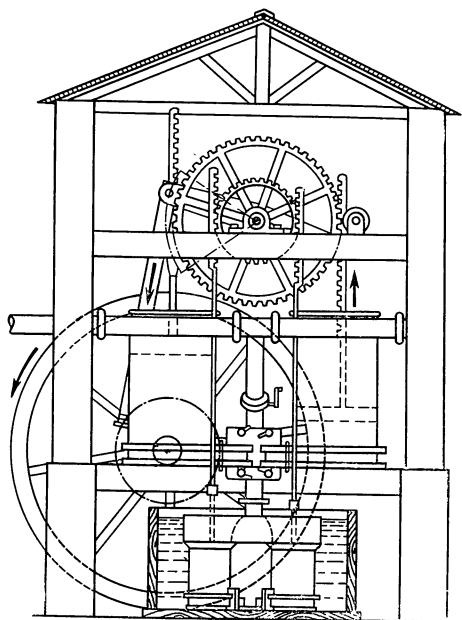


Рис. 17. Двухцилиндровый пароатмосферный двигатель Фалька (1794 г.), по иллюстрации Фарей

небольших размеров степень неравномерности на валу машины была весьма значительной, несморя на непрерывную отдачу от двух цилиндров. По-видимому, машину Фалька можно было употреблять только в качестве привода на лесопильных рамах, дробильных и других установках, не требовавших постоянства угловой скорости.

Для обеспечения универсальности по техническому применению требовался решительный отказ от пароатмосферных двигателей и переход к избыточному давлению пара. Но избыточное давление пара, впервые предложенное еще Якобом Леупольдом [38], было, как будет показано ниже, запатентовано Уаттом в 1769 г. В третьем пункте патента он буквально повторяет слова Леупольда о применении избыточного давления «в тех случаях, когда не хватает холодной воды» [45, т. III].

На судебном процессе компании «Уатт и Болтон» против Горнблауэра в 1798 г. последнему было отказано в вы-

даче патента на двигатель с избыточным давлением пара. Добиться внедрения этого технического новшества можно было лишь в обход патента Уатта. Это естественно в тех условиях, когда люди были «без ума от паровых мельниц», видели баснословные прибыли и, как умели, мешали друг другу. Мешали Уатту, который, обходя патенты Васбру и Пикара, вынужден был применить планетарную передачу вместо простой шатунно-кривошипной, что он, кстати сказать, удачно совместил с увеличением числа оборотов главного вала машины, несущего маховик. Мешал Уатт, о котором английский историк техники Диккинсон писал [18]: «Горнблауэр запатентовал в 1781 г. двойное расширение. В 1792 г. на Рэдстоунском руднике около Бристоля машина была построена для Винвуда. Вильям Мэрдок, доверенный внешний уполномоченный Болтона и Уатта, был послан по стране для того, чтобы шпионить (итак, зарождался промышленный шпионаж! — *И. К.*), и сделал набросок, который он послал Уатту, и доньше сохраняемый в музейной коллекции Болтона и Уатта. Уатт был сильно озабочен и ругал всю семью Горнблауэров «рогачами», «трубачами», «рогатыми детьми сатаны» (фамилия Горнблауэр — Hornblower — составлена из двух слов: horn — рог и blow — дуть. — *И. К.*)... Болтон и Уатт протестовали против патента Горнблауэра, развили энергичную деятельность в кулуарах парламента, так что Горнблауэру не удалось получить продления патента».

Эдуард Буль, предложивший в 1792 г. паровой двигатель с опрокинутым цилиндром (впоследствии получивший широчайшее распространение в судовых установках), разделил участь Горнблауэра, так как Уатт опротестовал его заявку, и в 1797 г. Булю было отказано в патенте на том основании, что в его прогрессивном предложении был использован пар избыточного давления.

В своей книге, упомянутой выше, Диккинсон был вынужден констатировать, что «...Уатт упорно отказывался разрешать кому бы то ни было строить его машины или запатентованные им детали (следует отметить, что пар избыточного давления, кстати предложенный Я. Леупольдом еще в 1734 г., — далеко не деталь. — *И. К.*). Подобная политика в течение долгого срока действия патентов Уатта, вне всякого сомнения, толкала назад развитие паровой машины» [18].

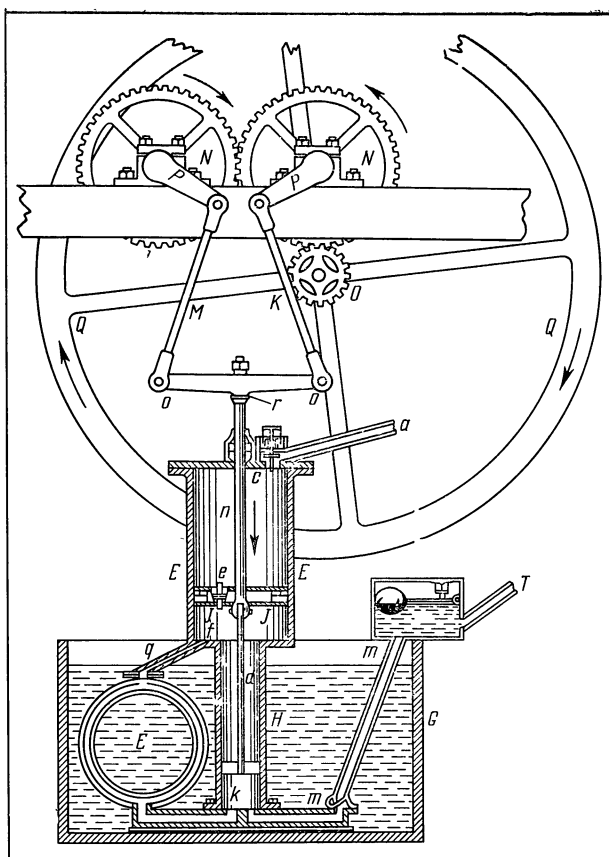


Рис. 18. Двигатель Картрайта (1797 г.), по иллюстрации Фарей

Обход третьего пункта патента Уатта 1769 г. о применении пара избыточного давления удался лишь двум известным нам изобретателям того времени — Картрайту и Садлеру.

Картрайт каким-то образом обошел и второй пункт патента Уатта, говорящий об отдельном конденсаторе, что видно из конструкции предложенного им двигателя (рис. 18).

Двигатель — одноцилиндровый, питаемый через клапан С паром избыточного давления, обеспечивающим

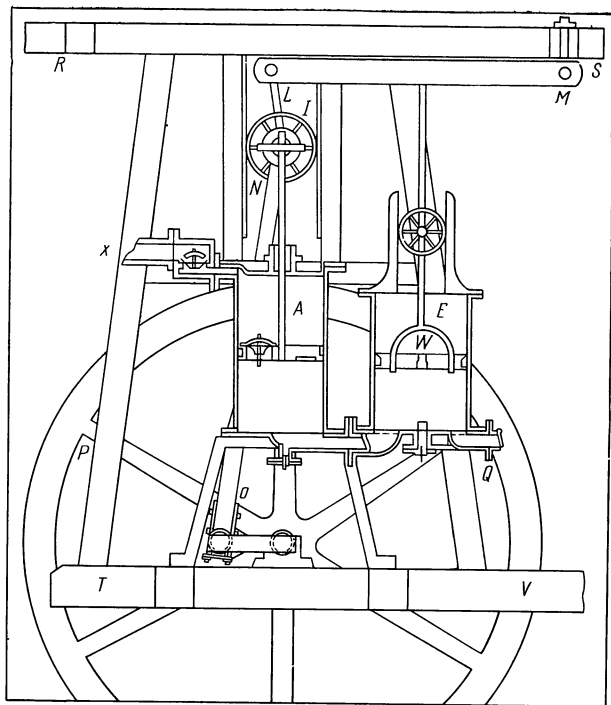


Рис. 19. Двигатель Садлера (1798 г.)

рабочий ход поршня вниз. Наличие перепускного клапана в поршне (это сделал и Садлер), по-видимому, позволило обойти патент Уатта и использовать избыточное давление пара. При ходе поршня вниз суммарный объем, образующийся между двумя движущимися поршнями — паровым и насосным, — уменьшается, так как при равной скорости поршней, связанных общим штоком, их рабочие площади отличаются почти в 9 раз (диаметры — в 3 раза). Из этого объема, следовательно, происходит вытеснение конденсата и выделившегося воздуха, так как кольцевой сосуд в данном случае не что иное, как конденсатор, охлаждаемый окружающей его и с периферии и с центра водой. Конденсат отводится по трубке *T*, а воздух — периодически клапаном поплавковой камеры (в нижней части трубки *m* — *m* установлен обратный клапан).

Патент Уатта обойден Картрайтом в двух отношениях: он применил избыточное давление и конденсатор. Это — в большей степени универсальный двигатель, чем двигатель Томсона или Фалька. Его удельный вес меньше, экономичность — выше. Тем не менее он не в состоянии был выдержать конкурентную борьбу с двигателем Уатта в силу ряда конструктивных недостатков.

Недостаточно точная обработка деталей не позволила Картрайту пойти на использование жестких связей, и он соединяет шток поршня двигателя со штоком поршня насоса шарнирно, теряя прекрасный направляющий механизм, хорошо использованный Томсоном в его пароатмосферной машине. Поэтому Картрайту приходится принимать меры локализации боковых усилий на стенки поршня и сальник, что он осуществляет симметричными кривошипно-шатунными механизмами, положительные и отрицательные усилия которых теоретически взаимно гасятся. Практически приводной механизм машины Картрайта не мог быть удобным и надежным в эксплуатации, это сейчас по первому взгляду на него скажет любой опытный механик, даже не имеющий специального образования.

Маховик, число оборотов которого увеличивалось в отношении числа зубцов в приводных шестернях (42 и 17) почти в два с половиной раза, производил подъем поршня, во время которого впуск пара в цилиндр прекращался, открывался самодействующий при разности давлений перепускной клапан, и к приходу поршня в верхнее положение весь отработавший пар оказывался под ним и вытеснялся в конденсатор.

Сведениями о применении двигателя Картрайта в промышленности или на транспорте мы не располагаем. По-видимому, если он и изготовлялся, то не вышел из первых пусковых и эксплуатационных «болезней» живым.

Перепускной клапан в поршне применил и Садлер [46], предложивший также двигатель избыточного давления (рис. 19).

Пар избыточного давления поступает по трубе *X* через клапан в рабочую полость цилиндра *A*. Рабочий ход поршня — вниз. При этом движении шатун *N* на пол оборота поворачивает вал с маховиком *P*. Одновременно опускается полубалансир *L — M*, движущий вниз же поршень насоса, расположенный в насосном цилиндре *E*. Оба поршня вытесняют отработавший пар по трубе. Слабым местом

в конструкции Садлера (по-видимому, не реализовавшейся) являются ролики, расположенные в двух направляющих для каждого цилиндра. Введение направляющих было, безусловно, прогрессивным явлением, и они сохранились даже в наше время. Но ролик, рассчитанный на то, чтобы одновременно катиться по одной и тереться по другой направляющей, должен был быть заменен ползуном, что и сделано последующими конструкторами.

Таковы известные нам конкуренты Уатта в деле изобретения и внедрения универсального двигателя в производство. Некоторые из них находили явно прогрессивные решения, такие, как применение двух цилиндров, увеличение числа оборотов коренного вала машины, несущего маховик, применение машин двойного расширения (первое предложение Горнблауэра для насосных установок), шатунно-кривошипного механизма, отказ от балансира и ряд отдельных мелких конструктивных усовершенствований.

Подведем некоторые итоги развития энергетики.

Первый этап, вызванный необходимостью приводить в движение отдельные агрегаты, потреблявшие нагрузку в виде длительной непрерывной механической работы (зерновые мельницы, дутьевые мехи, кузнечные молоты, мешалки, дробилки и т. п.), удовлетворялся применением водяного колеса, универсального по своему техническому применению, но зависящего от локальных условий.

Второй этап — переходный этап от гидроэнергетики к теплоэнергетике, вызванный необходимостью преодолеть локальные условия. Техническая сущность его сводилась к приданию независимому от локальных условий теплового двигателю универсальности в техническом применении, первым шагом к которой было получение непрерывной отдачи работы потребителю.

Третий этап, в который протекала деятельность Уатта и который во многом определил направление этой деятельности, характеризовался тем, что задача об универсальном двигателе в принципе была разрешена, причем многими методами: методом потенциального, кинетического и смешанного аккумулирования, суммирования работы двух цилиндров, суммирования работы в двух полостях одного цилиндра (патент Уатта).

Задача состояла в отборе лучшего из них.

Лучшим оказался двигатель Д. Уатта.

Тихоходность и эффективная работа только при одной нагрузке сразу же вывели из «игры» двигатели с потенциальным аккумулярованием, большинство которых не оправдывало возлагаемых на них изобретателями надежд, и строились в одном — первом и последнем — экземпляре.

Кинетическое аккумулярование требовало громадных маховиков, не осуществимых при технологии того времени.

Комбинация потенциального и кинетического аккумулярования давала хорошее решение в смысле универсальности по техническому применению, особенно если комбинировалась еще с суммированием работы двух цилиндров, но она была применена к пароатмосферным двигателям, потреблявшим свыше 10 кг угля на 1 л. с. в час.

Экономичность становилась одним из существенных критериев отбора наилучшего двигателя. Если целесообразность перехода от водяного колеса к паровому двигателю диктовалась тем, что последний имел более широкую сферу производственного использования, чем гидравлический, то при сравнении возможностей двух сопоставимых типов паровых двигателей решающее значение приобретал экономический фактор, как это имело место при замене лошадей паровыми насосами в рудниках, описанных в книге М. Тривальда [64].

Паровые двигатели начали работать при к.п.д. порядка 0,3—0,6%, вытесняя благодаря независимости от локальных причин гидравлические колеса с к.п.д. порядка 60—70%. Наиболее вдумчивый и одаренный из инженеров, усовершенствовавших пароатмосферный двигатель, Джон Смитон (1724—1792) ввел в него ряд конструктивных элементов, позволивших значительно снизить расход пара и топлива. Работа Смитона была чисто эмпирической: он вносил усовершенствования, проверял их эффективность по расходу топлива, отвергал одно, принимал другое и иначе не мог поступать, так как руководящей теории еще не существовало.

И все же благодаря трудам Смитона паровой двигатель значительно повысил свой к.п.д., достигнувший значения 1%. Это очень мало, но Смитон повысил к.п.д. почти вдвое, что до него никто не смог сделать.

После него более значительный скачок был сделан только один раз в истории теплового двигателя. Больше такого скачка не будет, не может быть. Громадные коллективы ученых и инженеров сейчас довольны, если добьются

повышения к.п.д. тепловых установок на доли процента, так как возможности законов термодинамики исчерпаны почти до конца и наше время знаменуется поисками новых законов, новых открытий, новых возможностей природы, еще не использованных человеком.

И никто никогда не сможет повторить вклада Уатта в развитие экономичности теплового двигателя. Теперь это уже невозможно.

Уатт повысил к.п.д. теплового двигателя в 2,8 раза, на 280%!

Прежде чем рассмотреть, как ему это удалось, следует кратко (так как об этом много раз писали разные авторы) остановиться на основных моментах жизненного пути Уатта, так или иначе приведших к основной задаче его жизни, так или иначе помогавших ему решить ее.

Биографические данные о Д. Уатте, его теоретической и практической подготовке

Биографические данные о Д. Уатте, и краткие и подробные, публиковались неоднократно на многих языках мира [9, 17, 20, 43—45, 58, 75, 76, 86, 102 и др.]. Автор настоящей книги обращается к данным биографии Уатта с единственной целью: выявить, как и насколько те или иные события из жизни Уатта объективно способствовали его изобретательской деятельности и оказали влияние на субъективные устремления. При отборе биографических данных обращено внимание на достаточно достоверные, имеющие явную связь с рассматриваемой деятельностью Уатта факты без обращения к сведениям о детстве, в котором он, по рассказам наблюдателей, либо решал геометрические задачи, либо «...в течение целого часа молча занимался рассматриванием кипящего чайника» (на совести рассказчиков оставалась необходимость столь длительного кипячения воды). Автор постоянно учитывал при этом тот своеобразный комплекс условий, в которых работали изобретатели XVII и XVIII вв., являвшиеся либо представителями науки, теоретиками, либо представителями производства, практиками.

В технических объектах реализуются закономерности природы. Перед изобретателем стоит двойная задача: вооружиться знанием этих закономерностей, теорией и воплотить свои замыслы в какие-то конструктивные формы на практике. В то время в вопросе о теплоте и использовании ее в машинах, говоря словами другого участника плеяды изобретателей паровой машины — И. И. Ползуно-

ва, «теория многим слабее практики», а поэтому, как показывает история вопроса, представители практики — Ползунов, Ньюкомен, Смитон и другие — строили работоспособные двигатели, а представители теории — Леупольд, Гюйгенс, Папен, Тривальд и другие — либо не шли дальше чертежей и набросков, либо строили неработоспособные двигатели.

Это можно проиллюстрировать на ряде примеров.

Леупольд и Тривальд, опираясь на современную им «теорию», за рабочее тело паровых двигателей принимали... воздух, полагая, что он растворен в воде в неисчислимом количестве. Как писал Тривальд, «...многие будут удивлены, откуда берется весь этот горячий воздух, который требует машина в своем постоянном движении. Для них было бы полезно знать (какая уверенность в своей «теории»! — *И. К.*), что любая вода содержит неисчислимое количество воздуха, что легко может быть проверено путем помещения воды под колпак воздушного насоса». Совершенно очевидно, что пар, который в глубоком вакууме образуется при низких температурах, Тривальд принимает за воздух. «...Из этого замечательного свойства воздуха расширяться при нагревании и получается сила или эффект огненной машины», — пишет он дальше, поучая своих читателей. А как же с паром? Тривальд отвечает: «...Что же касается пара, который пропускается в цилиндр, то он является не чем иным, как влажным воздухом (как прав был Ползунов, говоря о слабости теории! — *И. К.*), нагретым в высокой степени, каждая частица воздуха окружена несравненно тонкой пленкой воды, очень напоминающей пузырь» [64].

Эта «теория» погубила практику Тривальда. Его машина оказалась неработоспособной, так как он, веря в «неисчислимое количество» растворенного в воде воздуха, сделал слишком малым котел своей паровой установки.

Практики подходили к вопросу вернее. Когда Ньюкомену и Коули, практикам по кузнечному и водопроводному делу, предложили построить паровой насос с цилиндром 33 дюйма диаметром, они отказались, полагая, что котел не сможет обеспечить паром такой большой цилиндр, что Тривальд с высот своей «теории» оценивал следующими словами: «Причиной подобного решения был неверный принцип по отношению к пару, который питали в своих мыслях изобретатели, полагая, что пар восстает или гене-

рируется путем кипячения воды пропорционально ее количеству».

Другой практик И. И. Ползунов писал о «парах, из воды восстающих», констатируя одновременно, что «теория, а особливо в воздушных и огненных делах... великой тьмой закрыта» [80, 87].

Теоретик Папен хорошо разобрался в вопросах, относящихся к воде и водяному пару, что видно из слов, говорящих о том, что вода «...будучи превращена в пар, имеет упругую силу, подобно воздуху (здесь он сравнивает два рабочих тела — пар и воздух, не отождествляя пар с воздухом. — *И. К.*), и потом сгущается от холода». Папен писал, что он удалял из цилиндра воздух, в котором «вода начинает кипеть и превращаться в пар», а после «пар, сгущаясь через охлаждение, производит в цилиндре пустоту» [47]. И это было написано на 46 лет раньше книги Тривальда!

Но Папен, сделав большой вклад в дело изучения воды и водяного пара, как рабочего тела паровых двигателей, не обладал практическими умениями производственника, не мог свои принципиальные чертежи, которыми и сейчас пользуются в курсе термодинамики для объяснения цикла парового двигателя, превратить в реальные, работоспособные двигатели.

Я. Леупольд, предложивший впервые два цилиндра для постоянной работы насоса и применение пара избыточного давления с выхлопом в атмосферу (что через 45 лет запатентовал Уатт), даже не делал попытки реализации своих прогрессивных предложений на практике, поручая это другим [38].

Приведенных примеров достаточно для того, чтобы рассматривать факты из биографии Уатта с позиций его подготовки к изобретательской деятельности по двум основным линиям: практических умений и навыков, с одной стороны, и теоретических познаний, с другой.

Джеймс Уатт родился 19 января 1736 г. в городе Гриноке в Шотландии. Отец его, также Джеймс, занимался строительством домов и судов и являлся владельцем мастерской, в которой изготовлялись разнообразные предметы и в их числе такие, как подъемные краны и морские инструменты. В этой мастерской будущий изобретатель неплохо освоил плотничное, столярное и слесарное ремесла.

Поэтому, когда материальное положение семьи Уаттов

покачнулось, 18-летнему Джемсу не было смысла оставаться в Гриноке в качестве преемника своего отца по управлению мастерской. Было принято решение ехать в Глазго и там специализироваться в качестве механика — мастера по изготовлению точных математических, геодезических и оптических приборов, обладающего рядом ремесленных навыков, но в то же время усвоившего некоторые теоретические основы физики, в частности механики (устройство и принципы работы машин того времени).

Таким образом, избранная на основе овладения ремеслами профессия механика представляла известный синтез практических ремесленных навыков с теоретическими познаниями, необходимыми для понимания работы изготавливаемых приборов. Между теорией и практикой в деятельности Уатта с самого начала не образовалось разрыва, что впоследствии определило его личные возможности как в понимании принципа работы паровой машины, так и в способах его реализации.

Прибыв в Глазго в 1754 г., Уатт нашел место ученика в одной небольшой оптической мастерской, в которой он пробыл только год, так как квалификацию хорошего механика на базе этой мастерской получить было невозможно.

Лондон встретил Джемса в 1755 г. неприветливо.

Еще не сметенные бурей промышленной революции цеховые законы требовали семилетнего ученического стажа, требовали высокой платы за выучку; молодому искателю жизненных путей удалось поступить к одному часовщику бесплатно, но и без всяких перспектив на будущее. Работу у часовщика Уатт совмещал с освоением искусства гравирования и дальнейшими поисками жизненного пути, пока ему не удалось поступить учеником в мастерскую к Джону Моргану на один год с платой за обучение 20 фунтов стерлингов.

Через год напряженной работы и учебы Уатт постиг тайны профессии мастера, научился самостоятельно изготавливать сложные навигационные инструменты. Утомленный годом напряженного труда, он осенью 1756 г. поехал в Гриннок, где несколько отдохнул у старевшего отца. Попытка организовать в Глазго собственную мастерскую точных измерительных инструментов оказалась неудачной в силу тех же цеховых законов. В данном случае он получил от кузнечного цеха отказ на просьбу о разрешении организовать мастерскую, так как для этого у него не было

двух совершенно необходимых условий: он не был сыном гражданина города Глазго и не прошел школу ученичества в этом же городе.

Снова, как и в 1754 г., выручил дядя — профессор Мюрхэд, на этот раз устроивший Уатта уже не в оптическую мастерскую в качестве ученика, а в качестве механика в Глазговский университет, который являлся самостоятельной корпорацией, не зависящей от неумолимых законов городских ремесленных цехов.

Работа в качестве университетского механика сыграла существенную роль в деятельности Уатта, подсказав ему как жизненно необходимые технические задачи, так и теоретические и практические возможности их решения. Теория тепловых явлений, «будучи тьмой закрыта» для Ползунова, черпавшего свои теоретические сведения из трудов Леупольда [36—38], отождествлявшего водяной пар с воздухом, И. А. Шлаттера [106], давшего чертежи и описание машины Ньюкомена — Коули, заимствованные им у Белидора [10] без ссылки на источник, — начинала для Уатта освобождаться от этой тьмы и в значительной степени трудами ученых Глазговского университета, с которыми Уатт находился в самых добрых отношениях.

Ниже мы в соответствующих местах подробнее остановимся на том, где, как и что было сделано Уаттом благодаря удачному окружению теоретически подготовленных ученых, которые не только знали современную им науку, но и продвигали ее вперед, в частности в решении тех теоретических вопросов, которые явились существенно необходимыми для Уатта.

Приведенные выше краткие биографические сведения об Уатте дают основания утверждать о весьма благоприятном их стечении для основного труда его жизни — совершенствования парового двигателя. Это стечение обстоятельств, выгодно отличавшееся от обстоятельств других изобретателей парового двигателя, давало Уатту возможность не только освоить два существенных элемента: знания (теория) и умения (практика), но еще дополнялось связями, сыгравшими существенную роль в его жизни.

У Папена, физика, были познания в области свойств водяного пара. Он не только не отождествлял его с воздухом, как это делали многие из его современников, но исследовал его свойства, определил связь между температурой и давлением насыщенного пара. Но у Папена не было

производственных умений механика и слесаря, которыми обладал Уатт. Вынужденный скитаться на чужбине, преследуемый по религиозным мотивам, он не имел связей, друзей, которые не раз помогали Уатту.

И. И. Ползунов, техник, не мог почерпнуть ни из современных ему книг, ни от ученых друзей достаточных теоретических данных для расчета своей машины. Только производственные навыки и знания помогли ему решать сложнейшие задачи. И он был совершенно одинок в своем начинании, не нужном ни его начальникам, ни стране, находящейся на ступени развития, еще далекой от насущной потребности в теплоэнергетике.

Уатт вышел на арену научной и технической борьбы за новую энергетику в качестве завершителя первого этапа ее развития: от ранних безуспешных попыток — до внедрения в промышленность и на транспорт универсального двигателя. Такой двигатель в его время в Англии был остро необходим, а поэтому был нужен и сам Уатт, и его прогрессивные усовершенствования. Деньги, которые скупно, но тщательно обдуманной смете, с задержками выдавали Ползунову, деньги, которые в сильнейшей степени лимитировали творческие замыслы Папена, оказались в достаточном количестве в распоряжении Уатта, так как его вклад в то время сулил, а впоследствии и приносил громадные доходы, о которых не смели и мечтать другие участники становления новой энергетики.

Одним словом, драгоценные личные творческие способности Уатта получили хорошую оправу и в практической подготовке механика высокого класса, и в теоретических познаниях, почерпнутых в работах его друзей-физиков, и в финансировании капиталистов, справедливо рассчитывавших на большие прибыли.

Несмотря на отсутствие систематического образования, Уатт был радушно принят в среду ведущих ученых того времени. Он был членом Лунного общества, отмечавшего в 1966 г. 200-летие своего существования: в музее и галерее искусств Бирмингема была организована выставка, на которой, в частности, экспонировалась модель машины Ньюкомена, послужившая стимулом упорной работы Уатта над проблемой усовершенствования паровых машин.

Среди членов этого общества следует отметить таких выдающихся ученых, как Джозеф Пристли, первооткрыва-

тель кислорода, доктор Смолл, химик Джошуа Веджвуд, врач, философ и поэт Эразм Дарвин (дед основоположника современной биологии Чарлза Дарвина), химик Керр. Число членов общества никогда не превышало 14 человек [102].

Свободомыслящие и либерально настроенные члены Лунного общества с сочувствием относились к Французской революции. Эразм Дарвин писал Уатту: «Поздравили ли Вы своих внуков с зарей общей свободы? Я чувствую, как становлюсь французом и в химии, и в политике». Религиозное свободомыслие некоторых членов общества подверглось нападкам реакционеров. С криками «Никаких философов — церковь и король навеки! Долой Пристли! Долой пресвитерианцев!» толпа бирмингемцев разрушила дом, лабораторию и библиотеку одного из выдающихся химиков своего времени, который должен был переодетым бежать в Лондон, а позднее, в 1794 г., покинуть Англию и поселиться в США, где он и умер в 1804 г.

Многие из членов Лунного общества были избираемы в Королевское общество и, направив свои силы на развитие прикладных наук, в значительной степени способствовали тому, что Мидлэнд стал одним из ведущих центров промышленной революции. Лунное общество являлось активным центром обсуждения всех наиболее существенных научных и технических идей своего времени.

Участие Уатта в деятельности Лунного общества характеризует его как эрудированного и широко образованного, либерально мыслящего человека, которому далеко не чужды были самые разнообразные теоретические проблемы, и безусловно, теоретические вопросы, относящиеся к его деятельности в теплоэнергетике, не остались в стороне от его пытливого ума.

Приведенных биографических данных вполне достаточно для того, чтобы прийти к выводу о характерном отличии Уатта от большинства своих предшественников и современников. Завершителем первого этапа развития парового двигателя должен был стать человек, сочетающий теорию с практической подготовкой, каким и являлся Джеймс Уатт.

Скопление случайностей?

Безусловно. Но это скопление случайностей создало конкретные предпосылки проявления необходимости. Первый этап развития теплоэнергетики должен был завершиться. Если бы этого скопления случайностей, как формы

реализации необходимости, не было, то завершать первый этап теплоэнергетики пришлось бы кому-то другому, втянутому в сферу потребных случайностей. Предшественники и современники Уатта каждый по-своему пытались решить проблему универсального двигателя, вставшую с неумолимой категоричностью. Многие из них задачу получения равномерного однонаправленного непрерывного вращательного движения решали не хуже, чем Уатт. Они были, очевидно, неплохими механиками. Но из множества вариантов решений наилучший должен быть наиболее экономичным. Для решения проблемы экономичности недостаточно было быть только механиком, хотя и хорошим. Нужно вторгнуться в область неизведанных тепловых явлений и процессов. И среди скопления случайностей, окружавших жизнь и деятельность Уатта, был его контакт с учеными, первооткрывателями некоторых из этих процессов и явлений. Более того, контакт с ними привел к тому, что сам Уатт стал физиком-экспериментатором и провел ряд весьма точных для его времени опытов по определению удельного объема водяного пара, теплоты парообразования при давлении в одну атмосферу, зависимости между давлением и температурой водяного пара, причем работа физика-экспериментатора подкреплялась в опытах Уатта его мастерством механика точных приборов и инструментов.

Сочетание практика-механика с теоретиком как в области механики, так и в области тепловых явлений на уровне самых последних достижений науки того времени позволило Уатту найти ряд практических решений в их первом приближении, теоретическая разработка которых была осуществлена на многие десятилетия позднее крупнейшими учеными: П. Л. Чебышевым, И. А. Вышнеградским, Ф. Рело и другими, о чем будет сказано в соответствующих местах этой книги.

Анализ влияния теории и практики на деятельность Уатта имеет интерес не только потому, что помогает в какой-то степени проникать в существо творческой деятельности самого Уатта. Такой анализ интересен и потому, что может показать развитие исторических тенденций в технике. Когда-то техника строилась исключительно на данных практики, опыта производства. В наше время наука сращивается с техникой и значение научной теории в производственных процессах неоспоримо. Сопоставление дея-

тельности Уатта с деятельностью его предшественников и последователей в работе по развитию теплоэнергетики может показать на конкретных исторических фактах отмеченную тенденцию возрастания роли теории в производственном процессе.

В деятельности И. И. Ползунова значение практики в значительной степени преобладало над значением теории. Теория указала ему на теплоту как на новый, «более мощный источник двигательной силы», позволила определить размеры цилиндров для машины задуманной производительности и увязать в единый механический комплекс сложную систему универсального привода его двигателя. Практика поставила вопрос о несостоятельности гидроэнергетики, позволила обобщить и конкретизировать нужды заводской энергетики, придала общей задаче конкретные условия, продиктованные фабрично-заводскими потребителями энергии, определила конкретные технические задания к новому двигателю, предоставила в его распоряжение арсенал деталей для конструирования машины, определила ряд сложных технологических процессов изготовления деталей нового двигателя [87]. Можно полагать, что около двух третей его изобретений родились на свет благодаря практике, тогда как теория играла в этом деле меньшую роль.

В деятельности последователя Уатта по развитию теплотехники — изобретателя теплового двигателя Р. Дизеля, только доводка двигателя падает на роль практики. Эта доводка осуществлялась не самим Дизелем. Практические работники ряда машиностроительных заводов и фирм «МАН», «Зульцер», Петербургского завода Нобеля и ряда других совершенствовали этот двигатель. А сам автор изобретения в постановке вопроса о новом двигателе и методах его решения исходил исключительно из теоретических обоснований.

Как обстояло дело в деятельности Уатта? Действительно ли, как об этом можно судить по биографическим данным, значение теории возросло для него по сравнению с его предшественниками; действительно ли завершение первого этапа развития теплоэнергетики требовало большего вклада теоретических основ в творчество его завершителя, каким являлся Д. Уатт?

Рассмотрим узловые вклады Уатта в развитие теплового двигателя, определившие завершающий скачок от дви-

гателя частного назначения к универсальному двигателю. Только практика могла продиктовать ему конструктивные решения связи штока поршня с концом балансира. Он, как это будет показано из материала его патентов, дал целую серию решений этой задачи. Ни одно из них не исходило и не могло исходить из каких-либо теоретических данных. Его предшественник Д. Папен дал совершенно беспомощный с практических позиций рисунок (см. рис. 8), содержащий в себе только идею, только принципиальную возможность решения этой задачи при помощи рейки и зубчатого сектора балансира. Но эту задачу методом рейки и балансира практики уже решили ранее Уатта, что совершенно очевидно при первом взгляде на приведенную выше конструкцию Фицджеральда (см. рис. 7). Но кроме этого решения, явно позаимствованного из предшествующей его деятельности практики, Уатт дал другое решение в форме параллелограмма.

Оно также не могло быть заимствованным из каких-либо теоретических положений, поскольку их еще не существовало. Как известно, теоретическое решение задачи параллелограмма было дано П. Л. Чебышевым только в 1861 г. в работе «О некотором видоизменении коленчатого параллелограмма Уатта» и в 1869 г. в работе «О параллелограммах». Уатт нашел свое решение практическим путем, доказательство чему будет дано на патентных данных о его изобретении.

Практика подсказала Уатту конструктивные формы центробежного регулятора. Как выше указывалось, знание о центробежных силах было давно в распоряжении техники. Маховики в виде крестовин с гириями прекрасно это подтверждали, хотя никаких математических выводов и количественных соотношений сделано еще не было. Только опыт хорошего механика-практика помог Уатту решить практически, путем подбора отдельных элементов конструкции, эту сложную задачу, теоретическое решение которой, как и в случае параллелограмма, последовало значительно позднее. Только в 1877 г. И. А. Вышнеградский дал теорию регулятора Д. Уатта («О регуляторах прямого действия»). Здесь весьма показателен тот факт, что энергетика, в частности теплоэнергетика, ранее всего ощутила потребность в регулировании. В 1766 г. И. И. Ползунов также чисто практическим путем сконструировал свой регулятор прямого действия для автоматического поддержа-

ния постоянства уровня воды в паровом котле его двигателя. Интересно и то обстоятельство, что регуляторы двух изобретателей паровой машины, предназначенные для разных целей (в одном случае для поддержания постоянства числа оборотов при переменной нагрузке машины, в другом — постоянство уровня воды в котле при переменном расходе), по принципу своего действия одинаковы. Это однопольные регуляторы прямого действия с одним регулируемым параметром.

Только практика подсказала Уатту решение задачи цилиндра двойного действия, наиболее прославившего его, причем не вполне заслуженно по отношению к решениям других, более значительных и тонких конструктивных задач.

Автор не исходил здесь из каких-либо теоретических предпосылок. А что касается совершенно очевидного удвоения мощности цилиндра двойного действия, то оно привело лишь к гипертрофированной оценке этого вклада Уатта в развитие паровой машины.

Уатт шел к своему решению исключительно практическим путем, преследуя главную цель — повышение экономичности паровой машины. Открытая им в итоге пятилетних размышлений формула о том, что «цилиндр должен быть всегда горячим», неизбежно привела его к мысли изолировать этот цилиндр от холодного атмосферного воздуха путем введения крышки, через которую изобретатель пропустил шток поршня, а в получившуюся полость стал пропускать пар, согревавший цилиндр со стороны нерабочей полости. Как долго ставшая рабочей по своей конструкции полость могла оставаться нерабочей? Превращение ее в рабочую полость было совершенно неизбежным, и эта неизбежность не могла пройти мимо Уатта, который отдавал весь свой интеллект постоянному и напряженному труду, направленному на то, чтобы совершенствовать и совершенствовать свое детище.

Так практика совершенствования паровой машины направила Уатта на поиски реализации его теоретического вклада — постоянной и высокой температуры цилиндра — и затем, уже вне всякой теоретической основы, привела к цилиндру двойного действия, подлинное значение которого, не подмеченное сторонними наблюдателями деятельности Уатта, будет раскрыто в соответствующем месте этой книги.

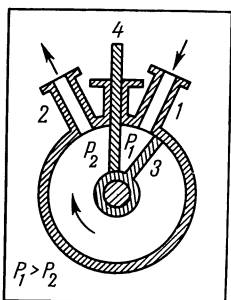


Рис. 20. Принципиальная схема «коловратного» двигателя

Чисто практическое конструирование, отраженное в работах Уатта в большом числе возможных вариантов, выразило его стремление найти особый конструктивный путь к машине с вращательным рабочим движением. Этот особый путь, запатентованный им в виде идеи в патенте 1769 г., не был прогрессивным путем, хотя множество других практиков предлагало его в самых разнообразных вариантах долгие годы. Затруднения конструирования такого двигателя видны из его принципиальной схемы (рис. 20). Если давление поступающего по трубе 1 пара P_1 больше давления пара, покидающего двигатель по трубе 2, то вследствие разности этих давлений крыльчатый поршень 3 такого двигателя будет вращаться по стрелке, производя полезную работу. Конструктивное противоречие этого двигателя, получившего в нашей стране название «коловратного», состоит в том, что для обеспечения разностей давлений $P_1 - P_2$ заслонка 4 должна быть опущена, а для прохождений крыльчатки — поднята. Это конструктивное противоречие не получило оптимального решения, и «коловратные» машины сохранились в качестве вспомогательных (так называемых сервомоторов) с качательным движением поршня-крыльчатки при неподвижной разделительной стенке.

Тепловой двигатель с вращательным движением вала без преобразующего механизма мог возникнуть значительно позднее на ином принципе. Это — паровая турбина, где энергия давления пара предварительно преобразуется в его скоростную энергию, отдаваемую паром лопаткам турбины. Но паровая турбина — быстроходный двигатель, в котором во времена Уатта еще не было потребности как в двигателе электрогенераторов. Не было тогда и возможности по техническим условиям осуществить такую машину.

Для тихоходных судовых установок с гребными колесами хорошо разработанный коловратный двигатель был предложен в 50-х годах нашего века, но слишком поздно. Паровые двигатели на судах стали решительно вытеснять-

ся двигателями внутреннего сгорания высокого сжатия — дизелями.

Практическое конструирование механика Уатта вылилось в конкретные формы паровой рубашки, окружающей стенки рабочих цилиндров его паровых машин.

Теоретическое положение о том, что стенки цилиндра должны быть всегда горячими, на котором ниже остановимся, не дает никаких путей к реализации этого положения. Они могут быть почерпнуты только из практики конструирования металлических устройств и их деталей, хорошо известной Уатту-механику. Опыт эксплуатации паровых машин с рубашками Уатта показал их эффективность в самом грубом приближении. Теории их расчета не существовало. И только в XX в. чл.-корр. АН СССР Александр Александрович Радциг внес существенный вклад в теорию вопроса о теплообмене между паром и стенками цилиндра, позволивший более точно судить о влиянии паровой рубашки на этот теплообмен.

Практика послужила Уатту источником и для его решения о применении планетарной передачи от конца балансира его двигателя к кривошипному валу. Как упоминалось выше, Васбру и Пикар — каждый по-своему — запатентовали кривошипно-шатунный механизм, известный столетиями, для применения в паровом двигателе. Путь применения кривошипно-шатунного механизма был закрыт для Уатта, а Болтон в своих письмах просил поспешить с патентованием машины с вращательным движением. Уатт разработал ряд конструкций, о которых мы расскажем впоследствии, анализируя его патенты. Окончательно он остановился на планетарной передаче, суть которой была известна Уатту-механику, — увеличение числа оборотов, необходимое для возможности применения маховика меньшей массы, к которому прибегали, как показано выше, многие изобретатели паровой машины. Весь вопрос состоял в реализации известного свойства планетарной передачи, и реализация эта всецело опиралась на практический опыт Уатта.

Где же в своем творчестве Уатт опирался на теорию?

Рассмотрим элементы творчества Уатта, для осуществления которых практики механика было бы совершенно недостаточно, где необходимо было либо обращаться к существовавшей в то время теории, либо самому развивать ее, как это сделал Уатт, далеко выходя за рамки деятель-

ности «простого механика», как он назвал себя в автобиографии, разъясняя начало работы над паровой машиной.

Прежде всего следует остановиться на таком элементе творчества Уатта, который для своего решения требовал и теоретических познаний, и практических умений, и навыков механика.

Это — введение расширения пара в цилиндре, отсечка впуска пара в полость цилиндра до прихода поршня в мертвое положение.

Для чего?

На этот вопрос практика и теория отвечают по-разному.

Исторические факты показывают, что отсечка пара, прекращение его впуска в полость парового цилиндра до прихода поршня в крайнее положение, была на практике введена задолго до трудов Уатта с целью достижения максимальной плавности хода работы машины, уменьшения толчков при подходе поршня к мертвому положению. Уатт знал об этом и использовал отсечку там, где она использовалась до него: в насосных установках без преобразования работы пара во вращательное движение, выравниваемое маховиком. В этом вопросе полностью господствует практика.

Но зачем же Уатт стал особенно пристально заниматься вопросом отсечки пара и в своих универсальных машинах с вращательным движением вала? Зачем он сократил наполнение до $\frac{1}{4}$ от хода поршня вместо применявшихся и до него в насосных машинах значений $\frac{3}{4}$ и выше?

На этот вопрос целиком отвечает теория. Сейчас расчет подтверждает теоретическое положение термодинамики, гласящее, что если давление впуска пара в машину P_1 , а давление в конденсаторе, куда направляется отработавший пар, — P_2 , то экономически целесообразно выбрасывать пар с давлением в конденсатор, чтобы он именно «отработал», расширился. А для этого нужно предоставить ему эту возможность, прекратив впуск на такой точке движения поршня, чтобы при его дальнейшем движении до конца рабочего хода и увеличения занимаемого им объема пар расширился бы до давления в конденсаторе. (В действительности мы начинаем выпуск пара с несколько большим давлением для обеспечения быстрого перехода, для размещения каналов достаточного сечения для прохода пара с увеличившимся вследствие расширения удельным объемом.)

Основоположителем этой теории явился Уатт.

Это было задолго до возникновения термодинамики, начало которой было положено трудами Фурье и Карно [14, 28] только в 20-х годах XIX в.

Теория, как известно, утверждается двумя различными путями: аналитическим и экспериментальным. Фурье и Карно начинали аналитическую теорию тепла, на основании постулатов и законов которой можно прийти к частному выводу о полезности отсечки пара для повышения к.п.д. паровой машины. Этот частный вывод Уатт получил ранее Фурье и Карно, придя к нему путем научного эксперимента, путем опыта, для проведения которого Уатт использовал свое умение практика-механика точного приборостроения, разработав и осуществив на деле индикатор — прибор, позволяющий получить непосредственно из полости цилиндра ответ на вопрос, как протекает в ней процесс расширения пара.

Таким образом, в решении задачи об отсечке пара Уатт использовал и теоретическое положение, найденное им экспериментальным путем, и практику искусного механика.

Сочетание Уатта-теоретика с Уаттом-практиком хорошо прослеживается по его патентным заявкам, где основные теоретические положения всегда подкрепляются практической формой их реализации. Так, основное теоретическое положение, открытое Уаттом и развитое на практике, состоящее в мысли о необходимости поддерживать температуру цилиндра равной температуре пара, сразу же дополняется практическими предложениями, как это следует делать: вводить тепловую изоляцию, нагрев (паровая рубашка), исключать возможность контакта с холодной водой.

Основное теоретическое решение Уатта — завершение и теоретического, и реального цикла парового двигателя путем введения в паросиловую установку конденсатора (название введено Уаттом для паровых машин в его патенте 1769 г.) — исходило из правильного понимания процесса парообразования и конденсации, как смены состояний одного и того же рабочего тела, переводимого по желанию конструктора из жидкого состояния в газообразное, а из газообразного в жидкое. Здесь он не повторяет ошибок Леупольда и Тривальда, отождествлявших пар с воздухом. Правильная теоретическая основа воззрений Падена не только разделяется Уаттом, но развивается далее;

обращаясь к эксперименту, Уатт обогащает теорию рабочего тела.

Он отчетливо выделяет «воздух и другие газообразные тела, не сгущенные вследствие низкой температуры конденсатора и мешающие работе машины», и, верный своему практицизму, сразу же дает решение, как поступать с этими газами. Они «...должны удаляться из конденсаторов посредством насосов, приводимых в действие самой машиной или другим каким-либо образом». Это решение в силе и в настоящее время: поршневые, эжекторные, центробежные, конденсаторные насосы составляют неприменную часть конденсационных паросиловых установок.

Свое теоретическое положение о возможности использования пара избыточного давления с выхлопом в атмосферу Уатт, по-видимому, как и его предшественники, выводил из больших расходов воды на конденсацию пара, превышающих количество воды для его генерации в 20—40 раз в зависимости от глубины вакуума. Леупольд писал о применимости машин избыточного давления «...в лесу, где много топлива, а воды из луж достаточно для получения пара» [38, § 201]. Кюньо для своей повозки мог применять только избыточное давление, так как она не могла везти громадное количество охлаждающей воды. Уатт также пишет о применении избыточного давления «...в тех случаях, когда не хватает холодной воды» [45, т. III].

Займствовал ли Уатт мысль о возможности работы паром избыточного давления с выхлопом в атмосферу у Я. Леупольда или пришел к ней самостоятельно, это положение теоретически верно и впоследствии получило широкое применение на паровозах всего мира.

Теоретическими исследованиями свойств водяного пара, далекими от специальности механика-практика и лежащими в сфере исследований физика-экспериментатора, занимался Уатт-теоретик.

Эти исследования были прежде всего направлены на решение задачи, больше всего занимавшей мысли Уатта: чему равен удельный объем пара по сравнению с удельным объемом воды при давлении в одну атмосферу. Тривальд, полагая, что пар есть не что иное, как воздух, ссылаясь на исследования Бойля, писал: «...один кубический дюйм воздуха в нагретом состоянии способен заполнять пространство в 15 000 кубических дюймов, ...что, я полагаю, многие сочтут невероятным». Да, это невероятно. Для расширения

воздуха, в 15 000 раз потребовалось бы теоретически нагреть его до температуры свыше $4\,000\,000^{\circ}\text{K}$, и он перешел бы в плазменное состояние.

Уатт имел дело с рабочим телом, увеличивающим свой объем при переходе из жидкого состояния в парообразное. Эксперименты Уатта привели его к выводу о величине удельного объема насыщенного пара при 1 *ата*, равной $1800\text{ м}^3/\text{кг}$. Современные экспериментальные данные [94] дают значение 1675, а теоретические [79] 1673.

Профессор Глазговского университета Джозеф Блек [1728—1799], хороший друг Уатта, впервые открыл явление теплоты парообразования в 1757 г., за шесть лет до начала занятий Уатта паровой машиной. Уатт повторил опыты Блека с большой для его времени точностью и нашел значение теплоты парообразования при давлении в 1 *атм* равным 549 ккал/кг . Данные экспериментальных работ нашего времени [94] дают значение теплоты парообразования при тех же условиях, равное $539,2\text{ ккал/кг}$, а данные теоретических исследований [79] — 539 ккал/кг . К чести Уатта следует отметить, что расхождение с современными данными всего 0,74%.

Третье направление исследований, связанное с изучением природы рабочего тела паровых машин, состояло в определении взаимосвязи между давлением и температурой водяного пара. Эту взаимосвязь впервые исследовал Д. Папен в 1680 г., почти за сто лет до работ Уатта, но не дал точных данных, установив только качественную природу этой зависимости. Современник Уатта Циглер, пользуясь прибором, сходным с котлом Папена, провел ряд опытов по количественному определению установленной Папеном зависимости, но его опыты не дали достаточно точных результатов [70].

Данные опытов Уатта исключительно точны. Они хорошо совпадают с данными опытов Ренью, проведенных в середине XIX в. [52], и мало отличаются от современных. В областях, наиболее интересовавших Уатта (1 *ата*, 100°), совпадение почти полное.

В существующей обширной литературе о Уатте почти полностью замалчивается его деятельность в области конструирования парогенераторов и топочных устройств. Обращение к патентам Уатта показывает, что и в этой области его творчество представляет достаточно глубокий интерес для исследователя. В области сооружения прочных

котлов-резервуаров механик Уатт дал ряд интересных конструктивных решений. Достаточно интересны и его топочные устройства. В этих работах Уатт исходил из данных производственного опыта, так как теории горения в то время совершенно не существовало.

Краткий обзор работ Уатта с позиций выявления в нем сочетания теоретика и практика показывает вполне отчетливо, что по сравнению с Ползуновым Уатт ушел далеко вперед в области использования накопленных теоретических данных и в области пополнения этих данных экспериментальными исследованиями.

Если вернуться к соотношению практики и теории, то в работах Уатта можно заметить естественное для его времени промежуточное значение. Из 20 его решений 9 исходят из практики, 11 — из теории. Таким образом, именно Уатт оказался, как говорят англичане, нужным человеком, на нужном месте, в нужное время. Комплекс условий — образование, знания, умение, связи и другие, о которых дальше будет сказано в связи с реализацией его изобретений, — сложился так, что Уатт оказался максимально подходящим человеком для выполнения назревшей задачи: превращения насосных паровых установок в универсальный двигатель промышленности и транспорта.

К работам Уатта, не выполнимым для механика-практика, следует отнести его труды над определением мощности, являющейся и поныне существующей величиной во всех странах мира.

Его предшественник Ньюкомен был еще далек от понимания мощности и расчетные элементы своей машины сводил к определению усилия, возникающего на площади поршня вследствие давления атмосферы при создании под поршнем практически достижимого в машинах его конструкции вакуума. По данным физика Дезагюлье [27], правило Ньюкомена состояло в следующем: диаметр поршня машины следует возвести в квадрат, затем перед первой с конца цифрой полученного числа поставить запятую и приписать ноль справа; цифры до запятой дают усилие в центнерах, после запятой — в фунтах. Правило совершенно эмпирическое и тем не менее преувеличивавшее расчетное усилие, так как давало значение, соответствующее давлению воздуха, большему, чем одна атмосфера, тогда как при вакууме порядка 50% рабочее давление на поршень не могло быть более $0,5 \text{ кг/см}^2$.

Для Уатта, получавшего доход от экономии топлива (его машины расходовали меньше угля, чем машины, работавшие без конденсатора), необходимость в расчете была крайне существенной. К этому времени был сделан шаг вперед по сравнению с попытками Ньюкомена. Вместо учета усилия на штоке поршня возникла потребность учитывать работу машины на единицу сжигаемого угля. Это был известный шаг вперед, так как в расчет принимались не только размеры машины, но и число ходов в минуту, длина хода поршня, влияние вакуума и другие факторы. Производительность машин при водоподъеме определялась затраченной работой в фунто-футах.

При переходе к универсальному двигателю его работоспособность потребовала введения новой величины измерения, не зависящей от вида производимой работы, — будь это подъем воды или привод прядильных или ткацких станков. Машина должна была иметь присущую ей характеристику производительности, и эта характеристика не могла уже обойтись без учета фактора времени, так как маломощная машина в длительный срок может дать больше работу, чем мощная в короткое время.

Уатт не анализировал всех факторов, входящих в состав понятия мощности как работы, отнесенной к единице времени. Он просто нашел эталон мощности в качестве живого двигателя — лошади. Обратившись в 1784 г. к эксперименту с живым двигателем, Уатт правильно учел единицу мощности по ее размерности как работу (он брал фунто-футы), отнесенную ко времени (была принята одна минута). По его измерениям, хорошая лошадь в состоянии произвести работу в 33 000 фунто-футов в минуту. Эта единица мощности, названная им «лошадиная сила» (понятия мощность и соответствующего термина введено не было), сохранила и сегодня свое историческое наименование. В странах с метрической системой измерений 33 000 фунто-футов в минуту соответствуют примерно 76 кгм/сек . Эта величина, округленная до 75 кгм/сек , стала единицей мощности в этих странах, в том числе и в СССР.

Можно отметить, что работу лошади принимали за эталон мощности еще ранее Севери и Смитон. Но опыт и предложения Севери были забыты, а Смитон предлагал принять в качестве единицы мощности 22 000 фунто-футов в минуту. Победа машины Уатта — универсального двигателя, освободившего паровую машину от единственной обязан-

ности откачивать воду, двигателя, широко распространявшегося по заводам, фабрикам, транспортным агрегатам, привела к распространению и новой единицы измерения мощности машины вне зависимости от ее применения.

Оставалось только найденный эталон мощности связать с параметрами машины для того, чтобы можно было по заданной мощности, давлению пара, числу оборотов определить размеры проектируемой машины. Был введен термин «номинальная лошадиная сила», характеризующий каждую отдельную машину. Уатт и Болтон для выпускаемых ими машин приняли исходные данные: давление пара в котле 7 англ. фунтов на 1 кв. дюйм; средняя скорость поршня 128 футов в минуту, что при единице мощности в 33 000 фунто-футов в минуту давало расчетную формулу

$$N_{\text{ном}} = \frac{\sqrt[3]{SD^2}}{47},$$

где S — ход поршня в футах; D — диаметр цилиндра в дюймах, а для судовых машин при средней скорости поршня 220 *фут/мин*

$$N_{\text{ном}} = \frac{D^2}{27,28}.$$

Эти формулы были в употреблении до 80—90-х годов XIX в., но затем увеличение давления пара, питающего машины, числа оборотов, числа цилиндров перестали отражать действительную мощность отдельных машин, и тогда пришлось перейти к индикаторной или к эффективной мощности, определяемой или индикатором, сконструированным Уаттом, или тормозом, а позднее — при помощи электропривода по показаниям электрической мощности.

Обобщая изложенное выше, можно сказать, что Уатту в истории теплотехники выпала задача завершения начального периода развития парового двигателя: от первых опытов по определению «движущей силы огня» до внедрения в промышленность и на транспорт универсального двигателя. Для решения этой задачи необходимо было придать паровой машине одно из недостающих основных звеньев — конденсатор, повышавший коэффициент полезного действия машины почти в 3 раза; придать валу машины однонаправленное, равномерное, вращательное движение; дополнить машину рядом существенных конструктивных узлов и деталей: насосной установкой, паровой рубашкой,

регулятором постоянства числа оборотов, крышкой цилиндра, сальником штока, двумя рабочими полостями, парораспределительным механизмом на две рабочие полости и большим числом отдельных мелких деталей.

Если к этому добавить, что вся изобретательская деятельность Уатта была направлена на один объект — паровую машину, на одну цель — повышение ее эффективности (на выполнении этой цели он был сосредоточен свыше четверти века), станет очевидно, почему Уатт был в состоянии осуществить крутой поворот в развитии теплоэнергетики, принеший ему мировую известность и заслуженную славу.

Главная задача в деятельности Уатта и ее решение

Начало занятий Уатта паровой машиной многие авторы книг о нем приписывают чистой случайности, как, например, М. Хотинский [104], который писал, что «...вдруг, зимою 1763 года, профессору физики Андерсону понадобилась для лекций модель Ньюкоменовой паровой машины. Такая модель находилась в музее Глазговского университета; но она не действовала по причине дурного устройства. Андерсон просил Уатта заняться ее исправлением. Вот обстоятельство, давшее случай Уатту впервые обратиться к изысканиям над устройством паровых машин. Ничтожный случай был поводом величайших открытий. Починка плохой модели, хранившейся бесполезно в музее, указала Уатту путь, на котором он, как новый Колумб, должен был открыть новый мир».

Доминанта случайного видна и в другом тексте: «Зимой 1763/64 г. он столкнулся с машиной Ньюкомена, когда по просьбе профессора физики в Глазго Андерсона ремонтировал небольшую модель этой машины, которая демонстрировалась студентам на лекциях в физической аудитории университета» [95].

Верное, но мало говорящее описание события выражено в словах: «Серьезные занятия Уатта паровой машиной начались в 1763—1764 гг., когда ему передали для ремонта модель паровой машины Ньюкомена, принадлежащую Глазговскому университету» [101].

Лучше всего обратиться к словам самого Уатта, неоднократно публиковавшимся в «Британской Энциклопедии» и в ряде книг, в том числе и в русском переводе [102].

Статья Уатта является первоисточником и дает серьезный материал для размышлений, дает возможность исправить неточности ряда авторов, писавших об Уатте, и, главное, представляет довольно обоснованный материал для проникновения в творческую лабораторию изобретателя.

«Первый обратил мое внимание на паровую машину покойный доктор Робисон, бывший тогда еще студентом Глазговского университета и приблизительно одного со мной возраста. Он в то время был занят идеей применить силу пара к движению повозки и для других целей, но план этот не был разработан и вскоре, после его отъезда за границу, был оставлен совсем».

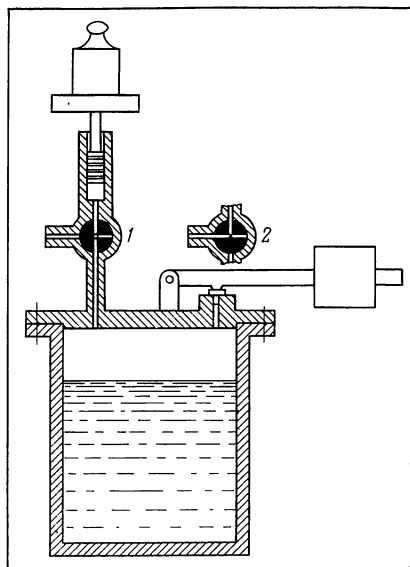
Упомянутая Уаттом «идея применить силу пара к движению повозки и для других целей» есть не что иное, как идея превращения ограниченной по сфере своего применения насосной паровой установки Ньюкомена в универсальный двигатель. Эта идея назрела настолько, что ее проявление мы видим и у непосредственных изобретателей паровых установок (патент Севери с указанием на возможность привода «мельниц любого рода», правда, при помощи водяного колеса), и у промышленников (письмо Болтона к Уатту со словами «все без ума от паровой мельницы»), и у ученых, что видно из слов Уатта о идее Робисона.

И Уатт начал было заниматься реализацией идеи, подсказанной ему Робисоном в виде задачи. Может быть, Робисон подсказал ему и пути решения, может быть, Уатт искал их сам в направлении, очевидном из дальнейшего текста его статьи.

«Около 1761 или 1762 года я попробовал произвести некоторые опыты над силой пара в котле Папена и для этой цели устроил род паровой машины, укрепив на котле трубочку диаметром в одну треть дюйма (около 8,5 мм. — *И. К.*) с прочным поршнем, снабженную краном, назначение которого состояло в том, чтобы открывать или прекращать подачу пара из котла, смотря по желанию, а также в том, чтобы открывать сообщение между внутренностью трубочки и атмосферой для выпуска пара, заключенного в трубочке».

По этому описанию нетрудно понять принципиальные черты опытной установки Уатта (рис. 21). Трехходовой кран давал возможность «по желанию» либо впускать пар в цилиндр, либо выпускать из цилиндра в атмосферу.

«Когда открывалось сообщение между котлом и трубочкой (положение крана 1 на рис. 21. — *И. К.*), пар входил



*Рис. 21. Схема экспериментальной установки
высокого давления Уатта*

в нее и, действуя на поршень, поднимал значительную тяжесть (15 английских фунтов, т. е. около 7 килограммов), которой он был нагружен», — писал далее Уатт.

Нетрудно подсчитать, что давление пара в котле было довольно большим, а по тем временам даже очень большим. При диаметре поршня 8,5 мм, или 0,85 см, его площадь составит около 0,57 см², а давление, поднимающее груз в 7 кг, будет: $7 : 0,57 = 12,2$ кг/см² избыточных, или 13,2 кг/см² абсолютных.

Эту статью Уатт писал незадолго до смерти (он умер в 1819 г.), когда Тревитик в Англии и Ивенс в США провозгласили высокое давление для паровозов, что в то время означало 8—10 кг/см². В среднем же в это время давление пара составляло от 0,05—0,1 (низкое) до 0,5—1,0 (высокое). Поэтому опыт Уатта следует расценивать как весьма смелый. Однако в своей последующей деятельности Уатт всецело оставался сторонником машин низкого давления по причинам, ясным из дальнейшего текста его статьи.

«После того как поршень был поднят на подходящую высоту, сообщение с котлом закрылось (положение крана

2 на рис. 21.— *И. К.*), а с атмосферой открывалось; тогда пар выходил из трубочки, и тяжесть опускалась. Операции эти повторялись несколько раз и, хотя в этих опытах кран поворачивался рукой, легко было видеть, каким образом его можно было поворачивать самой машиной и заставить работать вполне регулярно».

Все нужное и достаточное было в распоряжении Уатта для того, чтобы построить машину высокого давления с выхлопом в атмосферу, которая могла бы стать универсальным двигателем, причем несравненно более универсальным, чем конденсационная машина низкого давления, совершенно неприемлемая для локомотивов. Но высокое давление явно пугало Уатта. Он писал: «Но я скоро отказался от идеи построить машину по этому принципу, так как вследствие своей непрочности она обладала бы теми же недостатками, что и машина Севери, т. е. ей постоянно угрожала бы опасность взрыва котла, соединения было бы также трудно сделать непроницаемыми и значительная часть энергии пара терялась бы вследствие того, что под поршнем не образовывалось бы вакуума, облегчающего поршню движение вниз».

Знаменательным явлением описываемого периода развития парового двигателя было то, что все его изобретатели ставили вопрос альтернативно: или низкое давление плюс вакуум, или высокое давление, но без вакуума. Так же альтернативно решал представленную дилемму и Уатт. Для своей деятельности он избрал низкое давление и вакуум, хотя запатентовал высокое давление, которое никогда не пытался применять, доставив этим множество неприятностей ряду изобретателей машин высокого давления на 31 год действия его патента, о котором он упоминает в цитируемой статье: «Тем не менее я описал эту машину в четвертом пункте моего патента 1769 года, а также в другом патенте 1784 г. вместе со способом применения ее к движению повозок».

Итак, Уатт стал решительным сторонником низкого давления для стационарных машин, несмотря на то, что повышение давления, а следовательно, теплового перепада обещало повышение экономичности машин, к чему всю свою жизнь настойчиво стремился Уатт. Это противоречие легко объясняется тем, что в то время термодинамика еще не возникла и Уатт рассуждал, как и все другие, более с механических, чем тепловых позиций. Как он отмечал,

«значительная часть энергии пара терялась бы вследствие того, что под поршнем не образовывалось бы вакуума, облегчающего поршню движение вниз». С чисто механической точки зрения движение поршня вниз было бы в равной степени «облегчено» как у машины с избыточным давлением 0,1 *атм* и вакуумом 90% (низкое давление), так и у машины с избыточным давлением 1,0 *атм* и выхлопом в атмосферу. Роль вакуума как «облегчителя» очень ограничена, и достаточно поднять котельное давление на 0,9 *атм*, как «облегчительное» действие вакуума сбалансировалось бы полностью увеличенным избыточным давлением.

Переводчики статьи Уатта модернизировали ее, введя термин «энергия» вместо «сила», тогда как термин «энергия» был введен в научно-технический словарь Кельвином только в середине XIX в. Уатт, исходя из чисто механических концепций, не мог знать, что эти концепции оказали ему существенную помощь, так как из двух описанных машин с одинаковым перепадом рабочих давлений и неизвестным Уатту разным перепадом теплосодержаний его машина низкого давления была более экономичной. Она срабатывала перепад, больший в 3 раза, что видно из приведенных ниже данных [91].

	Давление	Температура	Теплосодержание
Высокое	2,0 (впуск)	119,62	646,3
давление	1,0 (выпуск)	99,09	638,8

Сработанный теплоперепад 7,5 *ккал/кг*

	Давление	Температура	Теплосодержание
Низкое	1,0 (впуск)	101,76	640,7
давление	0,1 (выпуск)	45,45	617,0

Сработанный теплоперепад 23,7 *ккал/кг*

Для машины, работающей на выхлоп при равном теплоперепаде, потребовалось бы котельное давление пара значительно большее, что следует из суммы теплосодержаний ($638,8 + 23,7 = 662,5$), для которой из таблиц [98] получаем значение 9,2 *атм*; от этого давления, важного по тому времени, Уатт решительно отказался, а в областях

низких давлений экономическое преимущество было всецело на стороне конденсационных машин.

Выгоды применения высокого давления начали сказываться значительно позднее. Изобретатель парового молота Джеймс Несмит (1808—1890) писал: «Стали применять высокое давление. Раньше на предохранительный клапан навешивалась такая нагрузка, что он открывался уже при давлении пара 4,6 (0,336 изб. *атм*) или 8 (0,585 изб. *атм*) фунтов на квадратный дюйм; теперь было найдено, что повышение давления до 14—20 фунтов (1,03—1,46 изб. *атм*)... приводит к весьма значительному сбережению угля; другими словами, работа на фабрике стала осуществляться при значительно меньшем потреблении угля... Люди, обладающие достаточными средствами и достаточной предприимчивостью, стали применять систему повышенного давления во всей ее полноте и ввели в употребление соответственно построенные паровые котлы, развивающие давление в 30, 40, 60 и 70 фунтов на квадратный дюйм, — давление, которое заставило бы инженеров старой школы упасть в обморок от страха (2,19; 2,92; 4,37 и 5,11 изб. *атм*). Но так как экономический результат этого повышенного давления пара... очень быстро обнаружился в совершенно недвусмысленной форме фунтов, шиллингов и пенсов, паровые котлы высокого давления при конденсационных машинах получили почти всеобщее распространение».

Сделанный нами для сопоставления перевод давлений с фунтов на избыточные атмосферы кг/см^2 показывает, как они были еще далеки от современных, превышающих 300 *атм*, но уже давали по сравнению с машинами низкого давления весьма существенную экономию. Теплоперепад при срабатывании от давления 5,11 *ати* или 6,11 *ата* до давления в конденсаторе 0,1 *ата* будет $658 - 617,0 = 41,0 \text{ ккал/кг}$, т. е. больше, чем в машинах Уатта, в 1,75 раза [79].

За механическими соображениями Уатта были сокрыты термодинамические преимущества машин низкого давления с конденсацией пара, и упорная борьба Уатта за организацию вакуума без охлаждения цилиндра принесла свои плоды: он более чем в 2,5 раза повысил к.п.д. парового двигателя. Статья Уатта рассказывает, как ему это удалось. Обратимся к ее продолжению.

«Другие занятия помешали мне продолжать дальнейшую разработку этого предмета, но зимой 1763/64 г., имея

случай починить модель машины Ньюкомена, принадлежащую факультету натуральной философии Глазговского университета, я обратил на нее снова свое внимание».

Случай, отмеченный Уаттом, оказался гораздо более глубоким по своему скрытому значению, чем это мог предполагать Уатт. Обратимся к цитированному выше тексту Хотинского [104], который писал о модели: «...она не действовала по причине дурного устройства». Это «дурное устройство» сделало случай, характеризующий тем же Хотинским как «ничтожный», случаем серьезного внутренне-го содержания. Большинство авторов, писавших о деятельности Уатта, не вдумывалось в сведения о «дурном устройстве» модели машины Ньюкомена и усматривало «случай» Уатта только в необходимости починить какую-то неисправность в этой модели. Если же обратиться к словам Уатта, то упомянутое Хотинским «дурное устройство» подтверждается этими словами, хотя и не разъясняется ими.

Уатт далее писал: «В этот период мои познания были почерпнуты главным образом у Дезагюлье и частью у Белидора». Дезагюлье придерживался ошибочных взглядов на свойства водяного пара, полагая отношения объема пара к объему воды, из которой он генерирован, равным 14 000 (по опытам Уатта 1800, современные данные 1750). Белидор, описывая машину Ньюкомена, не давал ценных сведений из области тепловых явлений [101, 102].

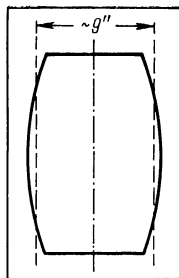
Сначала теория Дезагюлье и Белидора не понадобилась Уатту потому, что, как он пишет: «Я начал исправлять эту модель как простой механик; когда же это исправление было окончено и она была пущена в ход, то, к моему удивлению, котел не давал нужного количества пара, хотя на вид он был достаточно велик для этой цели (диаметр цилиндра модели был 2 дюйма, ход поршня 6 дюймов, а диаметр котла около 9 дюймов)». «Около 9 дюймов», по-видимому, оттого, что котел имел бочкообразную форму (рис. 22).

В приведенном тексте Уатта дается скрытый ответ на многие вопросы, относящиеся к его творческому труду, завершённому внедрением в промышленность универсального двигателя.

Прежде всего ликвидируется разнобой в сведениях, даваемых отдельными авторами по поводу модели машины Ньюкомена. По данным Хотинского, модель не работала «по причине дурного устройства», а по данным других ав-

торов [95, 101, 102 и др.], Уатт должен был устранить какую-то поломку, починить модель. Из текста становится ясно, что поломка была и эту поломку Уатт устранил «как простой механик». Но исправленная модель отказывалась

Рис. 22. Форма парового котла модели паровой насосной установки Ньюкомена



работать, так как «котел не давал нужного количества пара», говоря словами Хотинского, «по причине дурного устройства».

В чем оно могло состоять? Есть ли ответ на этот вопрос у других авторов книг о Уатте?

«Уатт был поражен громадным расходом пара в этой машине», — писал А. А. Радциг [101].

«Уатт произвел ряд экспериментов для того, чтобы определить причины поразившего его громадного расхода пара в этой машине», — писал Б. Г. Кузнецов [95].

Приведенные определения нельзя считать удачными. По современным понятиям, расход пара есть вес пара, затрачиваемого машиной в один час и отнесенный к единице мощности ($\text{кг/час} \cdot \text{л.с.}$). Во время работы Уатта над моделью машины Ньюкомена еще не существовало этого понятия, так как еще не умели определять ни вес пара, ни мощность двигателя.

Уатт писал: «...котел не давал нужного количества пара». Как ему это стало известно? Он дает ответ на этот вопрос. «С помощью раздувания огня (форсировка парообразования. — И. К.) ее можно было заставить сделать несколько ходов, но она требовала непомерно большого количества впрыскиваемой воды, несмотря на легкую нагрузку». «Можно было заставить сделать несколько ходов», после чего, очевидно, машина останавливалась, несмотря на усиленную форсировку. Уатт делает вывод, что котел не дает «нужного количества пара». Но это может быть следствием

трех различных причин: 1) и машина экономична, и котел производителен, но его производительность недостаточна для машины данной мощности; 2) соотношение между котлом и машиной правильное, но машина потребляет слишком много пара для данной мощности; 3) соотношение между котлом и машиной правильное, но котел для своих размеров имеет недостаточную паропроизводительность.

Так в чем же состояло «дурное устройство» модели?

Уатт пишет: «Сначала можно было предположить, что это явление происходило вследствие того, что маленький цилиндр модели представлял по отношению к своему объему большую поверхность для конденсации пара, чем цилиндры больших машин».

Это предположение удивительно плодотворно и указывает путь раскрытия тайны «дурного устройства машины», но, к сожалению, в распоряжении современной Уатту науки на этом пути семафор был опущен. Подход к тепловым явлениям был еще в значительной степени механистическим, а в ряде случаев ограничивался статикой. Введение в расчет кинематики скоростей сразу же меняет картину соответствия пары: котел — машина. Пусть такая пара работает нормально, не останавливаясь, без форсировки. А если удвоить число ходов поршня? Потребление пара увеличится вдвое. И котел не сможет дать «нужное количество пара».

Уатт верно начал с предположения о влиянии отношений между элементами машины, изменяющимися при изменении ее абсолютных размеров, когда подметил, что «...маленький цилиндр модели представлял по отношению к своему образцу большую поверхность для конденсации пара, чем цилиндр большой машины». Позднее Уатт не возвращался к своему предположению, возможно, потому, что, развивая его дальше, пришел к выводу, что и котел в том же отношении увеличивал паропроизводительность, так как поверхность его нагрева увеличивалась по отношению к объему при переходе от размеров образца к размерам модели во столько же раз, во сколько увеличилась поверхность цилиндра по отношению к его объему.

Следовательно, геометрическое подобие между образцом и моделью было выдержано? Не совсем, как мы покажем несколько ниже, предварительно установив закономерность влияния относительных размеров при изменении абсолютной величины объекта.

Рассмотрим два куба: один со стороной $a = 10$ см (образец), другой со стороной $a_1 = 1$ см (модель). Кубы, очевидно, геометрически подобны. Коэффициент перехода от образца к модели по их линейным размерам

$$A = \frac{a}{a_1} = \frac{10}{1} = 10.$$

Поверхность куба образца

$$f = 6 \cdot a^2 = 6 \cdot 10^2 = 6 \cdot 100 = 600 \text{ см}^2,$$

а куба-модели

$$f_1 = 6 \cdot A_1^2 = 6 \cdot 1^2 = 6 \cdot 1 = 6 \text{ см}^2.$$

Коэффициент перехода по поверхностям

$$B = A^2 = \frac{f}{f_1} = \frac{600}{6} = 100,$$

т. е. квадрату коэффициента по линейным размерам. Объем куба-образца

$$V = a^3 = 10^3 = 1000 \text{ см}^3,$$

а куба-модели

$$V_1 = a_1^3 = 1^3 = 1 \text{ см}^3.$$

Коэффициент перехода по объемам

$$A^3 = \frac{V}{V_1} = \frac{1000}{1} = 1000 = C,$$

т. е. кубу линейного коэффициента.

Соотношения между поверхностными, линейными и объемными элементами в модели и в образце также отличны. В частности, отношения между площадями образца f и модели f_1 , между объемами образца V и модели V_1 будут:

$$\frac{f}{f_1} = \frac{600}{6} = 100,$$

и

$$\frac{V}{V_1} = \frac{1000}{1} = 1000,$$

т. е. последнее в 10 раз больше.

Последнее и отметил Уатт для относительного увеличения поверхности конденсации, которая компенсировалась таким же относительным увеличением поверхности нагрева котла. Поверхность конденсации увеличилась в то же число раз, что и поверхность парообразования.

И Уатт оставил свое предположение, поняв, что при переходе от образца к модели усиление условий для конденсации компенсировалось улучшением условий для парообразования.

Геометрическое подобие не могло дать ответ на возникший у Уатта вопрос о влиянии перехода от образца к модели. В его время теории подобия еще не существовало, вернее, она получала свое первое становление, пройдя долгий период развития от Ньютона (первая теорема подобия) до Букингема (вторая теорема подобия) и М. В. Кирпичева (третья теорема подобия). В настоящее время учение о подобии физических и химических процессов широко используется в науке и технике, особенно моделирование, которое позволяет, испытав модель, заранее определить свойства еще не существующего образца.

Для решения задачи Уатта достаточно обратиться к механическому подобию, учитывающему, кроме геометрического подобия, подобие процесса движения в модели и образце [98].

Рассмотрим движение поршня машины в образце и модели. Характеристика движения — скорость w выражается отношением пути l (в данном случае ход поршня) к времени τ движения поршня от одного до другого крайнего положения.

Для образца имеем скорость движения поршня

$$w = \frac{l}{\tau},$$

для модели

$$w' = \frac{l'}{\tau'}.$$

Отношение скоростей образца и модели будет равно

$$\frac{w'}{w} = \frac{l'}{l} : \frac{\tau'}{\tau}.$$

Обозначим коэффициенты перехода для скорости, линейных размеров и времени хода поршня через C с соответствующими индексами

$$\frac{w'}{w} = C_w; \quad \frac{l'}{l} = C_l; \quad \frac{\tau'}{\tau} = C_\tau.$$

Подставив в уравнение отношения скоростей коэффициенты перехода, получим

$$C_w = \frac{C_l}{C_\tau}.$$

Найденное соотношение между коэффициентами перехода можно представить в ином виде, а именно:

$$\frac{C_w C_\tau}{C_l} = 1.$$

Если, наконец, в полученное уравнение подставить значения коэффициентов и разделить на две группы (модели и образца), то получим окончательно следующее выражение:

$$\frac{w'\tau'}{l'} = \frac{w\tau}{l}$$

или обобщенно

$$\frac{w\tau}{l} = Ho.$$

Это выражение представляет собой так называемый критерий подобия, который для случая механического подобия носит название критерия гомохронности и обозначается символом *Ho*. Следовательно, прежде чем исследовать тепловое подобие модели машины Ньюкомена ее образцу, нужно прежде всего, установив геометрическое подобие, проверить, осуществлено ли механическое подобие.

Рассмотрим сначала геометрическое подобие между моделью машины Ньюкомена, над которой трудился Уатт, и ее промышленными образцами. В первом приближении рассмотрим соотношения между основными элементами, в качестве которых можем принять диаметр цилиндра и диаметр парогенератора. У модели, по данным Уатта, был диаметр цилиндра 2 дюйма и диаметр котла 9 дюймов.

Описанная Мортенем Тривальдом [64] машина Ньюкомена, установленная в Страффордшайре (Англия), имела размеры: диаметр цилиндра 21 дюйм (0,5332 м), диаметр котла 9,1 фута (2,774 м). Из той же книги узнаем размеры машины Тривальда, установленной на Даннеморском руднике (Швеция): диаметр цилиндра 39 дюймов (0,9906 м), диаметр котла 11 футов (3,355 м).

Как было сказано выше, машина Тривальда оказалась неработоспособной, так как он, следуя своей «теории» о воздухе — рабочем теле, растворенном в воде в «неисчислимых количествах», сделал котел недостаточной производительности для гигантского цилиндра.

В наиболее благоприятных условиях находилась машина практика Ньюкомена. Его продолжатель Смитон ставил по два-три котла на одну машину.

Большая промышленная установка с отношением, равным 4,5, могла бы при несколько напряженной форсировке успешно работать, но это значение относится и к модели, и его нужно проверить, используя критерий гомохронности Ho . Следует, кстати, заметить, что промышленные машины при сопоставлении не нуждаются в оценке при помощи критерия Ho , так как они работали примерно со стандартными скоростями порядка 16—15 ходов в минуту, определяемыми оптимальной работой шахтных насосов.

Модель машины Ньюкомена по линейным размерам была меньше Страффордшайрской машины: по цилиндру — в $0,5334 : 0,0508 = 10,1$ раза, по котлу — в $2,7740 : 0,2286 = 12,1$ раза.

Не исключено, что модель делалась по неизвестному образцу с уменьшением в 10 раз и по цилиндру, и по котлу и что соотношение между диаметром котла и цилиндра в 4,5 раза не мешало ей работать в промышленных размерах.

Сравним модель с машиной Ньюкомена, полагая, что она уменьшена по всем линейным размерам точно в 10 раз, что не изменит характера наших выводов.

Сравним модель с образцом на основе критерия гомохронности. Для механического подобия необходимо сохранение условия

$$Ho_{\text{мод}} = Ho_{\text{обр}}$$

или

$$\frac{w'\tau'}{l'} = \frac{w\tau}{l}.$$

При линейном коэффициенте, равном 10,

$$l = 10 l',$$

и условие подобия потребует равенства

$$w \cdot \tau = 10 w' \tau'.$$

Для упрощения анализа рассмотрим предельные случаи.

1. Скорости движения поршней в модели и образце равны $w = w'$; тогда $\tau = 10\tau'$, и, таким образом, при равенстве скоростей движения поршней образца и модели время движения в модели должно быть в 10 раз меньше.

2. Время движения поршней от одного до другого

крайнего положения равно $\tau' = \tau$; тогда $w = 10w'$, и, таким образом, при равенстве времени движений поршней в образце и модели скорость движения в модели должна быть в 10 раз меньше.

Для сохранения механического подобия безразличен любой из возможных вариантов. Тепловые явления не подчинены механическому подобию, однако, используя полученные данные по механическому подобию, можно прийти к априорному выводу, о том, какое из возможных отношений в пределах механического подобия будет наилучшим образом соответствовать оптимальным условиям работы машины по ее тепловым свойствам.

Выше было сказано, что при геометрическом подобии образца и модели как машина, так и модель в равной степени могут стать неработоспособными, если в них в десять раз увеличить отбор пара за счет десятикратного увеличения числа рабочих циклов в единицу времени.

С этих очевидных позиций предпочтителен второй крайний вариант, при котором число ходов поршня в единицу времени в модели и в подобной ей машине будет равным. Эти позиции очевидны потому, что процесс парообразования при прочих равных условиях есть функция времени. При уменьшении линейных размеров в 10 раз поверхности, от которых зависит парообразование (поверхность нагрева котла и поверхность испарения в котле), уменьшились в 100 раз, одинаково, как отметил Уатт, с уменьшением поверхности цилиндра, на которой конденсировался пар. Но объем цилиндра уменьшился в 1000 раз, и, следовательно, конденсация пара на стенках цилиндра могла стать в 10 раз интенсивнее, образуя вакуум в 10 раз быстрее и соответственно увеличивая в 10 раз объем конденсируемого пара.

За счет чего? За счет десятикратного заполнения объема цилиндра, уменьшившегося относительно объема котла в 10 раз. Но такой интенсивный отбор пара по своему эффекту равнозначен десятикратному увеличению объема цилиндра по отношению к увеличению поверхности нагрева и парообразования.

Подобие явлений явно исчезает.

Указанное выше отношение диаметра цилиндра к диаметру котла для построенных машин и модели могло оставаться постоянным, но процесс в модели должен был протекать совершенно иначе.

Как могла вести себя модель при подобных условиях? Уатт сам отвечает на это. Машина делала несколько ходов и останавливалась. Явная нехватка пара, решает Уатт. А почему? В его статье нет ни слова о скоростях. Время динамики еще не наступило. Скорости в расчет не принимаются. А скорость поршня у него была равной скорости в образце, следовательно, число ходов удесятирилось, уничтожая преимущества модели, уменьшенной по линейным размерам в 10 раз.

Кроме косвенного указания на отмеченное Хотинским «дурное устройство» модели можно из рассмотрения этого устройства получить и прямое указание на то, что модель работала по предельному варианту равенства скоростей поршня в модели и образце.

Скорость есть функция усилия при прочих равных условиях. Усилие, действующее на поршень, составляется из трех величин: давления атмосферы на поршень, давления пара снизу и сопротивления насоса. Модель работала в равных условиях с образцом в отношении усилий сверху (одна атмосфера) и снизу (вакуум при впрыске). Что же касается полезного сопротивления, то в модели оно было уменьшено в десятки раз.

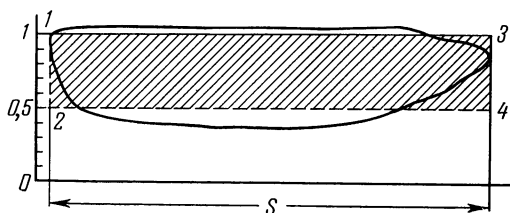


Рис. 23. Индикаторная диаграмма парового двигателя Ньюкомена

Как обстояло дело в образце? По имеющимся данным, рабочее давление на поршень, как разность атмосферного давления и разрежения под поршнем, имело величину порядка 0,5 атм (1 атм над и 0,5 атм под поршнем), что хорошо видно на индикаторной диаграмме, снятой с машины Ньюкомена (рис. 23). При этом давлении высота подъема зависела от отношения между диаметрами поршней машины и насоса: при $d_{\text{цил}} = d_{\text{нас}}$ высота подъема 5 м, при $d_{\text{цил}} = 2d_{\text{нас}}$ — 20 м и при $d_{\text{цил}} = 4d_{\text{нас}}$ — 80 м. Большин-

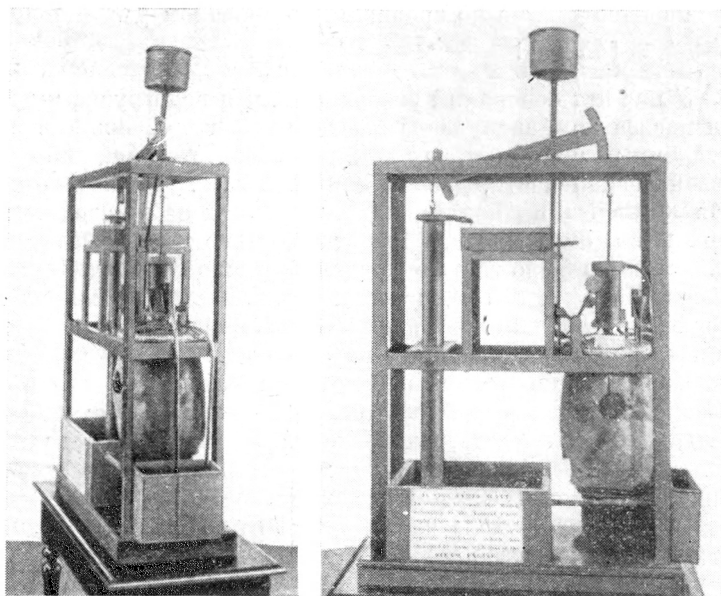


Рис. 24. Модель пареоатмосферной насосной установки Ньюкомена

ство известных машин имело диаметр насоса 9'' при диаметре парового цилиндра 36''. Отношение диаметров равно 4 (в модели, с которой работал Уатт, — 4,5). Если в модели получить такой же вакуум под поршнем, как в образце, то она смогла бы поднять воду на высоту $4,5^2 \cdot 0,5 \cdot 10 = 101,25$ м. При таких условиях можно было бы ожидать скорость поршня в 10 раз меньше, а число ходов в минуту равным числу ходов в образце. Модель работала бы так же безотказно, как ее громадный образец, притом при значительно меньшей форсировке за счет выгодного соотношения между площадями и объемами, отмеченного выше.

Как была нагружена модель в действительности? На рис. 24 представлена эта знаменитая модель. В 1966 г. она демонстрировалась в Бирмингемском музее и Галерее искусств в связи с 200-летием Лунного общества. По размерам модели можно, не учитывая колебаний уровня в нижнем бачке, принять высоту подъема воды равной 30'', или 0,7 м.

Рабочее усилие по сравнению с образцом уменьшено в $\frac{101,25}{0,7} = 145$ раз!

У нас нет оснований утверждать, что недогрузка поршня насоса компенсировала быстрое опускание поршня его медленным подъемом, так как нам неизвестен ряд данных: вес насосной части, давление при впуске. Отсутствие такой компенсации подтверждается поведением модели, которая не отказывалась работать, начинала работу, но «...ее можно было заставить сделать несколько ходов», как писал Уатт. А затем, как он правильно формулировал, «котел не давал нужного количества пара». Нужно, добавим, для многократно ускоренного движения поршня.

Наши теоретические обоснования работы модели прекрасно подтверждаются словами непосредственного наблюдателя опытов Уатта, давшего благодаря своей высокой квалификации более точную характеристику поведения модели, чем сам Уатт и его многочисленные комментаторы. Этим наблюдателем (и чуть ли не горячим участником) был профессор Робисон, который писал в своих заметках об Уатте:

«Сначала эта модель была прекрасной игрушкой для мистера Уатта, да и для меня самого, теперь постоянного посетителя мастерской. Но как и все, что попадало в руки Уатта, модель вскоре сделалась объектом очень серьезного исследования. Эта модель была точной копией работающей машины, и движение поршня должно было быть таким же, но ходы модели были во много раз более частыми. В соответствии с этим котел был не в состоянии обеспечить более чем несколько ходов» [45, т. 1].

Эти слова Робисона гораздо точнее раскрывают положение вещей, чем слова Уатта «...котел не давал нужного количества пара». Робисон первый, по-видимому, обратил внимание на динамику машины, которая останавливалась не просто после «нескольких ходов», как писал Уатт, а после нескольких быстрых ходов. Далее Робисон писал о многом, о чем Уатт не счел необходимым упомянуть в своей статье.

«Котел заставили работать более форсированно... но это вместо ожидаемой продолжительной работы модели за счет более обильного снабжения паром приводило к полной ее остановке; мы приписали это статическому сопротивлению впрыскивания на входе, поскольку напор (вы-

сота бачка, из которого подавалась вода на конденсацию. Заметим, кстати, слова «мы приписали», показывающие, что Робисон действительно был участником исследований Уатта.— *И. К.*) не превосходил и фута, но предпринятое расположение бачка выше не дало желаемого эффекта».

Уатт не сдавался.

По словам Робисона, он «...заметно улучшил котел путем увеличения поверхности, омываемой пламенем (поверхность нагрева по современной технической терминологии.— *И. К.*); сделал проходы через толщу воды (прототип жаротрубных котлов, возникших значительно позднее.— *И. К.*); он расположил огонь посредине воды (так в поисках Уатта зародился прообраз будущей внутренней топки.— *И. К.*); сделал котел из дерева, как худшего проводника тепла, чем кирпичная кладка обычных печей (здесь трудно решить однозначно, в чем дело. Сравнение с кладкой указывает на наружную тепловую изоляцию котла, однако, с другой стороны, история теплоэнергетики знает случаи изготовления котлов с деревянными рабочими стенками как в Англии, так и в США в начале XIX в.— *И. К.*). Он сделал цилиндр и все подводящие трубы из плохих проводников тепла; он делал их даже деревянными» [45, т. I, стр. I].

Модель заставила Уатта внести целую серию перспективных вкладов, которые он не использовал в своих больших машинах (жаровые трубы, внутренние топки, изоляция), где они повысили бы общую эффективность установок. Но упрямая модель продолжала упорствовать! «Дурное устройство» модели становится достаточно очевидным. Трудную задачу поставило оно перед Уаттом.

Отказавшись от анализа влияния подобия, который ему ничего не дал бы, поскольку из рассмотрения совершенно выпадал фактор скорости, Уатт сначала обратился к упрямой машине с чисто практических позиций: не везешь, тяжело, сбросим с воза лишний груз.

Уатт «облегчает» нагрузку машины. «Было найдено затем,— пишет он,— что, уменьшая нагрузку (посредством уменьшения столба воды в насосе, приводимом в движение машиной), можно было получить из котла достаточное количество пара, и машина могла работать с умеренным количеством воды».

Здесь кажущееся противоречие с выводами, основанными на подобии. Уменьшая нагрузку, Уатт уменьшал ко-

личество впрыскиваемой воды, чем явно ухудшал работоспособность машины путем ухудшения вакуума, причем оно могло быть таковым, что даже при уменьшенной нагрузке приводило к снижению числа ходов машины и к кажущемуся благополучию. Но Уатта оно не могло обмануть. Ему не нравилась машина, работающая буквально на холостой ход, из текста его статьи мы больше ничего об уменьшении нагрузки не узнаем. Она не устраивает современных специалистов-теоретиков, она не устраивала Уатта с практических позиций.

Искания Уатта продолжаются.

Отмеченные выше благоприятные факторы, определившие и знания Уатта как ученого, и умение Уатта как практика, продолжали и дальше с пользой служить ему. «Дурное устройство» модели поставило перед ним задачу, не разрешимую современной ему наукой. Одновременно оно указало ему на необходимость глубокого исследования вопроса. И не просто указало, а буквально дало почувствовать.

Работает большая машина Ньюкомена. Приложив к цилиндру руку, мы ощутим, что его температура остается постоянной, несмотря на то, что в нем она колеблется в диапазоне между температурами поступающего в него пара и впрыскиваемой воды (100° и 10°). Эти колебания не в силах проникнуть наружу по двум существенным причинам: стенка толста, а чугун не блестящий проводник тепла. Температурные колебания гаснут в толще стенки, несмотря на малое число ходов в минуту (рис. 25).

Уатт исследует непокорную модель. Вот впущен пар, и цилиндр обжигает ему руки. Впрыснута вода, цилиндр становится холодным, а при большом ее количестве и низкой температуре может даже покрыться матовым осадком конденсата из влаги воздуха. Для наблюдательного Уатта такие колебания не проходят незамеченными. Он пишет: «Далее казалось, что цилиндр модели, сделанный из бронзы, лучше проводит теплоту, чем чугунные цилиндры больших машин (покрытые часто внутри жесткой коркой); поэтому, сделав его из такого вещества, которое служило бы плохим проводником тепла, можно достичь значительного улучшения; из таких веществ дерево казалось бы самым подходящим при условии достаточной прочности».

Уатту не было известно, что металлы, за исключением меди (коэффициент теплопроводности 259), серебра (394)

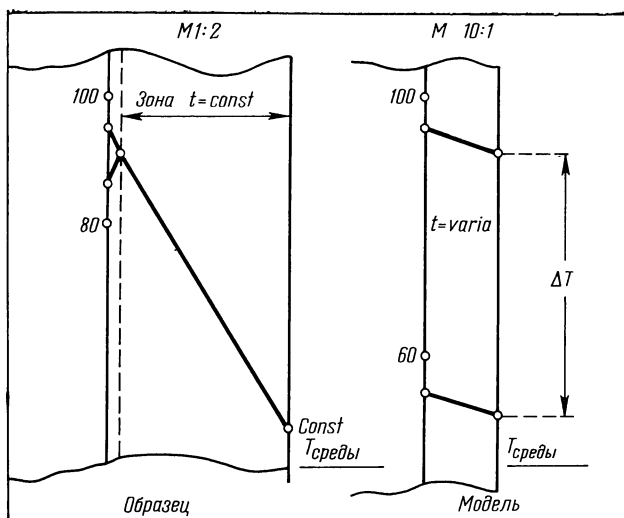


Рис. 25. Температурные колебания за полный цикл работы в стенке машины Ньюкомена и ее модели

и алюминия (123), мало отличаются по своей теплопроводности и, в частности, сравниваемые им чугун и бронза имеют соответственно 54 и 55 ккал/м·час·°С. Все дело в толщине стенки. Дерево, хороший изолятор, в частности дуб, из которого, по-видимому, в целях прочности Уатт сделал опытную модель, имеет коэффициенты теплопроводности 0,178 (поперек волокон) и 0,312 (вдоль волокон).

Уатт проверяет свои соображения на опыте.

«На основании этих соображений,— пишет он дальше,— была построена машина из дерева, пропитанного льняным маслом и хорошо высушенного; диаметр цилиндра был 6 дюймов и ход поршня 12 дюймов. Над этой машиной было произведено много опытов; но скоро оказалось, что деревянный цилиндр не отличается прочностью и что количество пара все еще больше того, которое, по определению Дезаюлье, нужно для больших машин. Оказалось также, что все попытки улучшить условия выпуска посредством большого впрыскивания воды вызывали несоразмерный расход пара».

Этот текст нуждается в комментарии. Ссылка на авторитет Дезагюлье мало помогает делу, так как последний, как указывалось выше, полагал значение объема сухого насыщенного пара в 14 000 раз больше объема воды, из которой он генерирован (вместо 1670).

Ссылка на недостаточную прочность дерева может быть принята с удовлетворением. Эпоха дерева в машиностроении отмирала с переходом от водяных мельниц к паровым двигателям.

Основная же трудность исследователя наших дней в попытках проникнуть в существо опытов далекого прошлого состоит в том, что изобретатели XVIII в. почти совершенно не считались с фактором времени. «Дневная записка» Ползунова теряет почти всю свою ценность из-за того, что в ней нет указаний на фактор времени.

То же чувство досады охватывает исследователя, читающего обстоятельные записи Уатта. Эта досада компенсируется тем, что решение поставленной перед ним упрямой моделью задачи заставило его в конце концов обратиться к фактору времени, как это будет видно дальше, и его выражение «расход пара» впервые приобрело современное значение.

«Несоразмерный расход пара» пока неясен. Несоразмерный с чем? С данными Дезагюлье? С данными эксплуатации машин Ньюкомена? Пока что этот термин «расход пара», звучащий подобно современному, скрывает иное, неизвестное нам содержание. Однако модель упорно толкала Уатта на раскрытие ряда тайн природы.

«После некоторых размышлений, — пишет он, — явление это (несоразмерный расход пара. — *И. К.*) было приписано мной кипению воды в вакууме при низких температурах (ниже 100°, как мне было известно), обстоятельство, недавно открытое доктором Кулленом и некоторыми другими

$P_{абс}$	%	100	90	80	
$i''_{ата} - P_{абс}$	ккал/кг	638,8	637,6	636,4	
$i''_{ата} - i''_{ата} - P_{абс}$	ккал/кг	0,0	1,2	2,4	

учеными; следовательно, при более высокой температуре стенок в цилиндре вода производила пар, оказывающий сопротивление давлению атмосферы».

И Уатту за ответом на волнующие его вопросы пришлось обратиться к опыту. Он начинает исследования зависимости температуры от давления для водяного пара, изложенные в предыдущей главе. В своей статье он сообщает:

«Опыты, которые я тогда произвел над температурой кипения воды при различных давлениях выше атмосферного, показали мне, что в то время, как температура увеличивается в арифметической прогрессии, упругость пара возрастает в геометрической; начертив кривую по полученным мною данным, я определял частное значение температуры кипения, соответствующей определенному давлению, с точностью, достаточной для моих целей».

Приведенный отрывок звучит совсем по-современному. Правда, уравнение геометрической прогрессии не описывает действительное изменение давления как функцию изменения температуры, но, как было показано выше, точность исследования Уатта вполне соответствует его скромному определению, что его опыты проведены «с точностью, достаточной для моих целей».

Исследование свойств водяного пара готовило Уатту замечательный сюрприз, сразу же поставивший его значительно выше современников, пытавшихся, как и он, сконструировать универсальный двигатель на основе пароатмосферной машины Ньюкомена. Соображения Уатта относительно преимуществ применения пара низкого давления были совершенно справедливы как по технологическим (прочность котлов), так и по экономическим показателям (срабатывался более значительный перепад теплосодержаний). Можно добавить еще, что если бы Уатт пошел

ТА Б Л И Ц А 3

	70	60	50	40	30	20	10	5
	635,1	633,5	631,6	629,5	626,8	623,1	617,0	611,6
	3,3	5,3	7,2	9,3	12,0	15,7	21,8	27,3

по другой линии, по линии применения машин высокого давления, отмахнувшись от пареоатмосферных двигателей, ему не было бы нужды исследовать свойства водяного пара с такой тщательностью, какая была нужна для области вакуума, для области перехода рабочего тела из одного состояния в другое. Весь секрет его замечательного открытия был бы буквально выхлопнут в атмосферу вместе с отработавшим паром.

Еще одна интересная находка была сделана Уаттом.

«Оказалось также, — писал он, — что всякое приближение к вакууму могло быть достигнуто только с помощью очень большого количества впрыскиваемой воды, которое так охлаждает цилиндр, что для нагревания его требуется количество пара, несоизмеримое с выигрышем, получаемым благодаря лучшему вакууму. Таким образом, старые инженеры поступали очень умно, ограничивая полезное среднее давление машины 6 или 7 фунтами на квадратный дюйм».

Из приведенного текста следует, что если при атмосферном давлении рабочее давление равно 6 или 7 фунтам, то вакуум (разность между атмосферным и рабочим давлениями) составит 8,7 или 7,7 фунта, 1 ата, или 14,7 фунта на 1 кв. дюйм минус рабочее давление, т. е. примерно половину атмосферного.

Действительно ли решение «старых инженеров» было разумным? В табл. 3 последовательно показано абсолютное давление пара, или вакуум, соответствующее ему теплосодержание, а также разность теплосодержаний, которую нужно достичь путем охлаждения, чтобы снизить давление до желаемого значения вакуума.

Эти цифры начинают говорить, будучи представленными на диаграмме (рис. 26). Начиная с 50% кривая круто идет вверх. Для достижения 50% вакуума нужно меньше отводить тепла, чем для достижения 10% вакуума, почти в 3 раза (7,2 и 21,8).

Старые инженеры, исходя из эксплуатационных расходов в фунтах стерлингов, шиллингах и пенсах, сумели найти правильное решение в виде оптимального соотношения параметров машины, при котором расход топлива на единицу произведенной работы при откачке воды из шахты становился минимальным.

Уатт подтвердил решение практики, проникнув более, чем упоминавшиеся им инженеры, в суть тепловых вопро-

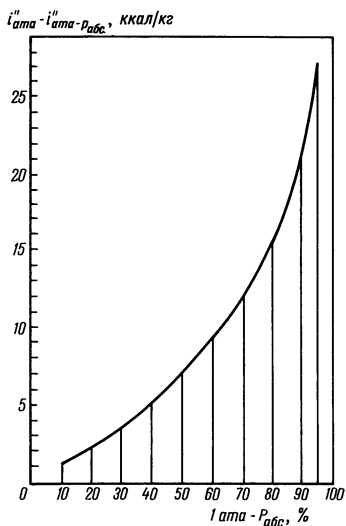


Рис. 26. Рост количества отводимого от пара тепла при углублении вакуума

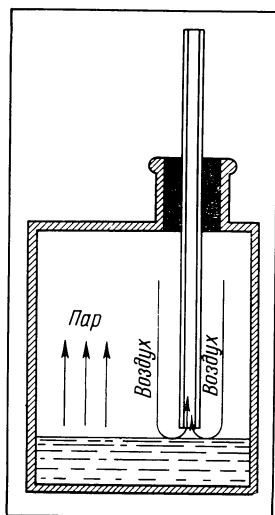


Рис. 27. Экспериментальный сосуд Уатта для определения удельного объема водяного пара при атмосферном давлении

сов. При его участии бухгалтерский баланс паросиловой установки постепенно сделал первый шаг к тепловому балансу.

Однако самое интересное было еще впереди. И Уатт продолжал свои эксперименты далеко не как «простой механик», который, по его же словам, приступил к починке неисправной модели.

Уатт писал далее: «Убедившись, что доктором Дезагюлье были сделаны большие ошибки в вычислении результатов, произведенных мистером Бейтоном для определения объемов пара, я налил одну унцию (около 30 граммов) дистиллированной воды в флорентинский сосуд, способный вместить около фунта воды (т. е. вместимостью около $\frac{1}{2}$ л. — И. К.); в его горлышко я вставил стеклянную трубку, причем соединение сделал непроницаемым, обернув эту часть веревкой, пропитанной стекольной замазкой. Когда сосуд стоял прямо, то трубка доходила до поверхности воды; в таком положении сосуд был поставлен

в жестяную отражательную печь, где стоял до тех пор, пока вся вода испарилась, что произошло через час и могло бы произойти скорее, если бы я не пожелал, чтобы температура только немногим превосходила температуру кипения воды».

Опыт Уатта представлен на рис. 27.

Задача состояла в том, чтобы получить в свое распоряжение сосуд, заполненный водяным паром при атмосферном давлении и при температуре, близкой к температуре кипения. Как отделить пар от воздуха? При кипячении в сосуде без трубки, хотя бы вначале полностью заполненном водой, Уатт не был гарантирован от проникновения воздуха, который, как ему было известно, обладает большим весом, чем пар. Уатт ввел трубку, как показано на рисунке, из следующих соображений, изложенных им:

«Так как воздух в сосуде был тяжелее, чем пар, то последний поднимался и вытеснял воздух через трубку».

Это было правильно. Удельный вес воздуха при 1 атм и 100° равен $0,916 \text{ кг/м}^3$, а пара при тех же условиях — только $0,5797 \text{ кг/м}^3$. При медленном, спокойном парообразовании Уатт рассчитывал на спокойное вытеснение воздуха паром.

Так первая часть опыта была осуществлена. В распоряжении экспериментатора имелся сосуд, заполненный паром требуемых параметров. Начинаясь вторая часть опыта, описанная Уаттом в следующих словах:

«В тот момент, когда вся вода испарилась, печь и сосуд отодвигали от огня и струя холодного воздуха направлялась на одну сторону сосуда, чтобы собрать там всю конденсированную воду (вернее, сконденсировавшийся в воду пар.— *И. К.*). Когда весь прибор был охлажден, трубка из него вынималась, и сосуд с содержащейся в нем водой (конденсатом.— *И. К.*) тщательно взвешивался; затем сосуд опять нагревался до испарения воды и высушивался с помощью мехов и снова взвешивался, причем оказалось, что вес его убавился на $4\frac{1}{2}$ грана (это был, следовательно, вес пара, наполняющего сосуд при давлении одной атмосферы)».

При взвешивании сосуда с конденсатом и без конденсата в нем имелся воздух. Поправка на воздух могла быть введена лишь путем определения разности объемов всего сосуда и конденсата. Уатт об этом не пишет. Возможно, что он пренебрег этой разницей вследствие незначитель-

ного объема конденсата — 4,5 грана (1 гран = $\frac{1}{7000}$ фунта). Во всяком случае, опыт Уатта блестяще опроверг данные Дезагюлье и близко подошел к современным данным (Дезагюлье — 14 000, Уатт — 1800, сейчас — 1670).

Описание проведенного опыта Уатт заканчивает словами:

«Когда сосуд был наполнен водой, то было найдено, что он содержал $17\frac{1}{8}$ унций воды, что дает для степени расширения воды, обращаемой в пар при температуре кипения (при давлении одной атмосферы), число 1800».

Далее Уатт описывает повторные опыты, проведенные для подтверждения полученного результата, варьируя методы исключения воздуха, проводя проверку всасывания воды в сосуд, заполненный паром, чтобы убедиться, что воздуха в нем действительно не было. Его опыт показал, что на долю воздуха оставался объем, занимаемый половиной объема одной унции воды.

Эту часть статьи Уатта можно опустить. За точность его опытов убедительно говорят полученные им результаты, так хорошо сопоставимые с современными, полученными на опытах с точнейшей аппаратурой. Можно только удивляться, как при помощи таких простых средств и приборов Уатт получил столь точные результаты.

Затем Уатта заинтересовал вопрос потребления пара машиной. Для этого был сооружен экспериментальный парогенератор «с приспособлением для определения количества воды во всякое данное время», описания которого Уатт не дает. Это не существенно. Существенно то, что с этим экспериментальным парогенератором и цилиндром — потребителем пара — Уатт пришел к пониманию того, что он ранее выражал словами «нецелесообразное» количество охлаждающей воды.

Проникновение в тайны парообразования подходило к своему блестящему завершению.

Исследования свойств водяного пара как рабочего тела паровых машин. Последнее недостающее звено — отдельный конденсатор

Экспериментальный парогенератор Уатта позволял ему по замеру количества питающей воды судить о потреблении пара цилиндром машины. Теперь он мог ставить такой эксперимент, поскольку в достаточной степени точно определил соотношение между объемом пара и воды при давлении в одну атмосферу, равное 1800. В статье Уатта никаких указаний на то, как — по весу или объему — он измерял расход питательной воды, но полученные им данные хорошо совпадают с современными представлениями о процессе теплообмена между паром и стенками цилиндра во время впуска пара.

В своей статье Уатт пишет: «...количество это (объем пара, поступающего в цилиндр в период впуска. — *И. К.*) я нашел равным нескольким полным объемам цилиндра».

В идеальном случае отношение между объемом пара, впущенного в цилиндр, и объемом самого цилиндра должно быть равным единице. Отклонение от единицы показывает на то, что часть пара конденсируется при соприкосновении с холодными стенками цилиндра. По отдельным опытам Уатта получалось, что до $\frac{2}{3}$ объема пара в цилиндре конденсировалось, и, таким образом, участие в работе принимала только одна треть полученного в котле ценной сжигания топлива пара, а $\frac{2}{3}$ терялось бесполезно!

Это явление, называемое сейчас начальной конденсацией пара, стало первым врагом Уатта. Он нанес ему решительный удар, оставив на долю своих последователей продолжать начатую борьбу. Здесь уместно отметить, что по

наблюдениям автора этой книги тихоходные судовые паровые машины, испытывавшиеся им в 1730 г. в Сибири, давали в отдельных случаях расход пара на начальную конденсацию до 50%. Это не 200%, обнаруженные в опытах Уатта, но и 50% через 170 лет после Уатта достигнуты благодаря постоянной борьбе с техническими трудностями многих поколений инженеров, вносивших свою долю труда в усовершенствование парового двигателя — использование перегретого пара, увеличение числа оборотов, сокращение объемов вредных (нерабочих) пространств, применение высокого сжатия и т. д. — пока, наконец, паровые машины не были вытеснены паровыми турбинами и двигателями внутреннего сгорания.

Уатта не удивил большой расход пара по сравнению с рабочим объемом цилиндра — об этом он не пишет. Его удивило нечто другое, что, безусловно, делает ему честь как наблюдательному и вдумчивому экспериментатору. Он был удивлен «...большим количеством воды, требуемой для впрыскивания, и большим количеством тепла, которое она приобретала при соприкосновении с небольшим количеством воды в виде пара, употребляемого при наполнении цилиндра».

Эти слова Уатта требуют пристального внимания.

Единицы для определения количества тепла — калории еще не существовало. Техника замера температур была на низком уровне. И все же Уатт не прошел мимо наблюдаемого им явления: небольшое количество воды (конденсата) сильно (мы позволим себе это неточное определение. — *И. К.*) нагревает большое количество впрыскиваемой в цилиндр холодной воды. Быть может, Уатт знал результаты работ петербургского академика Рихмана, опубликованные в «Новых комментариях» Петербургской академии в 1750, 1753 и 1758 гг., поскольку их знал его друг Д. Блек; возможно, что его удивление было вызвано наблюдательностью, так как в данном случае эффект нагрева значительно отходил от привычных представлений, так хорошо выраженных в уравнении Рихмана: чем больше воды и чем она горячее, тем большее ее влияние на температуру смеси. В данном случае Давид поражал Голиафа: количество греющей воды (конденсата) было во много раз меньше, чем нагреваемой. Во сколько? Для точного подсчета Уатт не оставил никаких данных, но если предположить, что температура впрыскивающей воды бы-

ла 15°, а после операции охлаждения вода получила температуру 50°, что Уатт мог заметить на ощупь, то при значении теплоты парообразования 539,6 ккал/кг один килограмм конденсата мог нагреть $539,6 : (50 - 15) = 11,98$, или приблизительно 12 кг. В чем дело? Итог эксперимента противоречит формуле Рихмана

$$t_{m_1+m_2} = \frac{t_1 m_1 + t_2 m_2}{m_1 + m_2},$$

противоречит здравому смыслу, и Уатт пишет:

«...думая, что мной сделаны какие-нибудь ошибки, я произвел следующий опыт: стеклянная трубка была согнута под прямым углом и один конец ее был вставлен горизонтально в носик чайника, а другой, вертикальный, был погружен в колодезную воду, налитую в цилиндрический стеклянный сосуд; затем пар (из чайника) пропускался через трубку до тех пор, пока он переставал осаждаться, причем вода в стеклянном сосуде доходила почти до точки кипения. Вес воды в сосуде увеличился при этом вследствие прибавления конденсированного пара приблизительно на одну шестую часть. Следовательно, вода, превращенная в пар (Уатт подмечает, что опрокидывает обычное соответствие при определении температуры смеси: не просто горячая, а превращенная в пар вода, что и подчеркнуто нами.— *И. К.*), может нагревать до температуры кипения, т. е. до 210° F (100° C), количество колодезной воды в 6 раз больше своего веса».

Только в шесть, а не в 12 раз, как было предположено выше? Да, там температура воды предполагалась в 15°; по видимому, «колодезная» вода, упомянутая Уаттом, была холоднее. Там нагрев предполагался до 50°, здесь «почти до точки кипения». Если эта точка (при атмосферном давлении) 100°, а «колодезная» вода имеет 11°, то из опыта Уатта следует значение теплоты парообразования $(100 - 11) \cdot 6 = 534$ ккал/кг.

Следовательно, примитивный опыт Уатта с чайником позволил ему определить значение теплоты парообразования (скрытой теплоты, как ее называли) с точностью

$$\frac{(539,6 - 534,0) \cdot 100}{539,6} = 1,03 \%.$$

Уатт ломился в открытые двери. Его друг доктор Блек определил значение теплоты парообразования немногим

ранее опытов Уатта. По словам Уатта, в 1764 г. летом. Опыты с машиной Уатт начал зимой 1763/64 г. Следующая дата, которую дает Уатт, 1774 г., когда он улучшил свою модель, но патент на отдельный конденсатор он получил в 1769 г. Можно полагать, что описываемые нами опыты проводились в период 1766—1767 гг. и что Уатту пришлось немало потрудиться над упрямой моделью: от начала работы до получения патента прошло 5—6 лет.

Удивление Уатта, вызванное первым знакомством с тайнами парообразования, побудило его к дальнейшей работе, о чем он писал в своей статье.

«Пораженный этим замечательным фактом и не будучи в состоянии уяснить себе причины его, я сообщил его своему приятелю доктору Блеку, который объяснил мне тогда свою теорию скрытой теплоты, опубликованную за некоторое время до этого периода (летом 1764 года), и на которую я тогда, будучи занят другими делами, не обратил никакого внимания, до тех пор пока не наткнулся на реальный факт, подтверждающий эту замечательную теорию».

Как известно, Уатт писал цитируемую статью через 30 лет после своих опытов, когда целый ряд понятий, во время его опытов неизвестных, получил широкое признание. В приведенном выше тексте он в мягкой, но неаргументированной форме («наткнулся на реальный факт», «будучи занят другими делами») причисляет себя к первооткрывателям «замечательной теории» Д. Блека. Мы не ставили своей задачей исследовать расхождение между данными Уатта о времени опубликования трудов Блека (1764 г.) и утверждениями других авторов [74, 84], датирующих работу Блека 1779 годом. Эти авторы относят открытие теплоты плавления и теплоты парообразования к 1757 г., т. е. почти за 10 лет до работ Уатта. Возможно, что была внутренняя университетская публикация, возможно, что Уатт через тридцать лет не помнил точно дат, но возможно и то, что он перед началом 20-х годов XIX в. не мог удержаться от соблазна показать себя скромным первооткрывателем теории, которую он трактует как «замечательную».

Для нас в данном случае интересны практические выводы, которые Уатт сделал из «замечательной» теории Блека. Обратимся к дальнейшему тексту его статьи:

«Дальнейшие размышления показали мне, что для наилучшего использования пара необходимо: во-первых, что»

бы цилиндр имел всегда температуру входящего в него пара, а во-вторых, чтобы в то время, когда пар осаждался, вода, из которой он состоит, и впрыскиваемая вода были охлаждены до 100°F (37°C), что соответствует приблизительно давлению в $0,064\text{ кг/см}^2$ абс. (оно в конденсаторах паровых машин бывает выше или ниже, если это возможно)».

Здесь абсолютно верный вывод Уатта о равенстве температуры стенок цилиндра температуре пара не вызывает сомнений, но этот вывод имеет чисто теоретический смысл. Если машина работает с расширением пара, предложенным Уаттом же с позиций наибольшей экономичности цикла, то на $3/4$ хода поршня идет расширение. Охлаждение пара и неизбежное охлаждение стенок цилиндра, которые к моменту впуска острого пара имеют неизбежно меньшую температуру, вызывают явление начальной конденсации (правда, не в таком объеме, как при впрыскивании в цилиндр холодной воды), все же значительной в тихоходных машинах, работающих насыщенным паром, о чем упоминалось выше (50%).

В этом же отрывке отчетливо проскальзывает Уатт 1819 г. (условно, так как он умер в 1819 г., а писал, по имеющимся указаниям [102], «незадолго до своей смерти») в оценке событий 1765 г. В этой же статье он отмечал, что «старые инженеры поступали очень умно, ограничивая полезное среднее давление машины 6 или 7 фунтами на квадратный дюйм» (см. стр. 100). Теперь Уатт пишет с позиций «новых инженеров», углубляя вакуум с 50% до 6,4%. Это вполне понятно, и упоминавшиеся выше «фунты стерлингов, шиллинги и пенсы» Несмита сказывались на повышении давления и углублении вакуума.

Может показаться противоречивым, что Уатт в тот период жизни (1765 г.), когда он считал полезным разделять мнение старых инженеров об оптimumе давления в конденсаторе 50%, после опытов переменял свой взгляд и стал считать оптимальным давление 6,4%. Такое противоречивое мнение в одной и той же статье, никем, насколько нам известно, не прокомментированное и, быть может, не замеченное, представляется нам довольно распространенным недостатком: переносить современный уровень науки и техники в далекую рассматриваемую эпоху. Отдаление Уатта от самого себя 1765 г. было почти полувековым, когда он писал (предположительно) в 1819 г. о заднем

давления, что «...оно в конденсаторах паровых машин бывает выше или ниже, если это возможно». Это определение совершенно неприменимо к 1765 г., когда конденсаторов вообще не существовало (Уатт в своих опытах еще не дошел до отдельного конденсатора), а давление заднего хода в цилиндрах было по опыту «старых инженеров» порядка 50%. Восьмидесятитрехлетнему Уатту простителен приведенный анахронизм в оценке событий полувековой давности. Важно, что задача была поставлена: цилиндр должен иметь всегда (ничего, что это принципиально невыполнимо для машин с расширением) температуру входящего в него пара. Важно также, что решение этой задачи Уаттом завершило начальный период развития паровых двигателей, придав им последнее недостающее звено — конденсатор.

О том, как это произошло, писалось много, включительно до того, что клубы пара, выходящие из окон прачечной, подсказали решение.

Сам Уатт писал о этом существенном открытии дважды. В одном из писем [102] он излагал следующее:

«Однажды в воскресенье я гулял по полю возле Глазго; проходя туда через улицу Шарлотты, я миновал старую прачечную (вот откуда, по-видимому, указания о клубах пара.— *И. К.*). Я думал о паровой машине, и только что прошел мимо дома Герда, как вдруг мне пришла в голову мысль, что пар, как упругое тело, будет притекать в разреженное пространство, если установить сообщение между ним и цилиндром; в этом разреженном пространстве пар будет конденсироваться, не охлаждая цилиндра. При этом я думал, как мне избавиться от конденсированного пара и впрыснутой воды (если я буду употреблять впрыскивание как в машинах Ньюкомена). Для этого мне представлялось два пути: во-первых, вода могла бы стекать по спускной трубе, если поместить выпускное отверстие трубы на глубине 35—36 футов, а воздух мог бы быть извлекаем небольшим насосом. Во-вторых, можно было сделать насос достаточно большим, чтобы извлекать и воду, и воздух. Я не успел дойти в своей прогулке до дома Гольфа, как все предложение вполне уложилось у меня в голове».

Суше и короче писал об этом же событии Уатт в своей последней статье:

«Средства для выполнения этих условий (горячий цилиндр и глубокий вакуум.— *И. К.*) не сразу представи-

лись, но в начале 1765 года мне пришло в голову, что если открыть сообщение между цилиндром, содержащим пар, и другим сосудом, из которого выкачан воздух и другие жидкости, то пар, будучи упругим телом, немедленно начнет стремиться в пустой сосуд, что будет происходить до тех пор, пока установится равновесие, и если сохранять этот сосуд холодным путем впрыскивания воды или каким-нибудь другим образом, то пар будет продолжать входить в него, пока весь не осядет».

Итак, в принципе задача была решена. Недостающее звено паровой машины — конденсатор — было найдено. Обоснование этого принципиального решения дано в статье Уатта. Размышляя о судьбах пара, конденсата и воды, он ставит вопрос: «Но когда оба сосуда (цилиндр и холодильник) будут таким образом израсходованы, то, спрашивается, как удалить впрыснутую воду и воздух, вошедший с ней, и конденсировавшийся пар?»

Эту задачу я предполагал решить двумя способами. Один из них заключался в том, чтобы соединить с холодильником трубку, идущую вниз более чем на 34 фута, через которую вода сама могла бы выливаться (так как давление такого столба превосходит давление атмосферы); воздух же выкачивался бы с помощью насоса».

Такое решение позднее нашло своего исполнителя. Один из глубоких теоретиков паровых машин немецкий инженер Вейсс [66] и Эберле [22] разработали эффективные конструкции смесительных конденсаторов, служивших центральными конденсационными установками для группы паровых машин.

Однако Уатт предпочел поверхностный конденсатор, в котором конденсат отделен стенками от охлаждающей воды, по причинам, которые приведены им несколько ниже в тексте этой же статьи. Вместе с тем он отказался и от образования устойчивого и глубокого вакуума посредством атмосферной трубы и предпочел откачивание, быть может потому, что всегда думал о мобильных установках, не связанных с местностью, что видно из дальнейшего текста.

«Второй способ заключался в употреблении для выкачивания воды и воздуха насоса или насосов, которые можно употреблять везде. Такой способ необходим в тех местах, где нет колодцев или ямы.

Второй способ я предпочел тогда, и в дальнейшем пользовался исключительно им».

Далее Уатт довольно пространно пишет о введении им

крышки цилиндра с проходящим через сальник поршнем. что было вызвано отходом от Ньюкоменовского уплотнения поршней слоем налитой на них воды, неприемлемого для Уатта в свете раскрытых свойств воды и водяного пара. Здесь же он упоминает о введенном им в 1774 г. способе укрепления поршня на штоке путем применения конуса.

«После этого, — писал далее Уатт, — оставался еще один источник потери пара, а именно охлаждение цилиндра с наружной стороны воздухом, которое производило осажде-ние пара каждый раз, как он входил в цилиндр; этому я предложил помочь, обшив снаружи цилиндр деревом или другим плохим проводником тепла».

Обшивать цилиндры водоотливных машин Ньюкомена впервые начал Смитон. Более эффективным средством, введенным только Уаттом, была упоминавшаяся ранее «паровая рубашка», к конструктивным формам которой мы вернемся ниже. Ошибался в своем определении Уатт, когда писал, что оставался еще один источник потери пара — наружное охлаждение. Уатт упускал из виду, как уже упоминалось выше, охлаждение стенок цилиндра не снаружи воздухом, а изнутри паром, понижавшим свою температуру в процессе расширения, введенного позднее самим Уаттом.

Теперь, когда все «уложилось» в голове Уатта, предстояла экспериментальная проверка, относительно которой в существующей литературе имеются некоторые несоответствия. Для их устранения предварительно обратимся к дальнейшему тексту статьи Уатта.

«Когда я пришел к идее отдельного холодильника, то все эти усовершенствования (цилиндр с крышкой, сальник штока, деревянная обшивка цилиндра. — *И. К.*) вытекли из нее, следуя одно за другим, так что в течение одного или двух дней изобретение было уже настолько полно в моем уме, что для проверки его на практике я немедленно произвел опыт. Взяв большой латунный цилиндр диаметром в $1\frac{3}{4}$ дюйма и длиной в 10 дюймов, я сделал в нем дно и крышку из жестяных листов; для прохождения пара из котла к обеим сторонам цилиндра была проведена трубка, другая трубка отводила пар в конденсатор из верхней части цилиндра (для упрощения я опрокинул цилиндр по сравнению с обыкновенной паровой машиной). Я просверлил по оси шток поршня и укрепил кран на нижнем конце его для выпуска воды, получаемой при первом наполнении

его (конденсат от соприкосновения впускаемого пара с холодными стенками цилиндра.— *И. К.*). Холодильник, употребляемый мной в этом опыте, состоял из двух жестяных трубок длиной в 10 или 12 дюймов и около одной шестой дюйма в диаметре, стоящих вертикально и сообщающихся вверху с короткой горизонтальной трубой большого диаметра с отверстием на верхней стороне, закрываемым краном. Дно этих трубок было соединено с другой вертикальной трубой диаметром около одного дюйма, которая служила воздушным и водяным насосом».

В этом отрывке Уатта имеется ряд противоречий.

Первое противоречие. Если диаметр цилиндра был, как указано $1\frac{3}{4}''$ или $1,75 \cdot 2,54 = 4,445$ см, а площадь поршня составляла $\frac{4,445^2 \cdot 3,14}{4} = 15,51$ см², то Уатту нельзя было

радоваться подъему 18 фунтов груза, упомянутых ниже. Действительно, $18 \cdot 453,6 = 8164,8$ г = 8,164 кг. А на каждый сантиметр площади поршня усилие составляло $\frac{8,164}{15,51} = 0,5267$ кг/см². У машины Ньюкомена, как отмеча-

лось выше, с неглубоким по опыту «старых инженеров» вакуумом порядка 0,5 кг/см², или 50% атмосферного давления, рабочее усилие оказывалось не меньшим, чем полученное Уаттом в его экспериментальной машине. Эффект, достигнутый в первом опыте Уатта, составлял 0,5267—0,5 = 0,0267 кг/см² и, конечно, не мог удовлетворить Уатта.

Второе противоречие. Уатт писал о конденсаторе из двух трубок, и по его описанию Эрнст [25] сделал реконструкцию прибора (рис. 28). Но хранящийся в Кенсингтонском музее в Лондоне прибор (рис. 29) имеет только одну трубку в качестве конденсатора.

Третье противоречие. На рисунке Эрнста показан процесс подъема поршня. Это видно из того, что кран, ведущий в холодильник, открыт, а кран на штоке поршня — закрыт. Над поршнем вакуум, а под поршень поступает пар из котла (кран, сообщающий котел с верхней плоскостью, закрыт). В нашем расчете выше мы предполагали для этого случая давление в котле равным одной атмосфере. Если оно выше, то эффект конденсации при подъеме 18 фунтов груза должен быть еще хуже.

Из текста Уатта, описывающего проведение эксперимента, следует нечто иное:

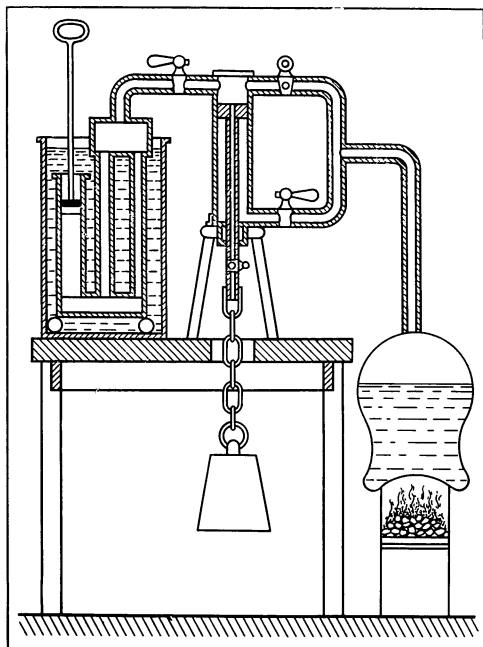


Рис. 28. Экспериментальная установка Уатта, реконструированная по ее описанию Эристом

«Паровая трубка была соединена с небольшим паровым котлом, из которого пар выпускался в цилиндр и скоро выходил оттуда через просверленный шток поршня и через кран холодильника. Когда можно было считать, что весь воздух вышел, то паровой кран закрывали (какой? Их два.— *И. К.*) и подымали поршень воздушного насоса конденсатора, вследствие чего в малых трубках конденсатора получался воздух (речь идет о вакууме; вероятно, в книге Радцига [102], по которой цитируется этот текст, допущена опечатка.— *И. К.*), пар входил в них и конденсировался. Поршень цилиндра немедленно поднимался и увлекал за собой груз в 18 фунтов, привешенный к нижней части поршневого штока. Затем выпускной кран закрывался, пар снова впускали в цилиндр, и операция повторялась в том же порядке; при этом отмечались количество расходуемого пара и величина поднимаемого груза. Этим изобретение

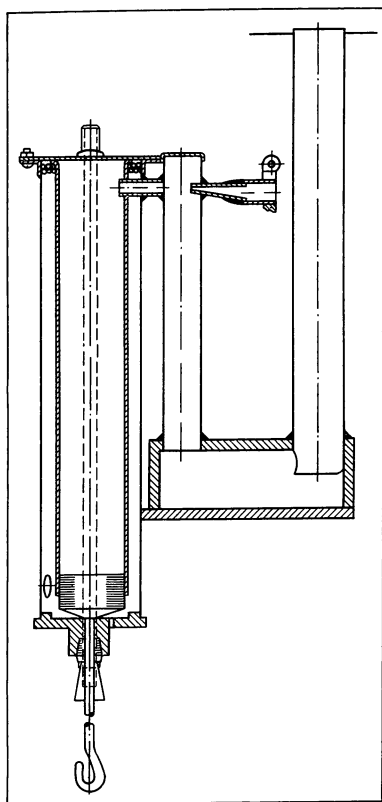


Рис. 29. Экспериментальная установка Уатта по экспозиции в Южно-Кенсингтонском музее в Лондоне

мое и было закончено, поскольку оно касалось экономии в расходе пара и топлива (за исключением применения паровой рубашки наружной и обшивки)».

Не совсем так. Отсечка пара на $\frac{1}{4}$ хода поршня так же преследовала экономию топлива.

В данном случае из описания Уатта не следует, что в приборе имелся кран (изображенный реставратором), сообщавший котел с нижней частью цилиндра. Это сообщение было, очевидно, постоянным. Прежде всего в приведенной цепи противоречий нас интересует ответ на вопрос: какой же экспериментальный прибор был применен Уаттом? Тот, что хранится в Кенсингтонском музее или восстановленный Эрнстом. Эрнст обращался с описанием Уатта довольно свободно, что можно прежде всего заключить по тому, какого типа котел изображен на его чертеже. Это

так называемый вагонный котел, введенный Уаттом много позднее его опытов для больших машин, когда начало сказываться давление и пришлось придать стенкам изогнутую форму. Здесь же Уатт пишет о том, что «паровая трубка была соединена с небольшим котлом», которому не было никакой нужды придавать «вагонную» форму. Это — «свободное» творчество реставратора, настаивающее по отношению к приводимым им данным.

Так, например, на рисунке Эрнста отношение диаметров цилиндра и трубок конденсатора равно примерно трем, а Уатт пишет: цилиндр 1,75 дюйма, а трубки конденсатора по $\frac{1}{6}$ дюйма, т. е. размеры отличаются более чем в десять раз.

А это обстоятельство весьма интересно и дает большую пищу для размышлений и понимания одного существенного отказа Уатта от ранее принятого технического решения своей принципиальной идеи.

Экспериментальная установка Уатта давала ничтожно малую поверхность конденсатора по отношению к рабочему объему цилиндра. Поверхность двух трубок длиной в 10 дюймов, или 25,4 см, при диаметре в $\frac{1}{6}$ дюйма составит всего $(2,54 : 6) \cdot 3,14 \cdot 25,4 \cdot 2 = 67,6 \text{ см}^2$. На этой поверхности должен сконденсироваться объем пара, равный (площадь цилиндра на длину) $25,2 \cdot 25,4 = 403 \text{ см}^3$.

Самый приближенный расчет показывает, что поверхность теплообмена в экспериментальной машине Уатта была явно недостаточной для получения хорошего вакуума.

При $P = 1$ атм удельный вес сухого насыщенного пара $\gamma'' = 0,5797 \text{ кг/м}^3$, а теплота парообразования $r = 593,6 \text{ ккал/кг}$. Объем пара в цилиндре 403 см^3 , или приблизительно $0,04 \text{ м}^3$; вес пара в цилиндре $0,04 \cdot 0,5797 = 0,0232 \text{ кг}$, а содержащаяся в нем теплота парообразования $r = 0,0232 \cdot 539,6 = 12,5 \text{ ккал}$.

Это количество тепла должно пройти через стенки конденсатора с поверхностью $67,6 \text{ см}^2$, или $0,0067 \text{ м}^2$. За какое время? Не за час, конечно, принимаемый за единицу в тепловых расчетах. Нельзя предположить, чтобы насос с ходом порядка 10 дм, или 25,4 см, Уатт тянул вверх за шток поршня в течение часа; сторонний теплообмен испортил бы весь баланс тепла. Время теплообмена при таких размерах машины должно иметь величину около 1 сек.

Тогда количество тепла, переданного в секунду через 1 м^2

$$Q = \frac{12,5}{0,0067} = 2000 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{сек}.$$

На теплоперепад в один градус при паре в 100° и охлаждающей воде в 10° ($100 - 10 = 90$) получим $\frac{2000}{90} = 22 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$, а в час в 3600 раз больше: $22 \cdot 3600 = 79\,200 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^\circ\text{C}$.

Сколько можно реально передать тепла в условиях конденсации пара при охлаждении водой в час при разности температур в 1° ?

Берем исходные данные [98] значения коэффициента теплоотдачи: для воды при движении по трубам 500—100 000, а для конденсирующегося водяного пара 4000—15 000 $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент теплопроводности для железа («жестяные» трубки Уатта) имеет значение 40—50 $\text{ккал/м} \cdot \text{час} \cdot ^{\circ}\text{C}$; толщина жести может быть принята (это играет несущественную роль) равной 0,5 мм, или 0,0005 м.

При принятых значениях можем определить величину коэффициента теплопередачи по известному уравнению [99]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10\,000} + \frac{0,0005}{50} + \frac{1}{15\,000}} = 1166 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^{\circ}\text{C}.$$

Уатт «перегрузил» свой конденсатор ни много ни мало — в $79\,200/1166 = 68$ раз!

Именно поэтому он поднимал только 18 фунтов при разрежении в конденсаторе 6,7% вместо Ньюкоменовских 50%.

Уатт не был доволен результатами опыта и изменил свое решение. Сначала он писал:

«Я употреблял такое устройство холодильника (поверхностного с двумя трубками.— *И. К.*), так как знал, что теплота проходит через тонкие стенки металла очень быстро, а также вследствие того соображения, что при отсутствии впрыскивания воды в опорожненный сосуд из него надо будет выкачивать только воду, в которую обращается пар, и воздух, вошедший вместе с паром или просочившийся туда». Итак — поверхностный конденсатор.

После опытов с машиной, поднявшей 18 фунтов, Уатт не дает никакой оценки результатам своего опыта и только констатирует: «... изобретение мое и было закончено».

Нет, он не думал этого, так как сразу же поставил новый опыт, в который внес существенное изменение: изменил конденсатор, изменил свое отношение к его конструкции. Он писал:

«Немедленно после этого была построена большая модель с цилиндром, покрытым деревянной обшивкой; опы-

ты, произведенные над нею, подтвердили мои ожидания (это же «подтверждено» практикой Смитона, применявшего деревянную обшивку к машинам Ньюкомена.— *И. К.*) и показали несомненность выгоды моего изобретения».

Несомненность показало другое, что видно из дальнейшего текста:

«Позже оказалось, что удобнее (? — *И. К.*) заменить трубчатый холодильник пустым сосудом обыкновенной цилиндрической формы, в который бы впрыскивалась вода (разрядка моя.— *И. К.*); ввиду того что при таком устройстве холодильника в нем получалось больше воды для выкачивания, пришлось увеличить воздушный насос».

Но главная причина отказа от прежней установки и перехода от поверхностного конденсатора к впрыскивающему (смесительному) была не в этом, Уатт отлично это понимал, когда писал: «Это изменение было сделано потому, что для получения достаточно большой поверхности охлаждения трубчатый холодильник получался слишком большим, а также потому, что его приходится часто снабжать плохой водой, которая образовывала бы на тонких стенках трубчатого холодильника кору из накипи, а это мешало бы достаточно быстрой передаче тепла».

Быстрой! Наконец-то фактор времени входит в тепловые расчеты. Чудесно.

Уатт правильно решил перейти на вспрыскивающий конденсатор. Правильно оценил недостаточность поверхности охлаждения для быстрой передачи тепла (здесь оправдано наше предположение о 2 сек). Но он неправильно считал главным тепловым сопротивлением стенку. Из приведенного выше уравнения видно, что значение сопротивления стенки многократно ниже теплового сопротивления теплоотдаче на внутренней и внешней поверхностях трубок. Этого тогда никто еще не знал. Но основное состояло в том, что вопрос о передаче тепла попросту снимался при смешении пара с охлаждающей водой: если в первой модели сопротивление теплопереходу было в 68 раз больше нормального, то во второй модели оно снималось совсем.

Итак, часть противоречий разрешена. Рисунок Эрнста давал только качественное представление об эксперименте Уатта. Количественные данные, продемонстрированные выше, показывают явную неудачу с применением поверхностного конденсатора и благоразумный отход Уатта от поверхностного конденсатора к смесительному.

Этот отход сделан в «большой» модели, о которой пишет Уатт. В статье [23] помещен чертеж Уатта (рис. 30), заимствованный нами из фундаментального труда Мюирхеда. На рисунке надпись: «Рисунок изобретенной машины с пластинчатым (plate condenser) конденсатором». Имеется дата: «1765 или 1766». Далее — примечание, гласящее, что конденсатор был применен к 18-дюймовой машине в Сохо.

Снова серия неувязок. Известно, что Уатт сначала работал с Ребеком, владельцем Карронского завода, и только после его финансового краха начал с 1773 г. работать с Мэтью Болтоном, владельцем завода в Сохо. На чертеже Уатта Сохо связан с 1765—1766 годами.

Далее, Уатт писал, что позже оказалось, что удобнее применять впрыскивающий конденсатор. А модель № 2 была построена «немедленно» после первой.

Создается определенное впечатление, что между «немедленно» и «позже» Уатт применил еще одну попытку использования поверхностного конденсатора, но не трубчатого типа, а пластинчатого. Он впервые обратился к компактной и удобной форме теплообменного аппарата, получившей позднее самое широкое применение в воздухонагревателях крупных котельных электростанций. На рис. 30 такой пластинчатый конденсатор ясно виден. Можно показать, что Уатт значительно развил поверхность теплообмена по сравнению с первой моделью. Посмотрим относительные размеры конденсатора первой и второй модели, сопоставив в каждой из них отношение поверхности конденсатора к объему цилиндра.

Для первой модели это отношение составляло $67,6/403 = 0,167 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Из чертежа (рис. 30) можно замеры: ход поршня 3 см, диаметр цилиндра 1 см, пластины конденсатора 0,6·0,8 см, количество пластин 24. По измеренным данным имеем объем цилиндра $\frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 3 = 2,36 \text{ см}^3$. Поверхность конденсатора $0,6 \cdot 0,8 \cdot 24 = 11,52 \text{ см}^2$. Отношение поверхности нагрева конденсатора к объему цилиндра составит $11,52/2,36 = 0,488 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Уатт увеличил относительную поверхность конденсатора в $0,488/0,167 = 2,92$, т. е. почти в 3 раза.

Мало! Недостача в первой машине была в 68 раз. Увеличив отношение в 3 раза, Уатт уменьшил недостачу до $68:3 = 22,6$ раза.

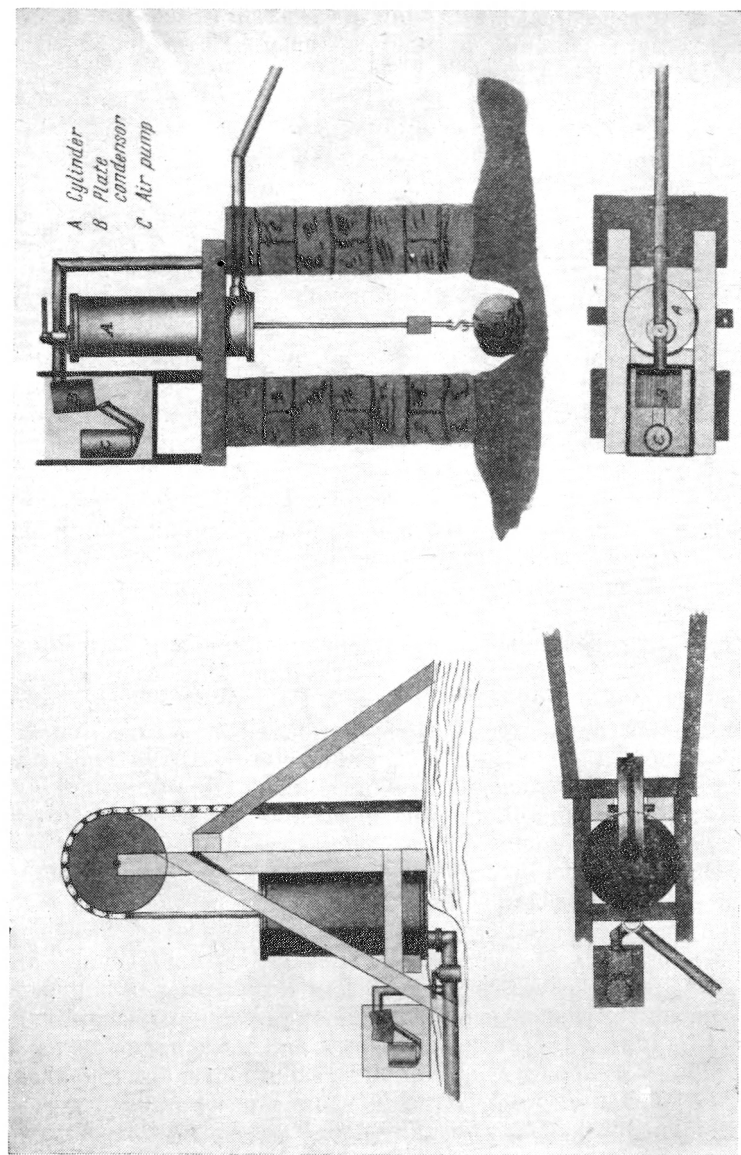


Рис. 30. Экспериментальная паровая машина Уатта

И только после этого он отказался от своего первоначального решения применять поверхностные конденсаторы.

Теперь процесс поисков Уатта (ошибок и их преодоления) становится достаточно ясным. Если бы Уатт знал современную науку с ее принципами теплового подобия и моделирования, современную науку о теплопередаче, то он шутя решил бы вставшую перед ним проблему. Он решал ее долго и упорно, обогащая современную ему науку точными данными об удельном объеме водяного пара, о зависимости его температуры от давления, о теплоте парообразования.

Кроме того, ему помогли практические навыки и умение механика. Дени Папен, впервые описавший цикл парового двигателя, вряд ли сумел бы выполнить и изготовить сложные экспериментальные установки, выполнявшиеся умелыми руками Уатта.

Однако, несмотря на некоторую ясность, полученную в результате элементарных просчетов уаттовских машин, остается нерешенным еще один вопрос. А каковы роль и значение опытной установки, хранящейся в Кенсингтонском музее?

Этой модели была посвящена специальная статья, ее чертеж дан в капитальном двухтомнике Матчосса [42], она приводится у Диккинсона [20], а Радциг [102] дает объяснение о неработоспособности модели и согласен с исправлением, сделанным Диккинсоном. В натуре (см. рис. 29) трубка, соединяющая конденсатор (средний цилиндр) с машиной, не проходит в полость рабочего цилиндра, а соединена только с полостью паровой рубашки. К рисунку, реставрированному в книге Диккинсона и Джепкинса, сделано примечание, что реставрация сделана не в соответствии с натуральным неработоспособным соотношением частей модели. Правда, в реконструированном чертеже отсутствует путь для подачи пара в верхнюю полость. Не удовлетворяет и описание работы модели, данное Радцигом, согласно которому пар из верхней полости во время рабочего хода поршня вверх поступает в конденсатор (средняя труба), где уровень воды понижается, так как поршень насоса (правая труба) идет вверх. При таком описании модель не является ни поверхностным, ни вбрызгивающим конденсатором. Конденсация на разделе жидкой и паровой фаз на площади, равной сечению средней

грубы конденсатора, будет явно недостаточной. По-видимому, одновременно с опусканием уровня воды имело место впрыскивание охлаждающей воды навстречу потоку пара через сопло, видимое на рис. 29.

Какой опыт был проведен раньше? На смесительном конденсаторе, хранящемся в Кенсингтонском музее (см. рис. 29), или на описанном Уаттом поверхностным конденсаторе, неудачно реставрированном Эристом (см. рис. 28)?

Логично предположить, что кенсингтонский впрыскивающий конденсатор был первым. Здесь подтверждена первоначальная идея Уатта об отделенном конденсаторе, который можно сохранять «холодным путем впрыскивания воды».

Затем Уатт ищет наилучшее конструктивное оформление первоначальной идеи, приводящее к стремлению сократить работу насоса, и конструирует модель с поверхностным конденсатором, реставрированную впоследствии Эристом. Вторая модель, поднявшая 18 фунтов, явно не удовлетворила Уатта. Немедленно, согласно его словам, строится большая модель, в которую он вводит пластинчатый конденсатор, увеличивающий втрое поверхность охлаждения.

Недостаточно. И тогда («позже оказалось») Уатт решительно стал сторонником впрыскивающих конденсаторов.

Другое расположение опытов и моделей во времени не согласуется с текстом Уатта, менее логично.

Итак, опыты закончены. Уатт нашел наконец недостающее звено и сумел для него разработать приемлемые конструктивные формы.

Искания Уатта представляются в их последовательности в виде ряда разрешаемых и возникающих задач, в решениях которых он умел оценивать как положительные, так и отрицательные итоги.

Вкратце логическая цепь работ может быть представлена в следующем перечне.

1. По совету Робисона Уатт исследует при помощи котла Папена возможности машин избыточного давления. Опыты подтверждают эти возможности, и Уатт оставляет их для специальных и транспортных установок (один из пунктов его будущего патента). Уатт не приемлет опасностей избыточного давления (взрыв), отказывается от преодоления трудностей (точность обработки, уплотнения).

2. Модель машины Ньюмена задала Уатту сложную задачу, так как нарушение подобия сделало ее неработоспособной. Вместе с тем эта модель с ее ярко выраженными температурными колебаниями привела Уатта к мысли о необходимости «держать цилиндр всегда горячим» (другой пункт его будущего патента).

3. Деревянный цилиндр не подтвердил надежд Уатта. Расход пара значительно выше, чем следует по «теории» Дезагюлье. Уатту становится ясным, что закон зависимости давления от температуры распространяется на область вакуума, и он верно думает о помехах вторичного парообразования на стенках цилиндра.

4. Уатт исследует зависимость температуры парообразования от давления и начинает сомневаться в данных Дезагюлье, одновременно одобряя «старых инженеров» за умеренный вакуум.

5. С помощью Блека Уатт проводит серию удачных опытов и убеждается, что данные Дезагюлье действительно неверны. Он с исключительной для примитивных условий опыта точностью находит значение удельного объема сухого насыщенного пара при давлении в одну атмосферу равным 1800 (современное 1725), тогда как Дезагюлье давал величину 14 000.

6. Уатт начинает проводить опыты с замером «расхода пара». Кавычками отмечено отличие от современного понятия этой величины (кг/л. с.-ч). Уатт измерял отношение расходуемого объема пара к объему рабочей полости цилиндра. Опыт показал, что цилиндр потребляет в 2,5—3 раза больше своего объема. Расход на конденсацию подтвержден. Уатт видит несоответствие здравому смыслу, когда малая доля конденсата нагревает большое количество впрыскиваемой воды. Он прав, но противоречия здравому смыслу, так хорошо согласуемому с уравнением Рихмана, — нет. Теплота-то пока «скрытая»!

7. Уатт ищет спрятанное тепло — теплоту парообразования и находит, что вес воды (конденсата), нагревающей охлаждающую воду «почти до кипения», в 6 раз меньше веса этой воды. Нагревает не конденсат, что и представляется парадоксальным, а скрытая теплота, теплота перехода пара в жидкость; но опыты Уатта достаточно точны: $6 \times 100 = 600$; действительное значение теплоты парообразования при атмосферном давлении равно 539,6. Точность, достаточная для практически верных выводов.

8. Опыты Уатта еще раз убеждают его в необходимости держать цилиндр «всегда горячим». Он теперь отходит от установки «старых инженеров» на плохой вакуум. Чем глубже вакуум, тем лучше: Уатт прямо говорит о показателях современных паротурбинных установок, работающих с вакуумом 6,4% при температуре пара 37° (современные данные: при 6,5% температура равна 37,29°). В паровых поршневых машинах такой вакуум был недостижим, так как большой объем пара при таких условиях нельзя эвакуировать из полости цилиндра.

9. Уатт всецело погружен в противоречивую задачу: цилиндр должен быть горячим, а сконденсировать пар нельзя, не охладив его. Он подходит к кульминационному пункту своих исканий и к тому состоянию, которое он характеризовал в одном из своих писем следующими словами: «... все мои помыслы направлены на паровую машину, я не могу ни о чем другом думать». Идет большая и явная, и скрытая работа мысли, подготавливая почву возникновения решения, которое является «вдруг»: во время прогулки Уатт приходит к своему главному изобретению — отдельному конденсатору (третий пункт его будущего патента).

10. «... Все предложение вполне уложилось у меня в голове», — писал Уатт. Нужно эвакуировать конденсат и воздух. Уатт сразу же находит два решения: насос или столб воды, и выбирает первое. Нужно защитить поршень от холодного воздуха. Уатт принимает решение закрыть цилиндр крышкой, а шток поршня пропустить через сальник. Еще раз (после деревянного неудачного цилиндра) обращается к дереву в качестве изолирующей обшивки, ранее применявшейся Смитом. Все сложилось в голове Уатта. Нужно только проверить.

11. Уатт конструирует опытную модель (см. рис. 29). Три трубы: рабочий цилиндр, конденсатор, насос; впрыскивание воды навстречу выходящему пару. Все получается, все оправдывается. Но требовательный Уатт недоволен. Слишком велик насос, откачивающий и конденсат, и воздух, и впрыскиваемую воду, количество которой по только что проводившимся Уаттом опытам в 6 раз больше конденсата. Ее нужно отделить.

12. Уатт строит вторую модель, где охлаждающая вода отделена от конденсата и воздуха, а тепло передается через стенки трубок поверхностного конденсатора. Но Уатт

не знает, что главное сопротивление прохождению тепла не материал стенок, а поверхностные процессы на их воспринимавшей и отдающей тепло поверхностях. Поэтому поверхность охлаждения недостаточна (в 68 раз меньше потребной). Опыт явно не удался. Машина поднимает 18 фунтов, а ньюкоменовская с вакуумом в 50% по рецепту «старых инженеров» — 24 фунта.

13. Уатт в новой модели увеличивает поверхность охлаждения конденсатора втрое. В целях компактности конструкции он применяет пластинчатую систему, в наше время широко используемую в воздухонагревателях. Мало. Недостача еще в 22 раза. И Уатт решительно возвращается к смесительному конденсатору, ссылаясь не только на большие размеры поверхностного конденсатора, но и на эксплуатационные неудобства, в частности ухудшение теплопередачи через стенки из-за образования на них «корки».

14. Все проверено. Машина становится работоспособной, машина становится экономичной. Необходимо все достижения Уатта реализовать на практике. А на практике работала «старушка» — машина Ньюкомена, достигшая шестидесятилетнего возраста. Уатт возвращает ей молодость: все свои находки и достижения он применяет к водоотливной машине — ставит цилиндр штоком вверх, соединяет шток поршня с цепью; не меняет больше ничего, только вводит насос для откачивания смеси: воздух, конденсат, охлаждающая вода.

Уатт сделал главное дело своей жизни: снизил расход топлива в паровой машине в 2,7 раза.

Но впереди еще было много работы.

Уатт отчетливо понимал всю значимость сделанного им изобретения. В стране было множество насосных машин, и их владельцы изнемогали от тоски, видя, как добрая треть добываемого угля идет не на продажу, а в топку водоотливных машин. Изобретение Уатта было для них счастливой находкой, избавлявшей их от колоссальных расходов. Нужно только доказать им действительную ценность своего изобретения, и они будут строить «усовершенствованные» (как их позднее называли) машины Ньюкомена сотнями.

Уатт идет на решительный шаг: все свои сбережения он тратит на постройку «усовершенствованных» машин.

Это уже не маленькие модели, которые могли и не поколебать недоверия шахтовладельцев к новой машине. Дитище Уатта начинает расти. Он строит модель с цилиндром диаметром 140 мм и ходом поршня 610 мм. Несмотря на недочеты в изготовлении, он остался доволен ее работой, хорошими экономическими показателями.

Учтя недостатки изготовления, он строит еще бóльшую машину, которая вполне убедительно могла доказать любому хозяину шахты или рудника, что она способна решить самую сложную проблему его экономики — снизить расход на топливо.

Экономика самого Уатта пришла в полное расстройство. Мастерская не давала дохода, так как Уатт все время уделял машине. Пришлось искать работу в области, не соответствующей его интересам. Уатт проводит геодезические изыскания и строительные работы по сооружению канала между реками Форт и Клайд в Шотландии, посещает Лондон, где защищает проект канала, работает на постройке канала для доставки угля из Монккланда в Глазго, производит изыскания на трассе канала Стротмар, проектирует судоходный канал через Гринокский перешеек, работает по улучшению портов Эйра, Глазго, Гринока, проектирует мосты в Гамильтоне, Рутерглене.

Деловая работа, контакты с дельцами противны характеру Уатта.

В своих письмах друзьям он пишет: «...ничто не является более противным моей природе, как всякие деловые отношения с людьми, но сейчас я веду постоянно такую жизнь... Я нахожусь в постоянном страхе, что мой недостаток опыта может привести меня к затруднениям, или я не смогу контролировать рабочих» (письмо Смоллу, 9 сентября 1770 г.) [45, т. II, стр. 3].

«Я предпочел бы стоять перед заряженной пушкой, чем заниматься счетами и сделками» (письмо Смоллу, 24 ноября 1772 г.) [45, т. II, стр. 34].

«Я вижу себя принужденным жить жизнью делового человека: ничто не может быть более неприятным для меня. Я дрожу, услышав имя человека, с которым должен иметь деловые сношения» (письмо Смоллу 11 декабря 1773 г.) [45, т. II, стр. 69].

К переписке Уатта мы вернемся ниже, так как в ней содержится много интересных инженерных решений и

предложений, недостаточно оцененных исследователями деятельности Уатта.

Ему же предстояло кроме изыскания денежных средств, привлечения капиталистов еще сделать одно существенно важное дело: закрепить за собой сделанные им открытия и изобретения. Возможно, что Уатт с его отвращением ко всяким деловым вопросам был побужден к патентованию своим первым компаньоном Ребеком, на заводе которого строились первые «усовершенствованные» машины Уатта. Ребек был в числе трех свидетелей, присутствовавших при вручении Уатту патента 1769 г., о чем свидетельствует имеющаяся на нем надпись: «Скреплено печатью и вручено в присутствии Колл. Уилки, Джо Жардина, Джона Ребека».

Патент 1769 г. Эксплуатация изобретений Уатта

Полный текст патента 1769 г. опубликован в третьем томе книги Мюирхеда [45], откуда он и заимствован нами. Сущность предложения не видна из заглавия патента, которое гласит: «Спецификация патента от Января 5-го, 1768, на новый метод снижения расхода пара и топлива в огненных машинах».

Здесь почему-то применено старое выражение «огненная машина». Оно, по-видимому, было еще весьма распространенным. Это можно заключить, например, и из текста патента, где Уатт делает замечание: «...сосуд, называемый цилиндром в обычных огненных машинах и который я называю паровым сосудом».

Сразу же после названия Мюирхед делает сноску, в которой отмечает, что, безусловно, величайшим изобретением Уатта был отделенный конденсатор, и это все прекрасно понимают (книга издана в 1854 г.), но не все отдают себе отчет в другом важном вкладе Уатта: отказе от атмосферного давления и переходе к непосредственному давлению пара на поршень машины. Сообщив, что это решение Уатта повлекло за собой ряд конструктивных вкладов (крышка, сальник, круглый шток, манжета), автор указывает далее, что патент 1769 г. не сопровождался чертежами. В целях компенсации этого недочета он предлагает чертежи (см. рис. 30) на листе № 1 третьего тома, дополняя свое предложение текстом: «...две ранние экспериментальные машины с отделенными конденсаторами — одна с прямостоящим и другая с перевернутым цилиндром, — построенные в 1765 и 1766».

Опуская начальную часть патента с обычным обращением к королю и властям, рассмотрим самый текст.

«Мой метод снижения расхода пара и соответственно топлива в огненных машинах состоит из следующих принципов.

«Первый. Сосуд, в котором сила пара используется для работы машины, который называется цилиндром в обычных огненных машинах и который я называю паровым сосудом, должен во время работы машины содержаться таким же горячим, как входящий в него пар, во-первых, — путем заключения его в оболочку из дерева или другого материала, что медленно пропускает тепло; во-вторых, — путем окружения его паром или другими нагревающими телами; и, в-третьих, — путем недопущения ни воды, ни какого-либо иного вещества, более холодного, чем пар, входить или касаться с ним в течение рабочего времени».

Итак, первый принцип Уатта получил юридическую силу! Теперь любому и каждому было запрещено применять изоляторы тепла, паровую рубашку, ограждать цилиндр от холодных тел. Ведь Смитон, окружавший деревянной обшивкой цилиндры своих машин, не догадался запатентовать эту техническую находку. Видимо, у Уатта, неоднократно писавшего о своем неумении и нежелании вести дела, были хорошие советчики.

Для патентов рассматриваемой эпохи были характерны предложения, не подкреплявшиеся определенными конструктивными формами. В 1698 г. Севери получил патент на 14 лет (продленный еще на 25) на «...новое изобретение для подъема воды и получения движения для всех видов производства при помощи движущей силы огня», который все и всякие теплосиловые изобретения запрещал на 40 лет без малого!

Первый «принцип» патента Уатта конкретнее, но не настолько, чтобы быть подтвержденным чертежами.

Основной пункт патента 1769 г. сформулирован Уаттом так:

«Второй. В машинах, предназначенных частично или полностью работать посредством конденсации пара, пар должен конденсироваться в сосудах, отделенных от паровых сосудов или цилиндров, хотя периодически соединяемых с ними; такие сосуды я называю конденсаторами; и пока машина находится в действии, эти конденсато-

ры должны по крайней мере содержаться такими же холодными, как воздух, окружающий машину, путем применения воды или других холодных тел».

Снова запатентован именно «принцип». И это обстоятельство приводило к тому, что изобретатель конденсатора любой, хотя бы самой прогрессивной, конструкции не мог реализовать ее, поскольку все возможные конструкции объединены в патенте общим принципом. Эти принципы, как будет видно дальше, в значительной степени помешали ряду изобретателей паровых машин.

Лишен конструктивной ясности и третий принцип патента.

«Третий. Поскольку воздух и другие упругие пары не конденсируются путем охлаждения в конденсаторе и могут ухудшать работу машины, они должны быть выкачаны из парового сосуда или конденсатора (здесь Уатт противоречит принятой им терминологии, по которой в первом пункте условился паровым сосудом называть рабочий цилиндр машины.— *И. К.*) посредством насоса, приводимого в движение самой машиной или другим способом».

Патент охватывает все возможные конструктивные формы насосов, и только изобретатель эжектора мог бы во времена Уатта преодолеть запрет его патента.

Затем, как и в случае с деревянной обшивкой стенок цилиндра, Уатт патентует применение пара избыточного давления, хотя сам никогда его не применял, несмотря на то, что он знал из известной ему книги Леупольда [38], что последний предлагал машины с выхлопом в атмосферу. Возможно, что Уатт позаимствовал у Леупольда область применения машин избыточного давления. Леупольд писал: «... в лесу, где дров много, а воды из луж достаточно для питания котла, но недостаточно для охлаждения пара, машина избыточного давления может применяться».

Об этом же в несколько иной форме писал и Уатт:

«Четвертый. Я намерен во многих случаях использовать силу расширения пара для давления на поршень таким же образом, как давление атмосферы используется в обычных огненных машинах: в случаях, когда охлаждающей воды недостаточно, машины могут быть движимы только силой пара с выхлопом пара в атмосферу после того, как он выполнил свою работу».

Предложение Леупольда, опубликованное им еще в 1724 г., становится личной собственностью Уатта, кото-

рый не был сторонником применения высокого давления, как было показано выше, и никогда не применял его, но другие люди, додумавшиеся до идей покойного Я. Леупольда, не могли осуществить эти идеи из-за патента Уатта.

Остальные два пункта патента Уатта имели меньшее значение в истории парового двигателя. Они были в значительной степени преждевременны. Остановимся на них.

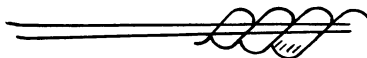
«Пятый. Когда требуется движение вокруг оси, я делаю паровой сосуд в форме пустого кольца (не поэтому ли Уатт ввел термин «паровой сосуд» вместо «цилиндр»? — *И. К.*) или кругового канала с надлежащим входом и выходом для пара, смонтированными на горизонтальной оси, как колеса водяных мельниц; в нем я располагаю несколько клапанов, которые заставляют любое тело двигаться вокруг по каналу только в одном направлении, в этом паровом сосуде расположены грузы, закрепленные таким образом, что часть канала заполнена ими, но они могут двигаться по нему свободно средствами, которые будут в дальнейшем упомянуты или освещены специально.

Когда пар поступает в эти машины между грузами и клапанами, он действует равно на грузы и клапаны и будет поднимать грузы с одной и опускать с другой стороны колеса; благодаря действию клапанов пар придаст колесу вращательное движение, а клапаны будут открываться в сторону движения грузов, но не в противоположную. Сообщая вращательное движение, паровой сосуд получает пар из котла, а использованный пар может быть выпущен в конденсатор или в атмосферу».

Из этого пункта видно, что растущее фабричное оборудование все более и более начинает использовать вращательное движение. Решение этого вопроса возможно в принципе тремя путями: 1) переход от поршневых машин к роторным; 2) создание для поршневых машин системы, преобразующей возвратно-поступательное движение во вращательное; 3) разработка коловратных машин, к которым относится пятый пункт патента.

Переход к роторным машинам — турбинам — был преждевременным по существенным причинам: отсутствие требований на двигатель с высоким числом оборотов и невозможность разработки конструкций и их выполнения. На уровне технологии, современной Уатту, до паровых турбин было еще далеко.

Оставалось еще два решения, и Уатт не сразу нащупал наиболее верный путь. Этим путем было придание свойств универсальности поршневому двигателю в результате разработки системы, преобразующей возвратно-поступатель-



*Рис. 31. Набросок гребного винта-спирали
в письме Уатта*

ное движение поршня во вращательное движение вала двигателя. Уатта, однако, как показывает его патент, привлек другой путь — конструирование машин с кольцевым цилиндром и вращающимся поршнем. Уатт неоднократно возвращался к этой идее.

Из его переписки видно, что начиная с 1770 г. и до самой смерти д-ра Смолла в 1775 г. Уатт вел с ним оживленный обмен мнениями по поводу сооружения машины коловратного типа.

В письме от 30 сентября 1770 г. Уатт пишет Смоллу о ряде затруднений, связанных с реализацией «колеса-машины». Из письма видно, что Смолл трудился над моделью такой машины для судна, поскольку Уатт задает ему вопрос, небезынтересный для истории судовых движителей: «Вы все еще рассчитываете на спиральное весло (*spiral oar*) для той цели или теперь Вы за два колеса?» Набросок Уатта в тексте письма (рис. 31) показывает, что задолго до предложений Смита, Рассела и Эриксона Смолл и Уатт обсуждали вопрос о применении спирали Архимеда в качестве судового движителя. Из письма следует также, что изобретатель еще не отказался от грузов, о которых упомянуто в патенте, хотя в конце письма писал: «...у меня есть другая коловратная машина (*circular reciprocator*) без груза, хотя и с ртутным поршнем; наружное колесо закреплено, а поршень движется».

Это, безусловно, прогресс, но пока незначительный, поскольку ртуть еще играет роль груза. Старая техника еще не изжита даже в сознании таких передовых людей, как Уатт, техника медленных движений и использования гравитационных усилий в работе машин. Но, как будет видно дальше, Уатт преодолел своеобразную инерцию покоя привычных представлений.

Характерно, что в этом письме Уатт называет «колесо-машину» «нашей». Это дает повод для заключения, что они оба — Смолл и Уатт — равно трудились над ней.

На письмо от 14 февраля 1771 г. Смолл пишет Уатту: «Мне стыдно писать Вам, что коловратная машина еще не закончена»; только 16 декабря он сообщает: «Ваша машина через пару недель будет готова для испытаний».

В письме от 24 декабря Уатт советует Смоллу приступить к испытаниям с водой вместо ртути и с воздухом, нагнетаемым мехами, вместо пара, полагая, что при таком испытании будет легче найти недочеты, чем при испытании с паром. Здесь в известной степени Уатт применяет принципы моделирования.

Коловратной машиной заинтересованы многие.

В сентябре 1772 г. Ребек пишет Уатту: «Теперь, вероятно, д-р Смолл и мистер Болтон испытывают коловратную машину (circular engine). Так как они не могут получить хороших результатов без удвоенного давления, я посоветовал им рассматривать их эксперимент как недостаточный; хотя, если это не отвечает их соображениям, они могут конденсировать пар в этой коловратной машине в соответствии с вашим первоначальным планом».

16 ноября 1772 г. Смолл информировал Уатта о том, что испытания коловратной машины откладываются в связи с финансовыми затруднениями и задержкой изготовления парового котла.

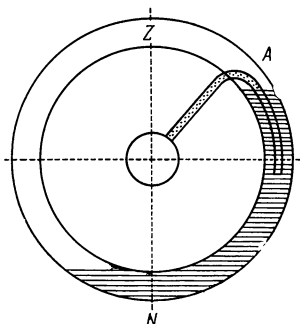
Проходит больше года, и в письме от 23 февраля 1774 г. Смолл пишет Уатту: «Мы не испытали коловратную машину. Машина смонтирована, котел готов, детали, соединяющие котел с паровыми трубами, также готовы, но нет оснований для исключения воздуха». Смолл ожидает приезда Уатта, потому что без него вряд ли что-либо можно сделать. По-видимому, Уатт ездил в Бирмингем и испытывал коловратную машину, так как в письме Ребека к нему от 12 ноября есть фраза: «Мне хотелось бы получить информацию о ваших испытаниях плавкого металла в коловратной машине».

Но в это время в делах Уатта наступает перелом. 11 декабря он из Бирмингема пишет письмо отцу, в котором говорит, что его дела обернулись к успеху, изобретенная им машина («усовершенствованная» машина Ньюкома. — *И. К.*) лучше всех, применяемых ранее, и что он ожидает от нее больших доходов.

Интерес к коловратной машине начинает падать.

В письме Болтона, датированном маем 1775 г., в конце есть замечание, что скоро будет готов образец коловратной машины; но только в феврале 1776 г. он возвращается к этому предмету, указывая на недогрузку большого кузнечного цеха и предполагая передать коловратную

Рис. 32. Полуротативная паровая машина Уатта



машину для ручного изготовления. Рисунок Болтона, приложенный к письму (рис. 32), указывает на то, что идея Уатта о применении ртути или другого жидкого металла еще была в силе. Болтон писал: «Я забыл удельный вес нашего металла; но я боюсь, что он настолько легок, что поднимется выше центра колеса и таким образом вступит в паровые трубы; в конце концов вы могли бы ограничиться работой паром низкого давления; но этот дефект может быть устранен путем изготовления трубы таким образом (следует рис. 32.— *И. К.*). Таким образом жидкий металл может подняться, если будет нужно, на высоту А; паровая труба может быть продолжена по периферии колеса вплоть до А, а затем повернута к оси».

Через пять месяцев Болтон сообщал, что «коловратная машина готова к испытаниям, за исключением паровой трубы». Не это теперь занимает Болтона: «Я не спал прошлую ночь, мои мысли были поглощены ПАРОМ, и вот что я вывел из моего бодрствования... цена мощности каждой атмосферы снижается от 1012 пенсов или шиллингов до 272 пенсов или шиллингов (цифры Болтона относительны.— *И. К.*) при повышении давления от одной до четырех атмосфер». Это конкретно. Над этим стоит работать. И коловратная машина надолго исчезает из переписки Уатта.

Только 23 января 1782 г., почти через пять лет, в письме Уатта Болтону встречаются слова о том, что он «очень высокого мнения о выгодах коловратных машин, но трудности, связанные с ними, должны быть не менее чем вдвое большими, чем с водоподъемными машинами».

Уатт еще не знал, какие трудности предстоит ему преодолеть, не для того, чтобы получить вращательное движение в коловратных машинах, а чтобы водоподъемную машину превратить в универсальный двигатель, придав ей желаемое качество: вращательное движение вала.

Однако он уже прекрасно понимал трудности и неудобства, связанные с коловратными машинами. В письме от 19 сентября 1782 г. к Болтону из Бирмингема он пишет, что вычертил несколько коловратных машин и эти машины «...должны иметь так же много регуляторов, паровых труб и так далее, как машина с возвратно-поступательным движением; более того, их паровые и выхлопные трубы должны быть изогнуты и направлены во многих весьма абсурдных направлениях, что вызывает безобразную внешность и неудобство; и, короче говоря, они будут иметь так же много деталей, как поршневые машины, и некоторые из этих деталей будут много труднее в изготовлении».

И последний раз Уатт останавливается на коловратных машинах в подробном письме к Гамильтону от 24 сентября 1782 г. В этом письме, являющемся обзором пройденного пути, он сообщает о большом трении и о трудностях изготовления коловратных машин, о том, что эти машины, как подсказывает его опыт, всегда будут причинять большие трудности на путях к их внедрению. Заканчивается письмо тремя рисунками. Первый имеет надпись: «Модель полуротативной паровой машины, выполненной в 1765 и в 1766 Д. У. в Глазго» (рис. 33). Такие машины, работающие паром или маслом, получили в наше время широкое распространение в качестве сервомоторов. К второму рисунку (рис. 34) имеется текст, указывающий на то, что эта машина полностью ротативна. На третьем изображении варианта машины, в котором подвижные поршнкрыльчатки объединены в одну деталь и перенесены с ротора на статор (рис. 35), кроме описания частей имеется указание на то, что «движение в период отсутствия пара поддерживается посредством маховика или веса».

Так закончился пятый пункт патента Уатта 1769 г.

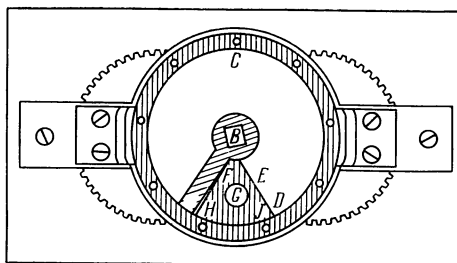


Рис. 33. Набросок М. Болтона в письме к Уатту

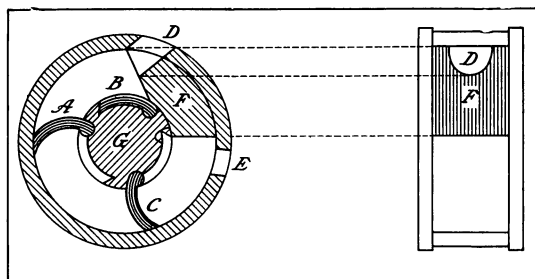


Рис. 34. Ротативная паровая машина Уатта с тремя «поршнями» на роторе

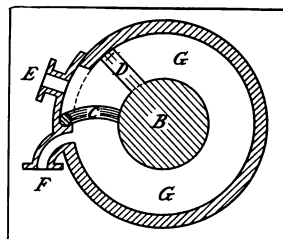


Рис. 35. Ротативная паровая машина Уатта с одним «поршнем» на статоре

«Шестой. Я намерен в некоторых случаях применять охлаждение, недостаточное для превращения пара в конденсат, но значительно снижающее его давление, так что машина может одновременно работать и за счет расширения, и за счет снижения противодавления». Здесь Уатт высказал широко применимую в наше время идею о возможности работы машины с так называемым ухудшенным вакуумом для использования тепла уходящего пара с рассчитанной заранее температурой в целях теплоснабжения.

И последнее, что считал нужным закрепить за собой в своем патенте Уатт, состоит в указании на применение нефти, воска, резины, животного жира, ртути и других металлов в жидком состоянии для уплотнения поршня.

Ниже подписей свидетелей Уатт делает примечание:

«Следует помнить, что упомянутый Джеймс Уатт не предполагает, что четвертый пункт может быть понимаем как предложение машины, где вода поднималась бы в самом паровом сосуде или в другом каком-либо сосуде путем прямого соприкосновения пара с водою».

В книге Мюирхеда (45, т. II, стр. 15), где приведен текст патента Уатта, отмечено, что это добавление сделано для того, чтобы никто не думал, будто Уатт в четвертом пункте патента использует принцип машины Севери, в которой упругость пара применена без включения в конструкцию машины поршня.

Как самый текст патента, как и приведенная переписка по одному из пунктов показывают, что основой патента, самым прогрессивным по содержанию являлся пункт второй, где речь шла об отдельном конденсаторе. Введение конденсатора в среднем в 2,7 раза снижало расход топлива, и именно это обстоятельство после преодоления ряда технологических трудностей дало возможность Уатту писать отцу о том, что он ожидает от своего изобретения большую выгоду. Изобретением конденсатора Уатт подготовил почву для решительной победы в битве за универсальный двигатель, но в его деятельности был своеобразный переходный период, когда он постепенно остывал к идее применения универсального коловратного двигателя, но, понуждаемый жизнью, Болтоном, конкурентами, начал упорно и систематически работать над превращением рекордного по экономичности, но далеко не универсального «усовершенствованного» насосного двигателя Ньюкомена в двигатель с вращательным движением вала.

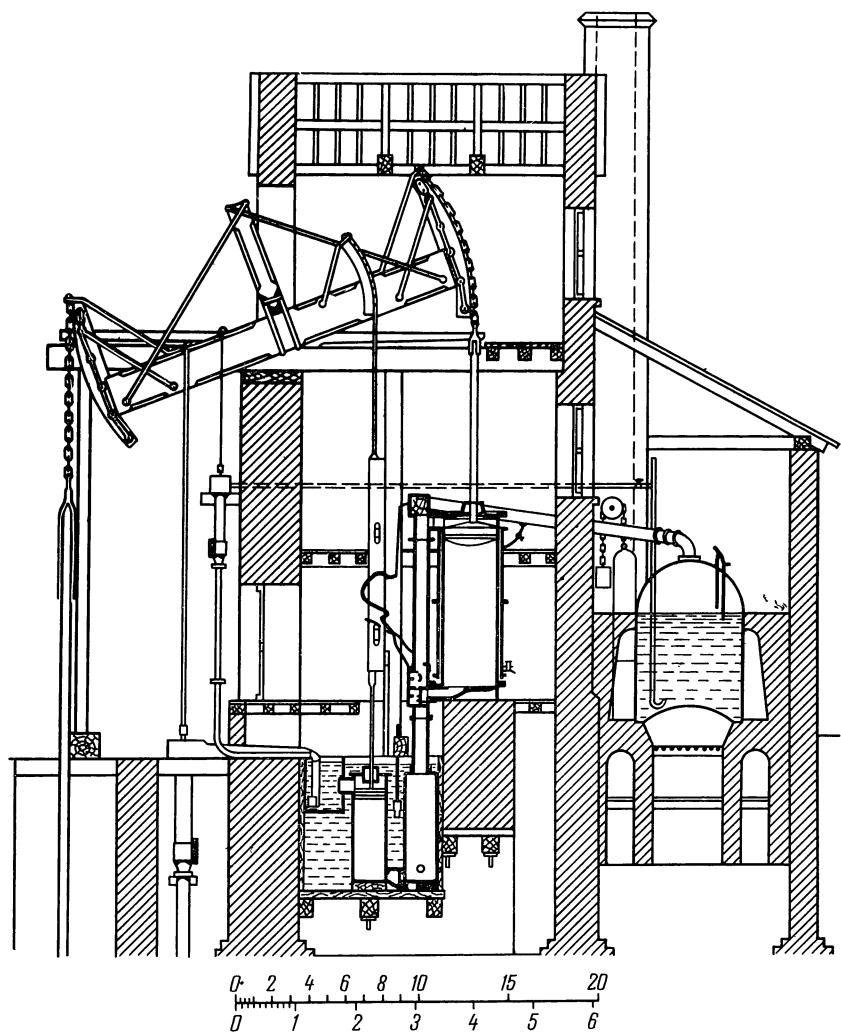


Рис. 36. «Усовершенствованная» машина Ньюкомена с конденсатором Уатта для привода рудничных и шахтных насосов

Разве это так сложно? Один конец балансира усовершенствованной машины Ньюкома (рис. 36) приводится в движение от поршня парового двигателя, а другой поднимает насосную штангу. А если нужно получить вращательное движение, то проще всего второй конец балансира вместо штанги снабдить шатунно-кривошипным механизмом и передать вращательное движение валу машины. Сам Уатт писал, что «...истинный изобретатель кривошипного механизма был человек, создавший обыкновенный токарный станок (подразумевается станок с ножным педальным приводом, как у швейных машин. — *И. К.*). Применить его к паровой машине было так же легко, как воспользоваться ножом, предназначенным для резки хлеба, для разрезания сыра» [101].

Здесь Уатт сознательно упрощает вопрос в связи с тем, что на пути применения кривошипно-шатунного механизма его обошел Васбру. На деле нужно было преодолеть инерцию представлений довольно сильную, о чем можно судить, например, по тому, что видный машиностроитель Смитон еще в 1781 г. дал заключение о невозможности прямого механического привода от паровой машины.

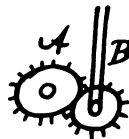
Уатт долго и упорно боролся с природой, открывая ее тайны. Теперь ему предстояло бороться и с людьми. 2 апреля 1781 г. он писал Болтону в Бирмингем: «Я думаю, что прежде, чем нам выступать на любом судебном процессе в деле о кривошипном механизме, мы должны получить совет дельного юриста. Я не осмелюсь предложить какую-либо новую схему, чтобы нас снова не предавали». Не проходит и трех недель, как он снова проявляет беспокойство: «...изобретение (Васбру) является моим собственным, и было похищено им у меня наиболее бесчестным способом... Но я знаю из опытов, что другие изобретения, которые вы настоятельно предлагаете мне испытывать, исполнят свою роль не менее хорошо и на самом деле будут даже иметь преимущества над кривошипным механизмом».

Здесь Уатт противоречит самому себе. После слов о создателе обыкновенного токарного станка как о истинном изобретателе кривошипно-шатунного механизма он упрекает Васбру в похищении изобретения не у только что им названного изобретателя токарного станка, а у него, Уатта. Получается, что и Уатт, и Васбру похищали у неизвестного изобретателя его не запатентованное изобретение с той

только разницей, что Васбру несколько опередил Уатт. Запатентовать же это всем известное изобретение как тот, так и другой могли только в применении его к паровому двигателю (что и сделал Пикар), вводя какие-либо мало-существенные дополнения.

Через два дня, 22 апреля 1781 г., разгневанный Уатт пишет Болтону: «Если Король (патенты выдавались его именем.— *И. К.*) будет думать, что Мэтью Васбру лучший

Рис. 37. Набросок Уатта в письме Болтону о планетно-солнечном соединении вала машины А с концом шатуна В



инженер, чем я, то я не буду разубеждать его; я предоставляю это Мэтью (Васбру.— *И. К.*). Убеждение должно быть тем сильнее, чем неоспоримее улика».

Однако гнев гневом, а разрабатывать новые предложения нужно. Из письма Болтону от 31 декабря 1781 г. видно, что Уатт передал заявку на новые улучшения паровых машин для подъема воды и что спецификация на машину с вращательным движением теперь должна быть выполнена с особой тщательностью, иначе можно слишком запоздать.

Сущность его нового предложения впервые раскрыта в письме Болтону, направленному 3 января 1782 г. В тексте дан набросок соединения (рис. 37) и пояснение к нему: «Шестерня А насажена на конец вала, на котором сидит маховик; шестерня В твердо укреплена на шатуне, соединенном с рабочим балансиrom, и не может поворачиваться вокруг своей оси и соединена таким образом, что постоянно находится в зацеплении с шестерней А; следовательно, во время работы машины она обходит вокруг шестерни А и поворачивает ее вокруг ее оси; если шестерни будут иметь равное число зубцов, то шестерня А будет делать два оборота за один оборот шестерни В вокруг нее».

Уатт довольно остроумно обошел патент Васбру. Какие положительные и отрицательные моменты можно отметить при сравнении его планетарной передачи с простым шатунно-кривошипным механизмом? Сложнее в изготовлении — минус. Довольно значительная нагрузка на зубцы и возможность их поломки — минус. Переход от трения

скольжения к трению качения — плюс. Удвоение числа оборотов — большой плюс: уменьшается вчетверо масса маховика.

Вопрос о получении вращательного движения вала в машине Ньюкомена горячо волнует Уатта, занимает все его мысли. Он пишет Болтону из Косгарна одно письмо за другим: 3, 5, 7, 16, 21, 23, 26, 28 и 31 января и 2 февраля 1782 г. 10 писем в месяц! У него уже все продумано, проработано, он еще 26 июля 1871 г. сделал заявку на все эти изобретения, и его патент на них датируется 25 октября 1781 г. Очевидно, письма Болтону писались в то время, пока шла реализация его нового патента.

Его название гласит: «Спецификация патента от 25 октября 1781 года на некоторые новые методы использования колебательного и возвратно-поступательного движения паровых или огневых машин для получения непрерывного вращательного или кругового движения вокруг оси или центра, и поэтому приводящих в движение мельницы и другие машины».

Содержание этого патента Уатта удобнее всего проследить по приложенным к нему чертежам. Следует предварительно предупредить читателя, что решения Уатта были применены к наиболее неблагоприятному случаю привода машин Ньюкомена с прерывным действием (ход рабочий, ход холостой). Позднее эти решения были очень просто применены к его машине двойного действия с непрерывной отдачей работы.

Для привода мельничных поставок Уатт применяет конструкцию, решающую две задачи: превращение прерывного движения в непрерывное вращательное и переход от горизонтальной оси к вертикальной (рис. 38). Этот метод в наше время неоднократно предлагался для двигателей внутреннего сгорания, но получил применение преимущественно в насосных установках высокого давления. В приводе Уатта в качестве маховика, совершенно необходимого в этом случае, работал сам жернов мельницы, но, хотя это не так уж важно для процесса помола зерна, скорость вращения жернова за один оборот вала при этом приводе должна колебаться в довольно широких пределах.

Для машин с горизонтальным валом Уатт предлагает ряд оригинальных конструкций. Среди них — эксцентрически насаженное на вал машины кольцо (рис. 39), по кото-

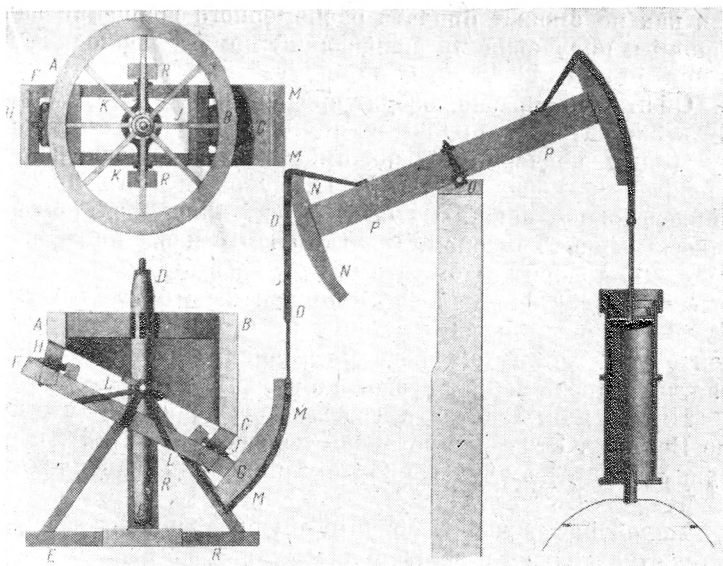


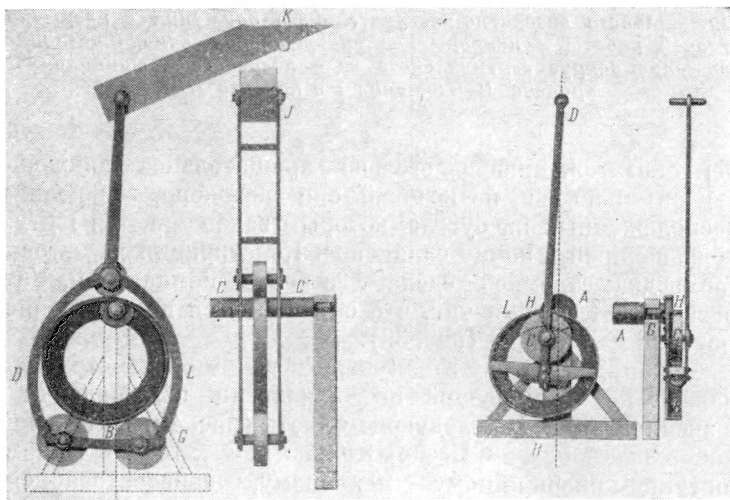
Рис. 38. Пароатмосферная машина с механизмом преобразования вертикального возвратно-поступательного движения с прерывной отдачей работы в непрерывное вращательное однонаправленное движение вокруг вертикального вала посредством фрикционного привода. Приложение 1 к патенту 1781 г.

рому катятся, приводя его во вращательное движение относительно оси, на которой оно насажено, три ролика, расположенных на бугеле, которым заканчивается шатун, подвешенный к концу балансира. Конструкция достаточно громоздка; стремясь сделать ее более компактной, Уатт располагает ролики так, что они катятся по внутренней поверхности кольца (рис. 39).

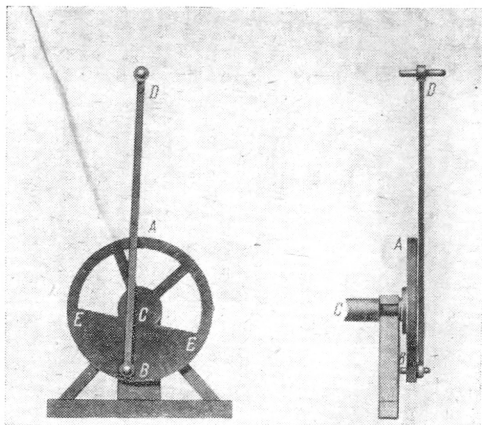
Искания Уатта не заканчиваются на этой конструкции, далеко не безупречной по технологии изготовления и в эксплуатации. На следующем листе (рис. 40) Уатт изящно обходит патент Васбру только тем, что к обычному шатунно-кривошипному механизму, запатентованному последним, добавляет противовес, получивший впоследствии самое широкое применение в локомотивных машинах и двигателях внутреннего сгорания. Казалось бы, можно успокоиться, но Уатт прекрасно понимает, что это принципиально верное решение на практике будет неудобным,

Об этом прекрасно говорят предложения Уатта, данные в том же патенте. В одном из них он сдвигает машину (нами подчеркнута значимость этого предложения, впервые примененного И. И. Ползуновым в его проекте универсальной машины 1763 г. и повторявшегося, как писалось выше, Томсоном, Фальком). Предложение Уатта (рис. 41) говорит о том, что он дважды преодолевал прерывность действия паровой машины: в патенте 1781 г. — путем сдвигания двух машин простого действия, в патенте 1782 г. — путем введения цилиндра двойного действия, о чем речь пойдет несколько ниже.

Но, обойдя патент Васбру, путем превращения возвратно-поступательного движения машины во вращательное



142



*Рис. 40. Шатунно-кривошипный механизм с противовесом.
Приложение 3 к патенту 1781 г.*

в планетарной передаче Уатт еще не реализовал всех богатых возможностей патента 1769 г. В деятельности Уатта наступил новый период, который можно легко подметить из простого сопоставления патентов 1769 и 1781 гг.

Первым из таких патентов был патент не на конструктивные решения, а на физические принципы действия паровых машин; он не был иллюстрирован чертежами или рисунками. С патента 1781 г. начинается период технической реализации патентов, который требовал от изобретателя не только творческого мышления и знания своего участка техники, не только целеустремленности, одержимости своими идеями, но и... денег. Много денег.

У Уатта денег не было. Нужно было объединяться с каким-то капиталистом, продавать единственное, чем в изобилии располагал Уатт,— свои идеи.

Покупатель на идеи Уатта нашелся по рекомендации физика Блека. Это был владелец железоделательного и механического Карронского завода доктор медицины Ребек, сменивший врачебную практику на коммерческую деятельность. Так как предполагалось осуществить перевод доменных и плавильных печей завода с древесного угля, быстро исчезающего в Англии, на каменный (с Карронским заводом были связаны каменноугольные копи, как и все

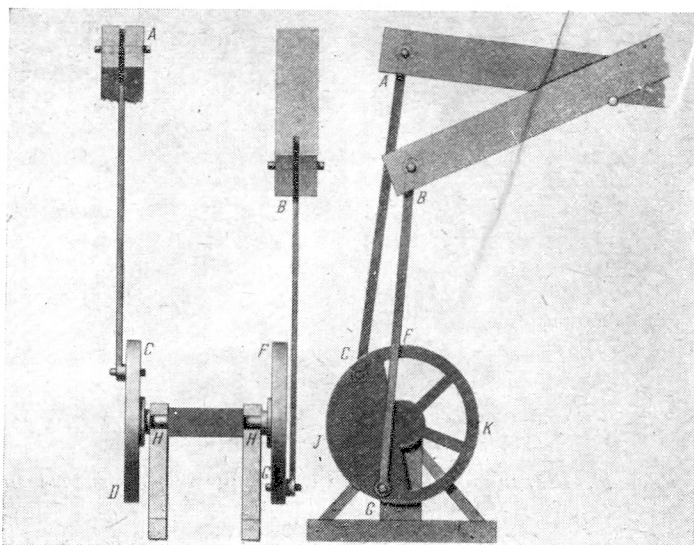


Рис. 41. Сдвоенная паровая машина; механизм привода от балансировки к валу двумя шатунами с углом между кривошипами 120° и противовесами. Приложение 4 к патенту 1781 г.

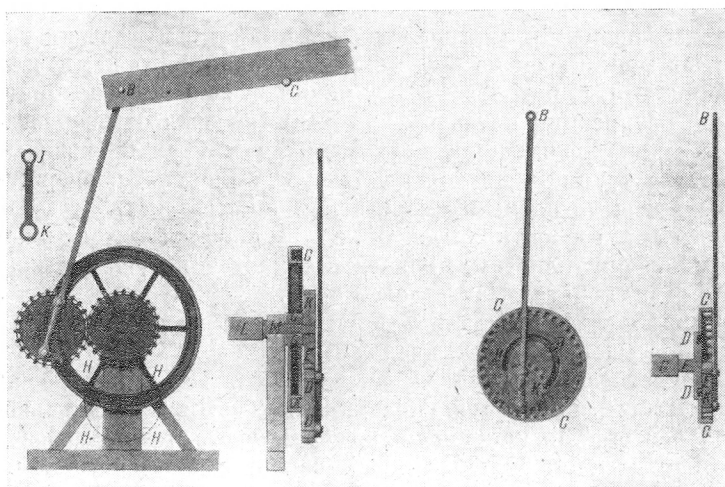


Рис. 42. Планетарное соединение шатуна машины с главным валом — техническая разработка наброска Уатта (см. рис. 37) в двух вариантах: с внешним и внутренним зацеплением. Приложение 5 к патенту 1781 г.

другие в Англии, едва справлявшиеся при помощи прожорливых машин Ньюкомена с откачиванием заливавшей их воды), Ребек был кровно заинтересован во всемерном снижении расходов на шахтный водоотлив.

Новые друзья заключили договор: Ребек, принимая все расходы по реализации проектов будущих машин (опыты, постройка), получит две трети ожидаемых от их эксплуатации доходов; Уатт, немедленно предоставляя все свои прогрессивные идеи, будет получать одну треть будущих доходов. В ожидании будущих благ Уатт, как известно, вынужден был продавать свои идеи в кредит, а чтобы пропитать семью и самого себя — работал на строительстве каналов.

Наступили трудные времена. Машина, изготовленная на Карронском заводе в сентябре 1769 г., работала скверно. В ней Уатт еще пытался применить поверхностный конденсатор. Есть данные о том, что конденсатор был неплотным и поршень пропускал пар, что вполне возможно при освоении новой машины. По-видимому, сказалось и отмеченное выше незнание закономерностей перехода тепла через стенки, в связи с чем Уатт, как было показано, сильно занижал охлаждающую поверхность конденсатора. Поскольку мелкие модели работали неплохо, Уатт, внося некоторые усовершенствования (уплотнение и непрерывная смазка поршня, применение ртутного манометра для измерения вакуума), подал заявку на свои, пока еще не оформленные конструктивно, идеи и получил известный патент 1769 г.

В эти годы в Англии начинался переходный период к капитализму, приведший к разорению ряда мануфактур. Смолл писал Уатту 11 июля 1772 г. [45, т. III, стр. 22]: «Новости, что вы послали мне, ужасны. Особенно меня пугает разорение некоторых молодых мануфактур в вашей части света. Я лично не пострадал, не пострадал значительно никто из моих друзей, но все озабочены и подавлены».

29 октября 1772 г. Смолл уведомлял Уатта из Бирмингема, что постройка коловратной машины откладывается и что, «кажется, все опасаются итогов приближающегося Рождества, и каждый считает совершенно необходимым быть готовым противостоять большему, чем обычно, требованиям».

Наконец, из письма Уатта Смоллу от 7 ноября 1772 г. видно, что кризис коснулся и его финансиста Ребека.

В этом письме впервые упоминается имя Болтона: «Подумайте над тем, что я сказал. Подумайте также что д-р Р. (Ребек.— *И. К.*) должен мистеру Болтону деньги, которые пойдут в часть стоимости, которая никогда не была столь низкой. Я очень сожалею ... но ничем помочь не могу; обстоятельства доктора обязывают его требовать еще раз, он лишается значительной части своего состояния» [45, т. III, стр. 29].

Дела обстояли неважно. Уатт чуть было не воспользовался приглашением приехать работать в Россию, где ему предлагали крупную зарплату, но Болтон (с которым уже шли переговоры о сооружении паровых машин) и его друг поэт Дарвин (дед известного Чарльза Дарвина) отговорили Уатта. Любопытно письмо Дарвина к Уатту, посланное из Личфилда 29 марта 1776 г.: «О боже, как я был напуган, когда услышал, что Русский медведь зацепил Вас своей громадной лапой и тянет в Россию! Умоляю не ездить, если только это возможно. Россия как берлога мифического Какуса: видны следы многих существ, вошедших в нее, но возвращаются лишь немногие. Я надеюсь, что ваша огневая машина оставит вас здесь» [45, т. II, стр. 82].

Поэт не ошибся. Машина, которой заинтересовался Болтон, побудила Уатта остаться в Англии.

Ребека сменил Мэтью Болтон, владелец крупного металлообрабатывающего завода в Сохо, годичный оборот которого в 1762 г. составлял 30 000 фунтов стерлингов, легко перенесшего депрессию, перед которой не устоял Ребек.

Болтон отчетливо оценивал перспективы универсального двигателя и на письмо Уатта, желавшего поддержать Ребека, о том, чтобы привлечь Болтона в качестве третьего компаньона с предоставлением ему права производить паровые машины для трех графств Англии (Варвик, Стаффорд и Дерби), отвечал: «План, который мне представлен, так отличен от того, который я себе составил, что я не могу считать себя человеком, подходящим для его выполнения. Моя мысль состояла в том, чтобы организовать завод рядом с моим на берегу канала, который я снабдил бы всем необходимым оборудованием, потребным для сооружения паровых машин, и который строил бы для всего мира машины любых размеров. Изготавливать их только для трех графств — игра, не стоящая свеч, их нужно строить для всего света» [102, стр. 52].

В письме к Уатту, написанном в июле 1776 г., Болтон выставил 11 пунктов будущего договора.

1. Как и Ребеку, две трети доходов принадлежат Болтону.

2. Болтон оплачивает все расходы по испытаниям.

3. Болтон строит склад для продажи машин.

4. Выгоды от торговли машинами после расходов на зарплату делятся на три части: две — Болтону, одна — Уатту.

5. Уатт изготавливает все чертежи и руководит работой.

6. Болтон заботится о ведении книг с ежегодным балансом.

7. Книги записей доходов подписываются обоими компаньонами.

8. Расходы каждого согласуются с другим.

9. Договор имеет силу на 25 лет с 1 июня 1775 г. (в соответствии с продлением срока патента до 1800 г. — *И. К.*).

10. Наследники и душеприказчики обязуются соблюдать контракт.

11. В случае смерти обоих компаньонов наследники не изменяют договора.

Конечно, Уатту незачем было теперь ехать в «лапы Русского медведя». Его дело попало в надежные руки деятельного и дальновидного предпринимателя, в лице которого развивавшийся капитализм выходит за пределы своей страны и кладет начало будущим международным концернам и трестам.

А Уатт продолжает усовершенствование уже лучшей в мире паровой машины, но пока еще частного назначения.

Его достижения в этом вопросе определяются в значительной степени его патентом, полученным в марте 1782 г. на «некоторые новые улучшения паровых и огневых машин для подъема воды и для других механических надобностей, и на некоторые новые детали механизмов, применимых для этой цели».

«Мое первое новое улучшение, — писал Уатт, — в паровых, или огневых, машинах состоит в пуске пара в цилиндр или паровой сосуд машины только в течение некоторой части или порции подъема или опускания поршня в упомянутом цилиндре и использования упругой силы, так как упомянутый пар расширяется сам по себе, в стремлении занять большое пространство, и является действующей

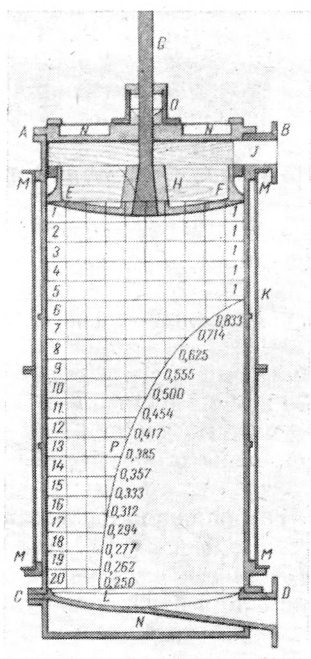


Рис. 43. Расширение пара в цилиндре при отсечке впуска на 0,25 хода поршня при начальном давлении 1 ата и конечном 0,25 ата. Чертеж Уатта. Приложение к патенту 1782 г.

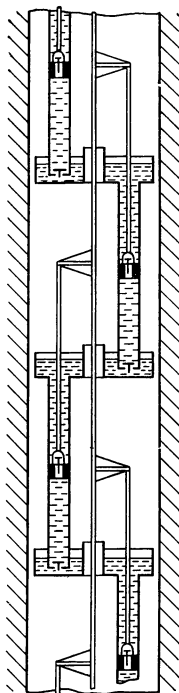


Рис. 44. Схема установки шахтных насосов (по Белидору, 1737 г.)

на поршень силой во время его движения по другой части хода упомянутого поршня».

Далее Уатт ссылается на то, что при расширении пара усилие на поршень будет не постоянным, и предлагает целый ряд устройств для его выравнивания. Что касается процесса расширения, то Уатт с большой научностью демонстрирует его на основе проведенных им опытов (рис. 43). Для определения характера расширения пара в цилиндре паровой машины Уатту пришлось сконструировать и ввести в употребление индикатор — прибор, измеряющий давление пара в процессе расширения. Уатт с исключительной точностью определил практическое зна-

чение степени расширения пара в условиях его времени (начальное давление порядка одной атмосферы). Теоретически максимум теплоиспользования в процессе превращения тепла в работу будет при давлении пара, характерном для конца расширения и равном давлению в конденсаторе. Но на практике расширение не ведется так глубоко, по двум существенным соображениям: 1) необходим некоторый перепад давлений для выброса пара в конденсатор в конце хода поршня; 2) с уменьшением наполнения цилиндра сильнее сказываются потери на теплообмен между паром и стенками цилиндра. Наполнение в 25 %, принятое Уаттом, следует считать исключительно удачным. Удачным с позиций теплоиспользования, с позиций снижения удельного пара и топлива. Это — много, но к сожалению, не все.

Машина должна работать бесперебойно, приводя в действие рабочую машину, которой в данном случае являлся шахтный или рудничный насос простого действия, т. е. такой насос, у которого только одно направление движения поршня было рабочим. Конструкторы насосов тех дней проектировали прекрасные насосы двойного действия, но их невозможно было соединить с двигателем. Высота всасывания теоретически не может быть больше 10 м, а практически — 6—8 м. Глубины шахт и рудников достигали 100 м. Следовательно, с такой глубины большую часть подъема необходимо было осуществлять путем нагнетания, для чего насос устанавливался в шахте или руднике на глубине, равной полной высоте подъема минус высота всасывания, т. е. практически на глубине порядка 60—80 м. При конном или гидравлическом приводе насос приводился в движение посредством длинной деревянной штанги (рис. 44) длиной 150 футов (примерно 30 м), которая удовлетворительно работала на растяжение, поднимая вверх поршень насоса (рабочий ход), но из-за своей длины не могла работать на продольный изгиб. Многолетняя практика подсказала решение: строить только насосы простого действия, где штанга нагружена при рабочем ходе поршня (вверх) и не нагружена при холостом ходе поршня (вниз).

При использовании машины без расширения пара (машина Ньюкомена) постоянное усилие на штангу насоса прекрасно соответствовало постоянному усилию на поршень паровой машины.

Уатт ввел расширение пара. Теперь гармония усилий явно нарушалась (рис. 45). При постоянном усилии на поршень (разницей усилия за счет высоты подъема поршня насоса можно пренебречь) усилие на поршень машины становится переменным. Скорость движения системы во время подъема воды не будет постоянной. Возникает необходимость как-то компенсировать неравенство усилия на поршень двигателя при равном усилии на поршень насоса. И Уатт разрабатывает серию технических решений.

Первое из них дано на полном чертеже новой машины с расширением пара (рис. 46). Исключительно сложное решение!

Для понимания его надобности и действия рассмотрим изменение рабочего усилия между поршнем и штангой насоса. При рабочем ходе машины, когда осуществляется подъем воды, ее полость (нижняя, рабочая) соединена с конденсатором и давление в ней меньше атмосферного, предположим, вдвое, как имело место у «старых инженеров». Над поршнем — постоянное давление котельного пара, равное одной атмосфере. Рабочее давление, действующее на поршень, является разностью давлений над и под поршнем; в нашем примере оно равно $0,5 \text{ атм}$ и постоянно за все время хода поршня (см. рис. 45, А). Холостой ход машины осуществляется силой веса насосной штанги и поршня. Это усилие (кроме сопротивлений трения, которые мы не рассматриваем) должно преодолеть разность давлений пара над и под поршнем. У машин без расши-

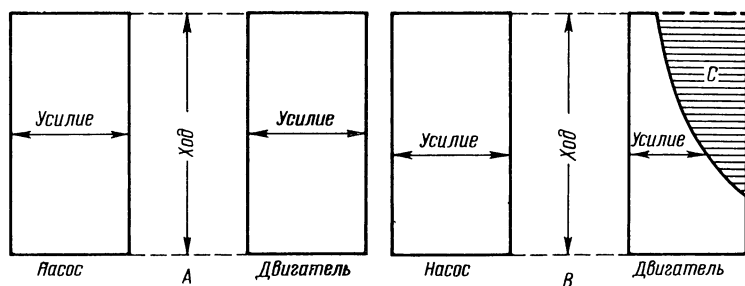


Рис. 45. Схема распределения усилий на поршне парового цилиндра пароатмосферного двигателя с расширением пара, показывающая возникновение потребности в компенсации: А — без расширения пара, В — с расширением пара, С — область компенсации

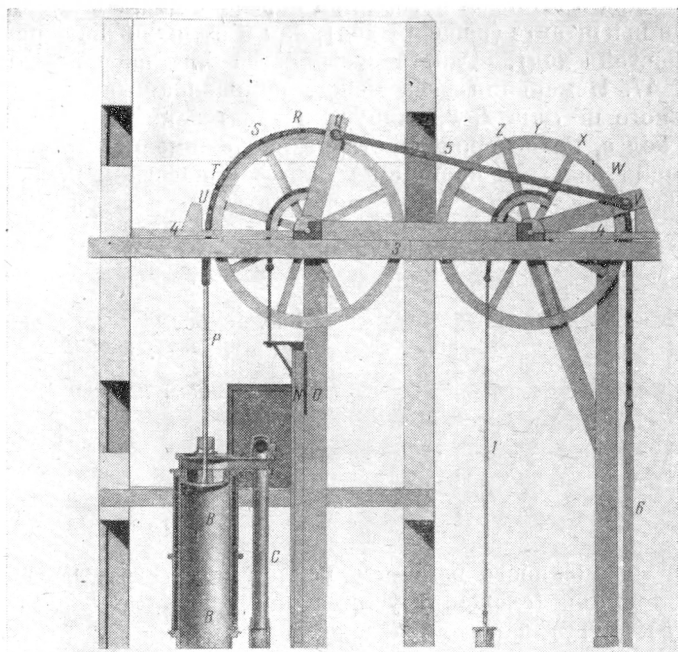


Рис. 46. Чертеж водоотливной машины с расширением пара и компенсационным устройством, приложенный Уаттом к патенту 1782 г.

рения эти давления равны. Одна атмосфера над, другая — под поршнем, в результате рабочее давление равно нулю и вес штанги легко поднимает поршень вверх. Но Уатт ввел расширение пара. Соотношение изменяется (см. рис. 45, В). Начиная с $\frac{1}{4}$ хода поршня вверх выпуск пара в нижнюю полость прекращается, и там идет процесс расширения, а так как он проходит в область вакуума, то штанге насоса приходится преодолевать усилие, получающееся вследствие разности давлений над и под поршнем.

Поскольку при наличии балансира или двух колес, соединенных ведущей цепью, усилия как от поршня к насосу, так и обратно передаются без изменения, возникает неравномерность движения. Чтобы ее компенсировать, Уатт вводит устройство, изменяющее усилия между поршнем

цилиндра и штангой насоса при передаче движения как от поршня к штанге (рабочий ход), так и от штанги к поршню (холостой ход). Работа устройства видна на схеме рис. 47. Изменения угла между направлениями соединительного шатуна 1, 2, радиуса и касательной к окружности колес, по которой действует натяжение цепей, соединяющих колеса с поршнем машины и насосной штангой,

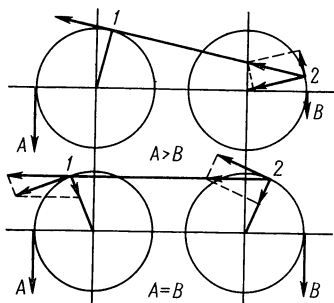


Рис. 47. Схема распределения усилий в компенсирующем механизме Уатта, представленном на рис. 46

дают возможность изменять усилия по известным законам техники (сложение усилий, направленных под углом друг к другу), как это показано на рис. 47.

Уатт не удовлетворен единственным решением задачи о компенсации неравномерного усилия на поршень двигателя как следствия расширения пара.

Он предлагает конструкцию из балансиров (рис. 48), где левый балансир соединен с поршнем двигателя, а продолжение балансира специальной тягой приводит в движение балансир, на дуге которого подвешена цепь, ведущая к насосной штанге. Из рисунка видно, что в верхнем положении поршня двигателя и соответственно в нижнем положении поршня насоса тяга составляет с хвостом насосного балансира угол, равный примерно 45° . При опускании левого балансира этот угол будет расти, а следовательно, будет расти и усилие, передаваемое двигателем.

Оригинальный вариант компенсатора дан в этом же патенте Уатта (рис. 48, внизу). Здесь гибкая цепь, передающая движение от колеса машины к колесу насоса (и обратно), набегает на спирали, сооруженные на каждом из этих колес. На рисунке левый конец цепи находится от центра колеса на расстоянии его радиуса, а правый конец, набегавший на спираль, — на расстоянии, вдвое меньшем.

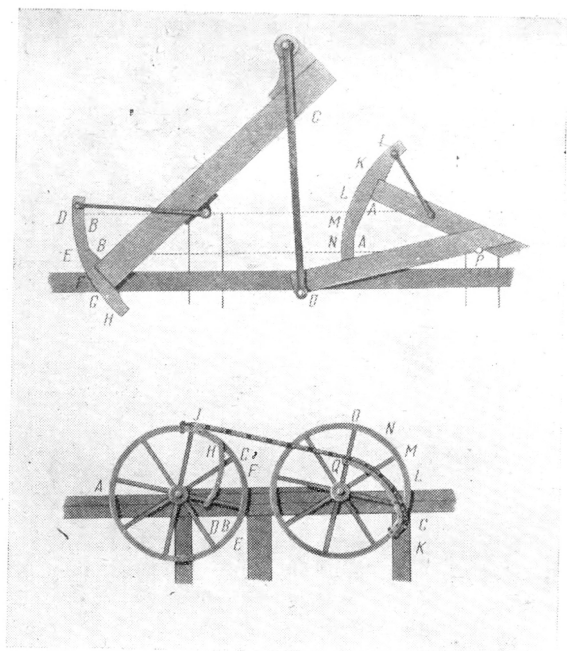


Рис. 48. Компенсаторы в виде связанных балансиров и спиральных поверхностей опоры каната. Приложение Уатта к патенту 1782 г.

При вращении колес против часовой стрелки рабочие радиусы концов соединительной цепи будут изменяться: на левом колесе — уменьшаться, на правом — возрастать. Нетрудно представить себе изменение соотношения между рабочими радиусами соединительной цепи и при обратном вращении колес приводной системы.

На следующем чертеже своего патента Уатт снова переходит от колес к балансирам (рис. 49), но меняет цапфовое соединение на катящееся. Во-первых, меньше трения; во-вторых, изменение соотношения усилий на штангах машины и насоса достигается изменением не только углов, но и путем изменения плеч рычагов при перекачивании точки соединения. В данном случае с уменьшением усилия пара при расширении резко возрастет плечо рычага между центром качания балансира насоса и роликом,

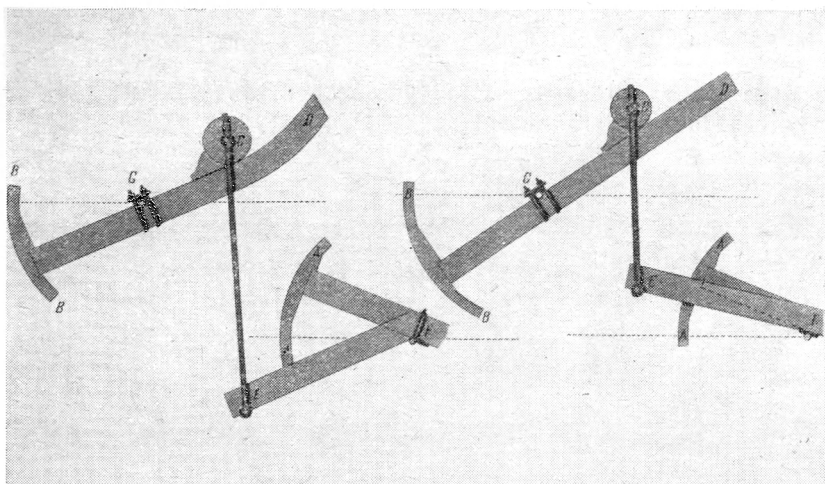


Рис. 49. Компенсационные устройства в виде комбинации балансиров с катками, перемещающими точку приложения усилия. Приложение к патенту 1782 г.

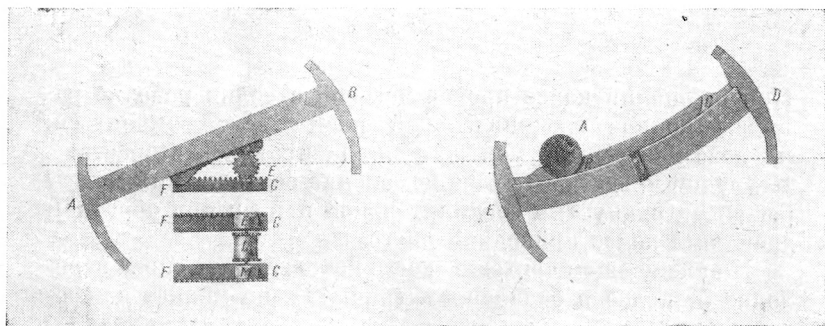


Рис. 50. Компенсационные устройства с изменением плеч балансира, катящегося по зубчатой рейке, и с применением компенсационного груза, перемещающегося по балансиру. Приложение к патенту 1782 г.

что в состоянии компенсировать возрастающую разность усилий и сохранить плавность движения системы.

Уатт как бы играет в интересную игру, придумывая все новые и новые системы компенсации. Но это — творческая игра. Читатель без труда может увидеть, не будучи даже механиком по специальности, как от идеи к идее упрощается конструкция компенсирующего привода.

Сравните рис. 50 с рис. 49. Как просто: или катящийся по балансиру груз (см. рис. 50, справа) компенсирует разность усилий, или сам балансир (см. рис. 50, слева) меняет точку качаний, перекатываясь по зубчатому ролику.

Но Уатт предлагает еще более упрощенные варианты компенсаторов (рис. 51). На одном из них (рис. 51,верху) намечены две возможности компенсации — для колеса и для балансира — за счет правильного расположения уравнивающего груза. Сопоставьте с предыдущими рисунками. Здесь нет ни гибких цепей, ни тяг, ни роликов, ни зубчаток, ни катящихся грузов. Обычные колеса, обычные балансиры, только несущие неподвижные грузы.

Проще уже некуда. Ведь дальнейшее упрощение вернет мыслителя к простому балансиру без каких-либо добавлений. Уатт к нему и возвращается (рис. 51, внизу). Самый обыкновенный балансир. Ни тяг, ни рычагов, ни цепей, ни спиралей, ни катящихся грузов. Но тогда чем же производится компенсация? Грузом, но в качестве груза взят сам балансир. Перенесите центр тяжести балансира вверх, и он сам будет играть роль груза, показанного на верхнем рисунке. Как просто!

Нет, не просто, если проследить за путями творческой мысли Уатта, иллюстрацией к которой может служить серия приведенных нами рисунков, заимствованных из его патента (см. рис. 48, 49, 50, 51, 52). К чести Уатта как конструктора следует отметить, что он не просто нашел верное решение вставшей перед ним задачи (верным было и самое первое — см. рис. 48) — он нашел наилучшее решение.

Да, наилучшее в сфере применения твердых тел. Но уже во времена Уатта знали и о жидкостях. Почему не привлечь жидкость к решению интересной задачи?

И Уатт сделал это. Два цилиндра с поршнями (рис. 52) соединены между собой сверху балансиrom машины, а внизу лотком, по которому вода может переливаться из одного цилиндра в другой в зависимости от положения и движе-

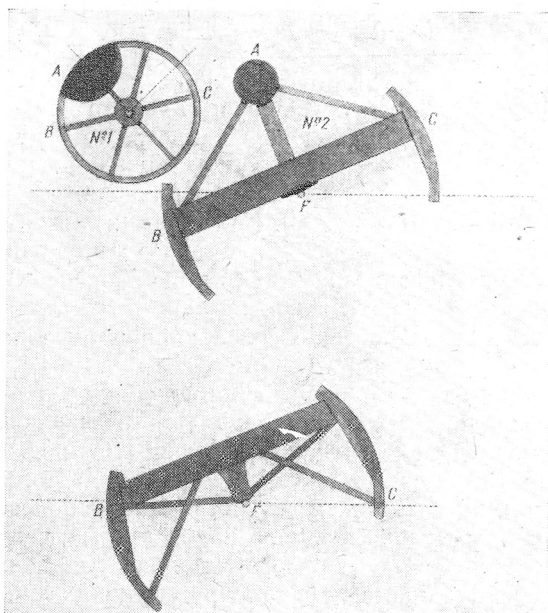


Рис. 51. Компенсационные устройства с противовесом и с перемещением вниз точки качания балансира. Приложение к патенту 1782 г.

ния поршней. При опускании, например, левой стороны балансира возрастающее количество воды над левым поршнем даст левой стороне балансира недостающее усилие.

Итак, предложив расширение пара как средство снижения его удельного расхода, Уатт одновременно в том же патенте дает целую серию компенсаторов неравномерной отдачи работы, вызванной расширением пара. Для передачи рабочего усилия от машины к насосу или обратно без преобразования в иные формы движения при расширении пара компенсаторы были существенно необходимы. Позднее, когда машина с вращательным движением вала начала свое победоносное шествие в энергетике, насосы стали приводить в движение от кривошипов, насаженных на вал машины, и необходимость в компенсации отпала. Однако во второй половине XIX в. снова возникла потребность в компенсации в связи с конструкцией так называемых

прямодействующих насосов, у которых поршни паровой машины и насоса сидели по концам общего штока. Одно из лучших решений задачи компенсации насосов прямого действия было дано в 1897 г. инж. В. Г. Шуховым, впоследствии почетным академиком Академии наук СССР [108].

Самым существенным в патенте 1782 г. было второе «улучшение» паровых машин, о котором Уатт писал:

«Мое второе улучшение паровых, или огневых, машин состоит в использовании упругой силы пара для того, чтобы двигать поршень вверх, а также прижимать его вниз попеременно путем создания вакуума над или под поршнем и одновременно используя действие пара на поршень в том конце или части цилиндра, из которой не происходит выхлопа пара; машина, сконструированная таким образом, может дать двойное количество работы или развить двойную мощность в одно и то же время (с цилиндром равных размеров) по сравнению с машиной, в которой активная сила пара действует на поршень только в одном направлении — либо вверх, либо вниз».

Для пояснения своего предложения Уатт прилагает чертеж машины (рис. 53), по которому он дает подробное разъяснение последовательных положений клапанов и поршня при работе пара в обоих направлениях.

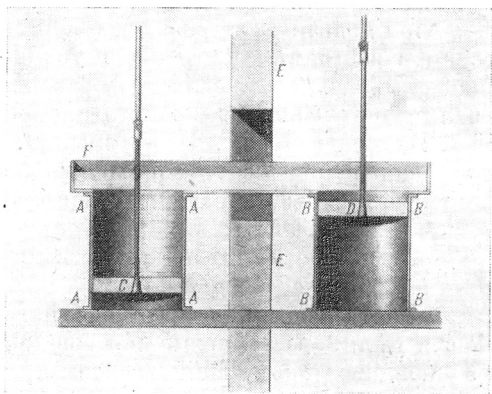


Рис. 52. Компенсационное устройство с передачей усилия то на одно, то на другое плечо балансира путем переливания воды из одного цилиндра в другой по соединяющему их лотку. Приложение к патенту 1782 г.

Как уже отмечалось, многие авторы эту машину «двойного действия» считали главным вкладом Уатта в развитие парового двигателя. Еще бы! Вдвое больше мощности в цилиндре тех же размеров. Впоследствии в цилиндрах тех же размеров стали получать мощность, в десять (и выше) раз большую, повышая давление пара. При оценке современниками достижения Уатта в этой области сказывалась ограниченность суждений, привычных к «атмосферическим» машинам, где при постоянстве атмосферного давления основным фактором мощности были размеры цилиндров. Другой резерв увеличения мощности в цилиндре тех же размеров — повышение числа оборотов — стал использоваться позднее. Однако и часть авторов более близкого к нам времени упорно считала «двойное действие» главным в изобретательской работе Уатта. Конечно, оно имело значение для более легкого получения вращательного движения, но эта проблема была уже решена Уаттом в предыдущем патенте, где он предлагал машину с двумя цилиндрами. Однако введение двойного действия потребовало решения ряда конструктивных задач.

В машине простого действия поршень был связан с балансиром гибким звеном, обычно цепями самой разнообразной конструкции. Такую цепь можно видеть и на рис. 36, как в правой части балансира в соединении с насосной штангой, так и слева от центра качания. Но цилиндр двойного действия уже нельзя было связать с поршнем гибкой цепью, которая в состоянии передавать усилие только в одном направлении.

И Уатт заимствует решение далекого прошлого — звездочки и рейка Папена (см. рис. 8), которые в руках опытного механика превращаются в конструктивно приемлемый зубчатый сектор балансира и соединенную с ним зубчатую рейку. Рейка была для Уатта только паллиативом, и ему пришлось еще много поработать, прежде чем он нашел удовлетворившее его решение.

Из чертежа Уатта ясно видно, что верхняя и нижняя рабочие полости цилиндра попеременно соединяются то с котлом, то с конденсатором. Нашла свое применение и планетарная передача.

Третье улучшение в патенте 1782 г. сводится к применению центрального конденсатора для группы паровых машин. Это конструктивное решение позднее широко применялось в паросиловых установках заводов и электриче-

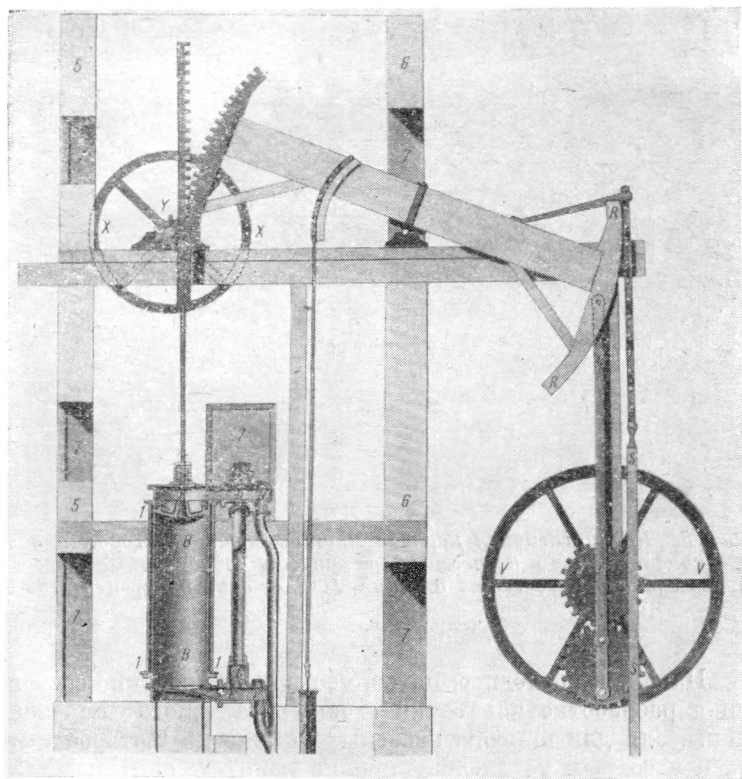


Рис. 53. Универсальный паровой двигатель двойного действия с зубчатой рейкой и планетарным соединением шатуна с валом машины. Приложение к патенту 1782 г.

ских станций вплоть до XIX в., пока паровые машины не начали вытесняться паровыми турбинами и электрическими двигателями.

Четвертое улучшение заключалось в применении уже показанного (см. рис. 53) зацепления зубчатого сектора балансира с зубчатой рейкой (что решение впоследствии было пересмотрено Уаттом и привело его к широко известному параллелограмму, о котором будет сказано ниже.

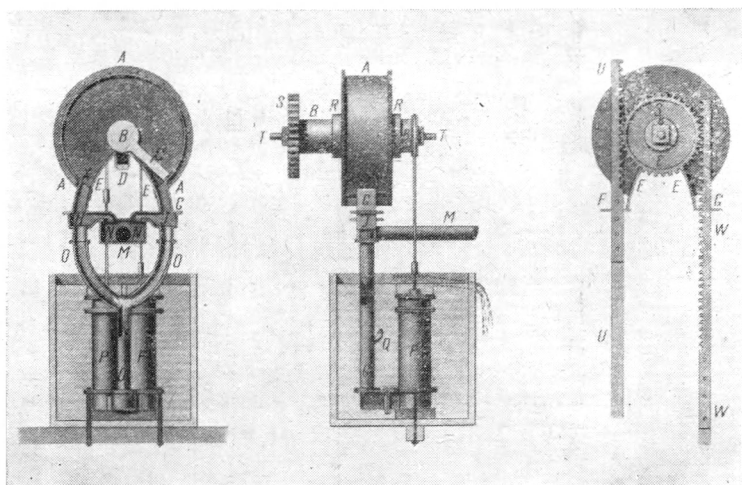


Рис. 54. Полуротативная паровая машина с конденсатором и двумя конденсатными насосами для привода водоотливных насосов через зубчатую шестерню и рейки. Приложение к патенту 1782 г.

Наконец, последнее, пятое, усовершенствование состояло в разработке конструкции полуротативного парового двигателя для привода насосных установок. Интерес Уатта к насосным установкам вполне понятен: они представляли прямой источник большого дохода для компаньонов новой промышленной фирмы «Уатт и Болтон». Предложен-

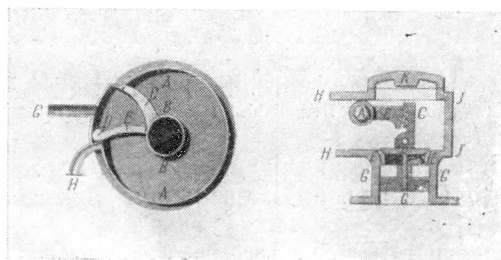


Рис. 55. Ротативная паровая машина. Приложение к патенту 1782 г.

ное Уаттом устройство (рис. 54) интересно тем, что здесь полуротативная машина соединена с конденсатором так, что при поступлении пара с одной стороны крыльчатого поршня другая сторона соединялась с конденсатором. Это — крыльчатая машина двойного действия, очень портативная, компактная, и если она не получила широкого распространения, то только из-за сложности точного изготовления ее рабочего цилиндра и крыльчатки. С развитием технологии машиностроения эту конструкцию можно было бы сделать очень удобной, но к этому времени она потеряла свое значение: ее заменили паровые насосы прямого действия, упомянутые выше.

Как будто паровая машина окончательно оформилась как универсальный двигатель, но предстояло еще два шага: первый — это введение еще ряда усовершенствований и второй — осознание нового двигателя как двигателя универсального. Оно пришло к Уатту только в его патенте 1784 г., на который ссылается Маркс, вводя в научный обиход определение: **универсальный двигатель**.

Последнее, на чем остановился Уатт в патенте 1782 г., это уже известная читателю ротативная «коловратная» машина (рис. 55).

«...Двигатель, универсальный по своему техническому применению и сравнительно мало зависящий от тех или иных условий места его работы»

Название этой главы взято из определения К. Маркса. Это определение он связывает с патентом Уатта, полученным в апреле 1784 г. Предложение, помещенное в нашем заголовке, продолжается уже цитированными нами словами: «Великий гений Уатта обнаруживается в том, что в патенте, который он получил в апреле 1784 г., его паровая машина представлена не как изобретение лишь для особых целей, но как универсальный двигатель крупной промышленности» [1, стр. 389].

Начальный период развития теплоэнергетики, завершившийся становлением универсального двигателя, имел три последовательных этапа своего развития. Первый этап: двигатель конструктивно связан с рабочей машиной-насосом. Это вытеснительные водоподъемники Севери, где один и тот же сосуд является и паровой машиной, и конденсатором, и насосом. Второй этап: двигатель конструктивно отделился от рабочей машины-насоса, но связан с ней общностью рабочего цикла, не в состоянии работать сепаратно и, кроме того, не имеет выделенного существенно важного звена — конденсатора. Это балансирные насосные установки Ньюкомена, Поттера, Тривальда. Третий этап: универсальный двигатель. На подступах к этому завершающему этапу Уатт сначала почти втрое увеличил экономичность двигателя путем введения отдельно конденсатора. Возникла «усовершенствованная» машина Ньюкомена. Уатт ввел двойное действие, чем сократил вес двигателя на единицу развиваемой мощности.

Двойное действие облегчило применение механизмов преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное при помощи планетарной передачи и маховика.

Универсальный двигатель был уже готов.

Но мы не располагаем данными, которые говорили бы нам о том, что Уатт с самого начала понимал всю значимость своего изобретения. Скорее, это понимал Болтон, что можно было уже увидеть из его ответа Уатту по поводу производства машин для трех графств, приведенного выше.

Еще более отчетливо по этому вопросу говорят английские исследователи деятельности Уатта, указывая на то, что Уатт «недальновидно верил в то, что насосная машина еще представляет наиболее доходное поле деятельности», а Болтон «чувствовал положение и твердо настаивал, чтобы Уатт разработал машину с вращательным движением, потому что область применения насосных установок была ограниченной». Болтону поле применения машин с вращательным движением представлялось безграничным, и поэтому, видимо, он, как мы уже знаем, был намерен фабриковать их для всего света [9].

Он не просто «чувствовал положение», но, бывая в промышленных центрах Англии, беседуя с деловыми людьми, промышленниками, знал, о чем писать, когда сообщал Уатту, что «в Лондоне, Манчестере, Бирмингеме люди сходят с ума по паровой машине. Я не тороплю вас, но думаю, что через месяц-два мы должны взять патент на какой-нибудь метод для получения вращательного движения». Конкретизируя свои наблюдения, он замечал, что «наиболее подходящее направление для распространения наших машин — это применение на мельницах, которое действительно является обширным полем деятельности» [21].

С успешным завершением реконструкции «улучшенных» машин Ньюкомена Уатт, удовлетворенный доходом в виде одной трети средств от экономии топлива, держался иной точки зрения, «был удовлетворен своей машиной. Он хотел направить всю энергию на распространение его насосной машины и снова и снова советовал своему другу Болтону оставить все новые проблемы для молодых людей, которым нечего терять: ни денег, ни репутации» [43].

Урок Болтона пошел впрок. Уатт уже не ограничивался в помыслах тремя графствами, но оставлять работу теплотехника ради работы механика, иначе говоря, оставить исследования по снижению расхода пара с тем, чтобы перейти на конструирование машины с вращательным движением вала, ему явно не хотелось, и он раздраженно отвечал Болтону, что «воистину бодрствует дьявол вращательного движения». Но Болтон был настойчив. И, как мы видели, под влиянием советов Болтона Уатт конструирует привод от насосной машины к вертикальному валу мельничного постава (см. рис. 38).

Но мельничный привод все же частное назначение парового двигателя. Предстояла задача отделить двигатель от рабочей машины, сделать его товаром, поступающим на склад завода, говоря словами Маркса, превратить его в двигатель, универсальный по своему техническому применению.

Идея такого двигателя жила в раздумьях Уатта, но он возвращался к ней неоднократно только как к некоторой передышке ума от постоянных мыслей о тепловом совершенстве процесса парового двигателя. Это — идея коловратного двигателя. Этой идеей он заканчивает пункты патента 1782 г., этой идеей он начинает патент 1784 г., когда, как это видно из текста патента, понимание принципа универсальности по техническому применению было им усвоено, записано в развернутой форме в тексте патента, что дало Марксу материал для утверждения о том, что Уатт изображает паровую машину не как изобретение лишь для особых целей, но как универсальный двигатель крупной промышленности.

Обратимся к тексту и чертежам этого исторического патента 1784 г.

Текст патента начинается с описания устройства и действия новой машины с вращательным движением, но это уже не «коловратная» машина, а паровая турбина. Уатт явно поторопился с изобретением паровой турбины, правда, не в такой сильной степени, как Д. Бранка [12], предложивший паровую турбину в 1629 г. Поскольку турбина Бранки была активной, Уатт имел предшественника, относящегося к еще более древним временам, — знаменитого Герона Александрийского [31, 32], предложившего свой эолипил — предшественника будущих реактивных паровых турбин.

Для неспециалистов напомним, что в активной турбине струя пара (или иной среды) активно действует на лопатки турбинного колеса, а в реактивной последнее вращается за счет струи пара, покидающей лопатки. «Колловратные» же машины являются, несмотря на иную внешность, ближайшими родственницами поршневых паровых машин, в которых потенциальная энергия давления пара предварительно не преобразуется в скоростную энергию струи.

Вот что писал о реактивной паровой турбине Уатт в патенте 1784 г.:

«Мое первое новое усовершенствование паровой или огненной машины состоит в таком устройстве парового сосуда, что он может вращаться вокруг стержня или оси в горизонтальном или вертикальном положении за счет использования упругости пара для давления на поверхность какой-либо вязкой среды или жидкости, содержащейся в сосуде, и побуждать ее проходить через отверстия или щели, сделанные по окружности наружной части парового сосуда таким образом, что жидкость будет выходить в направлении, касательном к окружности той части парового сосуда, где расположены отверстия, или по крайней мере по линии, близкой к касательной; и эта жидкость, действуя на жидкость, в которую погружен паровой сосуд, заставит машину вращаться».

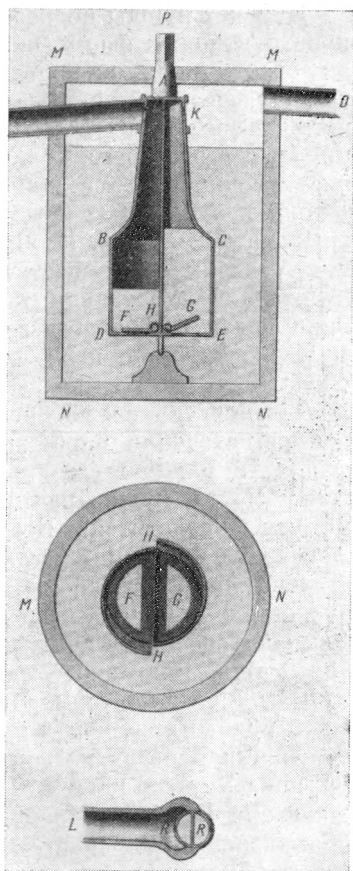


Рис. 56. Патентный чертеж реактивной паровой турбины, представленной Уаттом в патенте 1784 г.

Нам нет нужды подробно останавливаться на описании конструктивных форм (рис. 56) идеи Уатта: как шар входит сверху в одну из половин его турбины и заставляет находящуюся в ней воду выходить по касательной к окружности, на выступах $H - H$, создавая вращательное движение, как в это время вода во второй половине сосуда, теперь соединенного с конденсатором, будет подниматься, заполняя эту часть сосуда через ясно видный на рисунке крыльчатый клапан. Изображенная на рисунке конструкция, если бы ее осуществить, работать бы, к сожалению, не стала. И Уатта винить в этом никак нельзя. Еще не пришло время больших скоростей, оборотов, время динамики, когда стало ясно, что машина Уатта неработоспособна.

Турбина по своей природе — двигатель высоких скоростей истечения пара, высоких оборотов, которому для работы с наилучшим к.п.д. в условиях одной ступени, как у Уатта, нужно развивать десятки тысяч оборотов в минуту. Разлетится? Бесусловно. На мелкие кусочки. А если ее подтормаживать так, чтобы терпела, не разлеталась? Тогда согласно законам природы вода внутри вращающегося цилиндра расположится на периферии сосудов. Центробежные силы нарушат все стройное измышление Уатта, пригодное только для десятков оборотов в минуту. А если подтормозить еще сильнее? Тогда к.п.д. турбины будет ниже, чем у старушки — машины Ньюкомена, где цилиндр играл по совместительству роль конденсатора, пока Уатт не нашел для него отдельное штатное место в системе паровой установки.

«Коловратная» машина была старушкой от рождения, паровая турбина еще не имела почвы для технического воплощения.

Существовал единственно возможный путь, которым Уатту, как и упоминавшимся его современникам, пришлось заняться вплотную: трансформировать возвратно-поступательное движение поршня паровой машины во вращательное однонаправленное, равномерное движение ее рабочего вала.

Но Уатт уже сделал это? Не совсем. Он, как и в случае с компенсаторами, рассмотренными в предыдущей главе, не был удовлетворен своим первым решением, на которое его вынудили, с одной стороны, настойчивость Болтона, а с другой — его прогрессивное решение об ис-

пользовании двух полостей цилиндра, значительно облегчившее задачу получения равномерного вращения при маховине умеренной массы.

Но это же прогрессивное решение поставило перед Уаттом задачу передачи мощности от возвратно-поступательно движущегося поршня к возвратно-качательно движущейся дуге балансира.

Конечно, проще всего было совсем отказаться от балансира. Но не следует забывать, что всякое новаторство, по меткому определению М. Горького, состоит в преодолении не только материи, но и традиций. Через балансирную традицию Уатт переступить не смог. Стоит ли винить его в этом, если даже в 1876 г. на филаделфийской промышленной выставке в США Корлисс демонстрировал гигантскую по мощности для того времени паровую машину в 2500 л. с., снабженную изящно очерченным балансиром [95].

Закономерное проявляется в случайном, конкретном. Безбалансиры машины возникали еще тогда, когда их выполнение было преждевременным, как преждевременна была реактивная турбина Уатта, в которой он ошибочно полагал, что вращение его сосуда будет вызвано «действием» воды на воду, содержащуюся во внешнем сосуде. Ведь только в 1881 г. Н. И. Кибальчич предложил аппарат для использования реакции струи. Только в начале XX в. К. Э. Циолковский отчетливо понял, что реактивный двигатель не нуждается во внешней среде, предложив межпланетные ракеты.

Но традиционный балансир заставил Уатта немало поработать над решением задачи соединения его с прямолинейно движущимся поршнем машины. Первое решение уже запатентовано в предыдущем патенте, это доведенные до технического совершенства рейка и шестерня Д. Папена.

Нет, Уатт не удовлетворен решением Папена, хотя и в исполнении такого механика, как он сам: трение, удары, износ, а возможно, и поломки зубьев зацепления неизбежны.

И в своем втором усовершенствовании патента 1784 г. Уатт предлагает целую серию устройств для соединения балансира с поршнем, способных и тянуть, и толкать — действовать в разных направлениях.

«Мое второе усовершенствование паровых машин

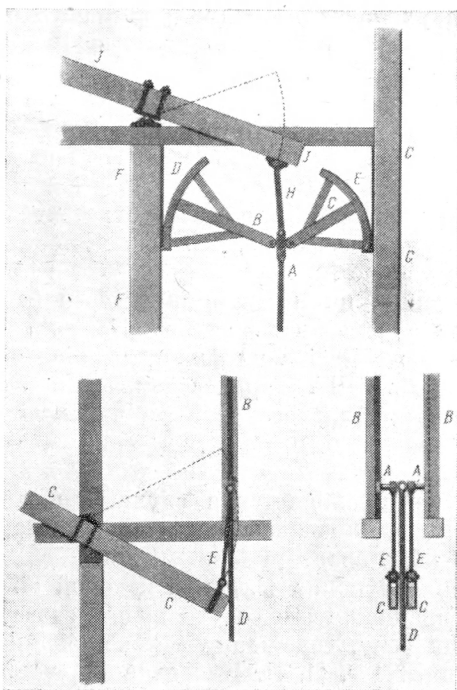


Рис. 57. Два способа соединения прямолинейно движущегося штока цилиндра с концом балансира, описывающим дугу окружности: посредством секторов и посредством ползуна, движущихся по направляющим. Приложение к патенту 1784 г.

(здесь Уатт впервые опускает «и огневых». — И. К.) состоит в способах спрямления движения поршневого штока, насосного штока и других частей.

Сначала Уатт предлагает катящиеся по неподвижным вертикальным стойкам секторы, центры которых соединены между собой и с концом поршневого (или насосного) штока (рис. 57). В этой конструкции, очевидно, точка А всегда будет двигаться по вертикали, угол же между вертикалью и тягой Н, соединенной с концом балансира, будет меняться в соответствии с положением последнего. Конструкция основана на строгих геометрических началах, но Уатт не удовлетворен ею, возможно, потому, что конструкция достаточно сложна.

В своем втором варианте (рис. 57) Уатт приходит к современному решению: применению так называемых направляющих, которые выполнены в варианте в виде двух вертикальных брусков с вырезами, по которым скользят ползуны, не дающие соединенному с ними штоку отклоняться от строго вертикального направления. Одна пара направляющих для машинной части балансира, другая для насосной — и задача решена.

Но и это решение не удовлетворяет пытливый разум конструктора. Он разрабатывает и предлагает систему рычагов, которая обессмертила его имя под названием «параллелограмм Уатта». Конструктивно различают «неполный» и «полный» параллелограммы [27, стр. 430—431]. Идея неполного параллелограмма состоит согласно патентным чертежам Уатта (рис. 58) в том, что два рычага качаются «навстречу» друг другу. Один укреплен на конце балансира, другой — на раме машины. Концы рычагов соединены тягой $C — E$, от средней точки D которой идет к поршню шток L . Конец соединительной тяги одним концом E движется по дуге окружности с центром, лежащим слева, а другим концом C — по дуге окружности с центром, лежащим справа. Взаимное влияние этих двух движений заставляет середину тяги $E — C$ двигаться по траектории, близкой к прямой вертикали. У полного параллелограмма концы балансира машины и тяги DE соединены не одним звеном, как у неполного, а двумя HF и EM так, что точки F и M объединяются вместе и одновременно с концом поршневого штока G , который должен двигаться вертикально. Однако он выполняет это не совсем точно, хотя и с точностью, приемлемой для практики.

Оригинальную модификацию своего параллелограмма Уатт разрабатывает для присоединения насосной штанги (рис. 59), где два рычага — балансир и укрепленный на раме машины рычаг HF — имеют центры качаний, направленные уже не в разные, а в одну и ту же сторону (на рисунке — вправо).

Параллелограмм как метод преобразования вращательного-поступательного движения в возвратно-поступательное не мог быть рассчитан аналитически, и Уатт искал более удачную конструктивную форму. В таком случае шток связан со звеном, соединяющим пару однонаправленных рычагов, не между точками его присоединения, а внешним образом, за одной из точек соединения.

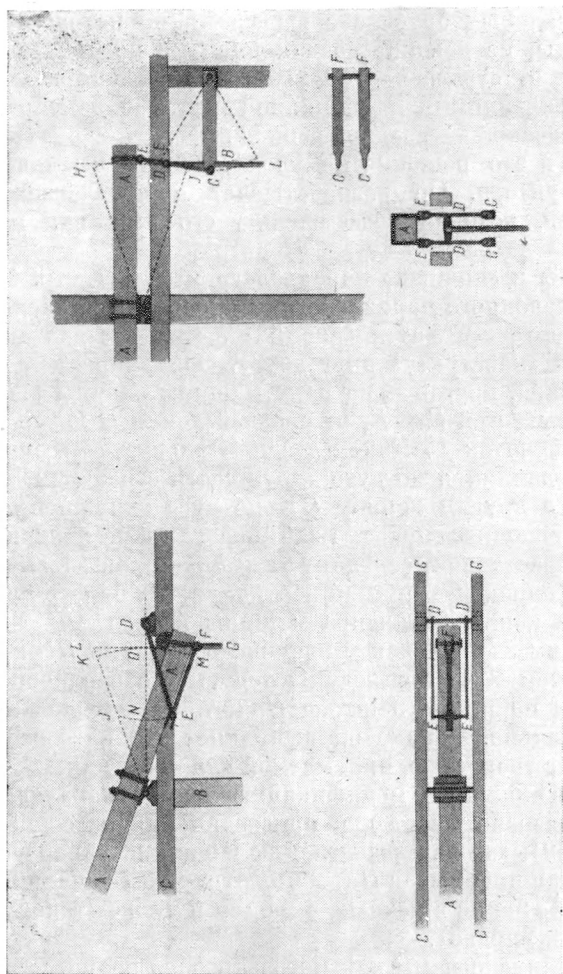


Рис. 58. Два варианта применения параллелограмма для соединения штока с баланси́ром. Приложение к патенту 1784 г.

Итак, знаменитый параллелограмм изобретен. Как можно оценивать это изобретение?

Здесь точки зрения несколько расходятся. Один из авторов утверждает, что Уатт дал конструкцию соединения штока с балансиром «в виде одного из гениальнейших своих изобретений, именно в виде механизма, позже названного параллелограммом Уатта» [101, стр. 59]). Почему параллелограмм «гениальнейшее изобретение», остается неясным.

Вот мнение другого автора: «...Эту задачу Уатт решил своим знаменитым параллелограммом. Параллелограмм Уатта представляет необыкновенно остроумное и изящное решение конструктивной проблемы... в решении этой небольшой конструктивно-геометрической задачи с особенной яркостью проявилась глубина и сила конструкторской мысли Уатта, напоминающая изящество гениально простых эскизов Леонардо» [95, стр. 144]. Аргументов к своему мнению автор не счел нужным привести, если не считать того, что задачу он назвал «небольшой» (что не говорит в пользу высокой оценки ее решения) и что сам Уатт гордился этим изобретением.

Пусть Уатт будет третьим автором, писавшим на эту тему статью в Британской энциклопедии [42, стр. 361]. «...Хоть я не особенно забочусь о моей славе, однако горжусь изобретением параллелограмма более, чем любым другим моим изобретением».

Самооценка Уатта по-человечески понятна. Нелегко достался ему этот самый параллелограмм. Высказывание Т. А. Эдисона о том, что для творческих успехов необходимы один процент гения и девяносто девять потения, можно полностью отнести и к изобретению параллелограмма. Теории не было. Теория была дана П. Л. Чебышевым, крупнейшим математиком, только в 1899 г. Как Уатт мог решить стоявшую перед ним задачу? Путем подбора, путем проб и ошибок, и только одному ему известно, сколько он испортил бумаги и подвижных линеечек, пока ощупью не добрался до решения задачи. Есть чем гордиться.

Но история требует не субъективной, а объективной оценки. А эта оценка чрезвычайно проста: и балансир, и замучивший Уатта параллелограмм не нужны были паровой машине. Самое перспективное решение Уатта — направляющие и ползуны, рассмотренные выше (см. рис. 57),

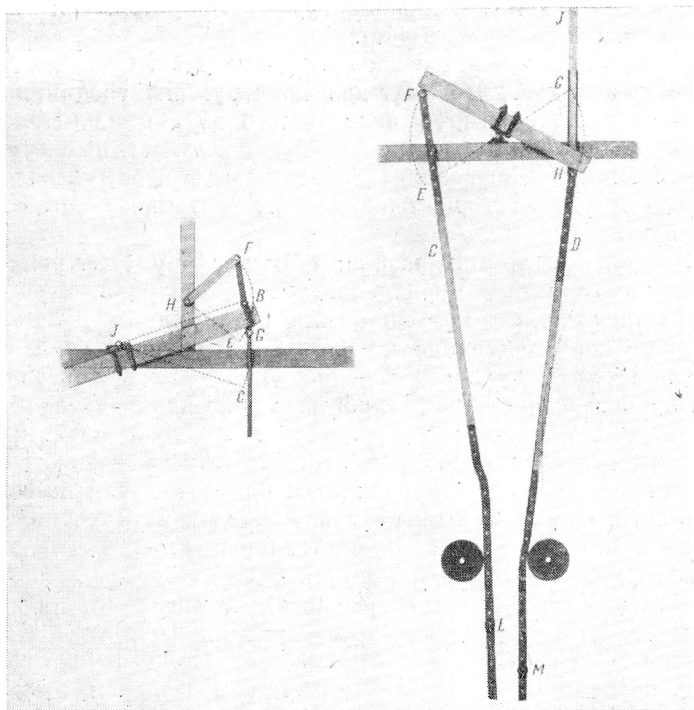


Рис. 59. Третий вариант применения параллелограмма и упрощенный привод насосных штанг, допустимый при их большой длине и незначительном угле отклонений. Приложение к патенту 1784 г.

служившие паровой машине до самого ее старения и тихой кончины в наше время. Но балансир старой насосной паровой машины не был преодолен таким блестящим конструктором, как Уатт, хотя ему нужно было сделать так немного: перенести направляющие и шатун с насосной части балансира на паровую его часть.

Приводимые выше строки о том, что Уатт «недалековидно верил» в насосную машину, подтверждаются патентом 1784 г.: «Мое третье усовершенствование относится к применению паровой, или огневой, машины к работе

насосов и других машин с возвратно-поступательным движением.

Приложенные чертежи относятся к приводу насосов, причем основная цель автора предложения состоит в том, чтобы приводить два насоса от одной машины. Это обстоятельство имеет под собой серьезную основу. Мощность паровых машин значительно возросла, и не было оснований рассчитывать на невозможность ее дальнейшего роста. Развитие теплоэнергетики постепенно получало свое новое техническое содержание, которое К. Маркс оценивал словами «...система машин, имеющих один двигатель».

Поэтому предложение Уатта вполне назрело и представлено им в двух вариантах. В первом варианте (см. рис. 59) рабочая штанга через балансир приводит в движение два насоса через две более короткие штанги, опирающиеся на ролики.

Второй вариант (рис. 60) имеет то же назначение: штанга, идущая от машины А через два качающихся треугольника рычага, приводит в движение две насосные штанги М и L. Здесь Уатт принял на вооружение старин-

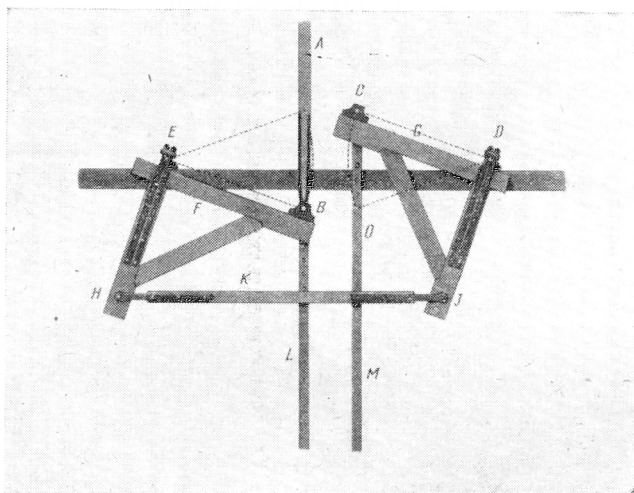
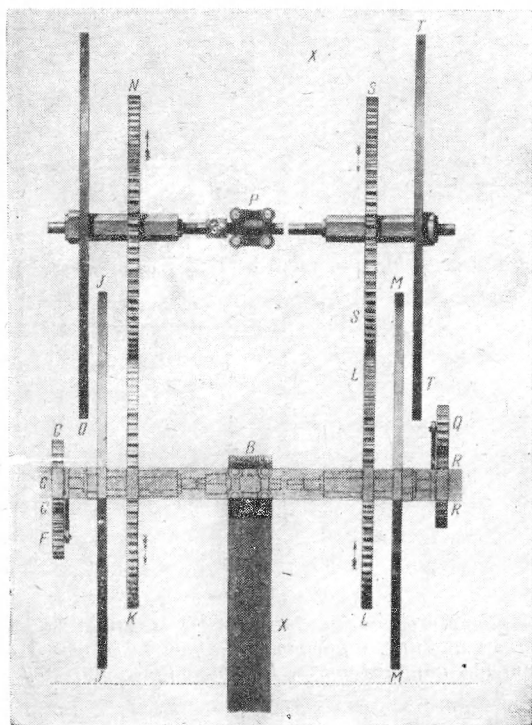
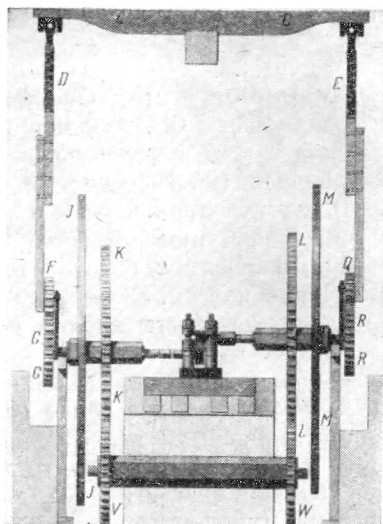


Рис. 60. Устройство для привода двух параллельно работающих насосов от одной машины с рабочей нагрузкой штанги А при движении в обоих направлениях. Приложение к патенту 1784 г.



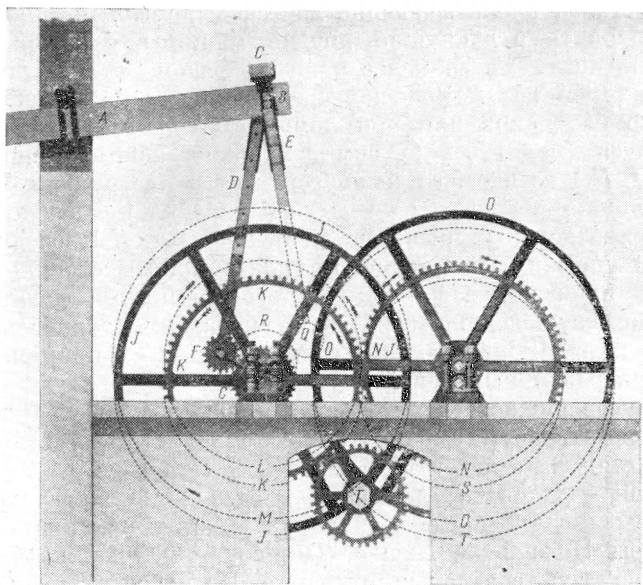


Рис. 61. Привод прокатного стана от двухцилиндровой паровой машины как одно из частных применений возможностей универсального двигателя. Приложение к патенту 1784 г.

ные конструктивные формы, которые удивляли еще в 1682 г., на сто лет раньше Уатта, зрителей гидросиловой установки в Марли (Франция), построенной голландцем Р. Салемом, где привод от 13 нижнебойных колес к насосам производился при помощи треугольных рычагов, примененных Салемом для перемены направления движения на 90° [84]. Но с водяными насосами пора было кончать. Теперь Уатт прекрасно понимал, что двигатель — это двигатель, способный приводить в движение любую рабочую машину, будь то насос или прядильная машина, требовавшая исключительной равномерности вращения вала.

Отвечая на это требование времени, задолго до этого понятое Болтоном, Уатт формулирует в патенте свое предложение.

«Четвертое новое улучшение состоит в новых методах применения мощности паровых машин: приводить про-

катные станы, прокатывающие железо и другие металлы, или приводить в движение другие машины, у которых нужно вращать много колес таким образом, чтобы одна паровая машина могла непосредственно при помощи двойного балансира или при помощи крепкого деревянного бруса (под этим брусом надлежит понимать шатун.— *И. К.*) из дерева или другого материала, укрепленного на одном из концов рабочего балансира и посредством двух отдельных рычагов (шатун.— *И. К.*), соединяющих упомянутый балансир с подходящими станками в целях производства вращательного движения, давать движение двум ведущим колесам, укрепленным либо на отдельных валах, работающих совместно или же применяемых для различных целей».

Это усовершенствование, изложенное так пространно и не весьма вразумительно для неспециалиста, легче понять, взглянув на патентные чертежи Уатта (рис. 61).

Машина двойного действия ... сдвоена. Сепаратные цилиндры Леупольда, объединенные общим механизмом цилиндры Ползунова, Кюньо, Томпсона, Фалька, пробируют себе путь и в решениях Уатта. Но итоги его решения о сдваивании машины вдвое эффективнее; он сдваивает машины не простого, а двойного действия. Шатуны двух балансиров, снабженные планетарной передачей, работают на общий вал, несущий два маховика. Благодаря планетарной передаче число оборотов вдвое больше числа ходов поршней в цилиндрах сдвоенной машины. Зубчатые колеса передают вращение двум валам: одному с тем же числом оборотов, другому, нижнему, с удвоенным за счет уменьшения диаметра и, соответственно, числа зубцов ведомой шестерни вдвое. Такое решение вполне понятно. Увеличивать число оборотов маховичного вала было рискованно — может разнести маховик. А для быстроходных потребителей мощности предусмотрен вал с повышенным вдвое числом оборотов. Хотите, присоединяйтесь к одному, хотите — к другому валу.

Такую машину уже можно строить для продажи. Она — промышленный товар. Пусть теперь потребитель подгоняет свои станки к двигателю, так как эпоха изготовления двигателя для данной рабочей машины окончилась.

Теплоэнергетика вступила в новую фазу своего развития, фазу применения универсального двигателя.

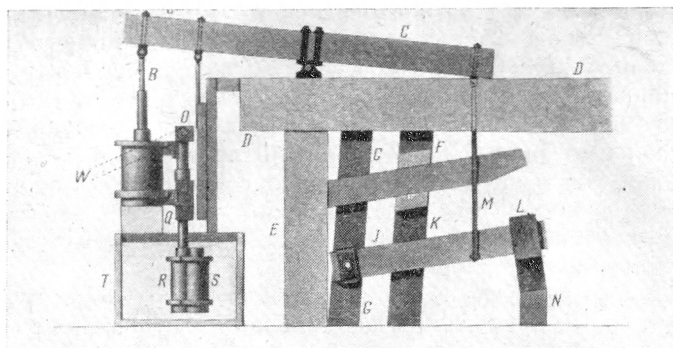


Рис. 62. Привод хвостового заводского молота от паровой машины как конкретное использование ее универсальности по техническому применению. Приложение к патенту 1784 г.

Уточним терминологию. Универсальный двигатель — понятие абстрактное. Конкретного универсального двигателя не существует. Такой, например, двигатель, как только что описанный, с двумя числами оборотов, легкий, переносный, может уже многое, но не все. Он не годится для паровоза, для парохода, для молота, для паровой повозки.

Универсальный двигатель это такой двигатель, который может гибко видоизменяться в зависимости от требований производства и транспорта.

Поэтому Уатт пишет и о прокатных станах, и о разных иных «мельницах». А молот? Почему бы и нет?

И Уатт пишет о том, что его пятое новое усовершенствование состоит в упрощенном методе применения паровой машины для привода молотов и прессов. Понятие «упрощенный» метод показывает, что универсальный по заложенным в него богатым возможностям абстрактный двигатель может принимать простые частные, конкретные формы его разнообразного применения.

Действительно, просто (рис. 62). Здесь не нужно многочисленных маховых и зубчатых колес, как в предыдущем варианте двигателя. Паровой цилиндр (с конденсатором), балансиры и молот. Все.

На время, конечно. Переходное время, когда отмирала техника мануфактурного периода и зарождалась техника

капитализма. У цехового рабочего молот был ручным орудием (рис. 63). Объединение рабочих в мануфактуру заставило обратиться к источнику большей мощности, чем мощность молотобойца, — водяному колесу. Молот «вырос», сохраняя все конструктивные черты ручного орудия: тяжелая железная головка, длинный деревянный хвост.

Такую же операцию проделал с молотом Уатт с той только разницей, что вместо водяного колеса была использована паровая машина как двигатель, мало зависящий от локальных условий.

А время, когда орудие освобождается от конструктивных форм ручного труда, приспособляясь к новому двигателю или срастаясь с ним, наступило позднее, когда более чем через полвека Дж. Несмит получил патент на свой паровой молот, выданный ему в 1842 г. Рисунок Несмита (рис. 64) прекрасно передает этапы перехода от ручного молота к паровому, лишенному старых конструктивных черт.

Но обширный патент 1784 г. еще не исчерпан.

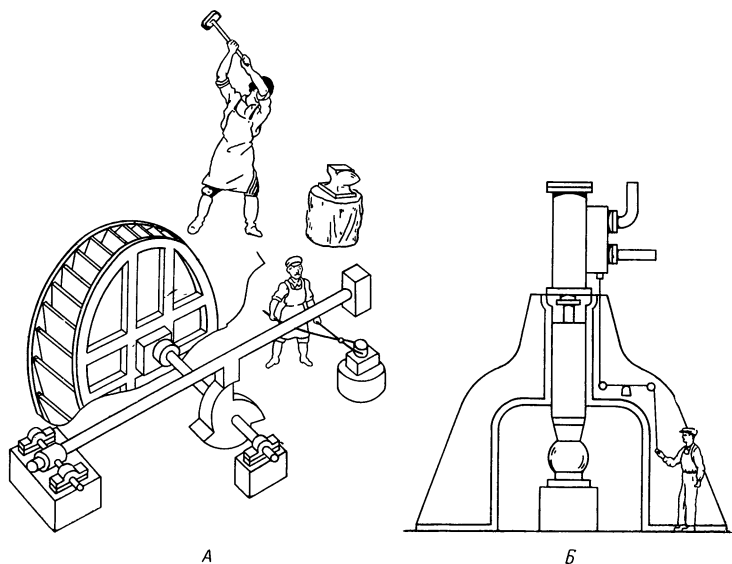


Рис. 63. Эволюция молота: ручной молот, молот с приводом от водяного колеса, паровой молот

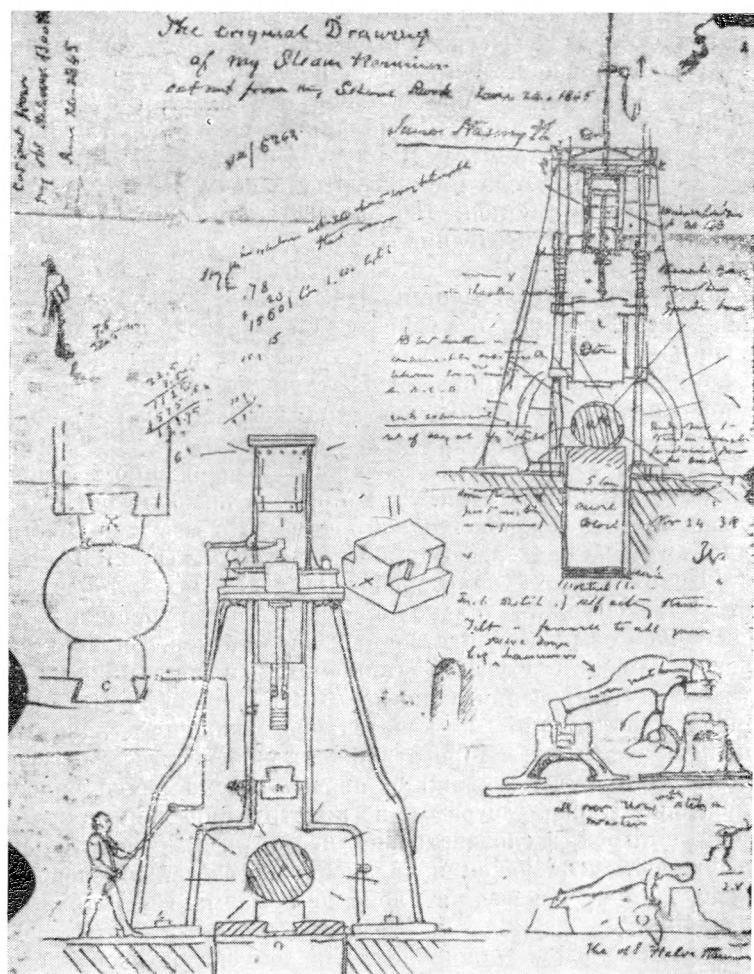


Рис. 64. Рисунок Дж. Несмита, изобретателя парового молота

Его шестое усовершенствование относится к новой конструкции паровых клапанов. По сравнению с предыдущей конструкцией клапаны, по новому предложению, перевернуты (рис. 65), что дает им возможность открываться очень быстро, а так как закрываются теперь

они против давления пара, то отпадает необходимость в грузах. Задача быстрого открытия и закрытия клапанов возникла при конструировании пареоатмосферных машин: поскольку клапаны приводились в движение от частей самой машины и без специальных быстродействующих механизмов, их подъем и опускание осуществлялись бы в течение всего хода машины. Эту задачу каждый решал по-своему: Ньюкомен, Бейтон, Поттер, Тривальд, Ползунов, причем последний — для двух цилиндров. Уатт решил эту задачу еще тогда, когда конструировал «усовершенствованную» машину Ньюкомена. Сейчас он улучшил конструкцию, отказавшись от грузов как метода быстродействия (при падении груза), и, возможно впервые разработав возможность заглянуть глазами индикатора в полость машины, поставил вопрос о ликвидации торможения пара при впуске.

Патент заканчивается седьмым предложением «паровой машины, применимой для привода повозки для перевоза людей, товаров или чего другого с места на место, для чего машина чрезвычайно портативна» (рис. 66).

Повозка Уатта не разработана в деталях и по существу представляет только принципиальное решение, не свободное от ряда существенных недостатков. Внешне все весьма просто. Котел с утопленным в нем цилиндром (что Уатт сделал примерно на 20 лет раньше Тревитика), шток, приводящий в качательное движение длинный полубалансир, от которого движение посредством шатунно-кривошипного механизма передается на ведущую ось повозки. Параллелограмм в конструкции передачи не предусмотрен, а следовательно, несмотря на относительно небольшой угол качания балансира, неизбежна разработка сальника, что весьма плохо при машине избыточного давления.

Машина одноцилиндровая, для запуска ее необходимо при помощи усилия извне сдвинуть повозку, чтобы затем машина могла стронуть ее с места. Не случайно почти все участники «кооперации современников» (выражение Маркса) — строителей первых паровозов (кроме Тревитика) применяли два цилиндра так же, как это начал родоначальник парового наземного транспорта Ж. Кюньо в 1769 г.

На явно недоработанном предложении парового экипажа заканчивается патент 1784 г. Об этом патенте

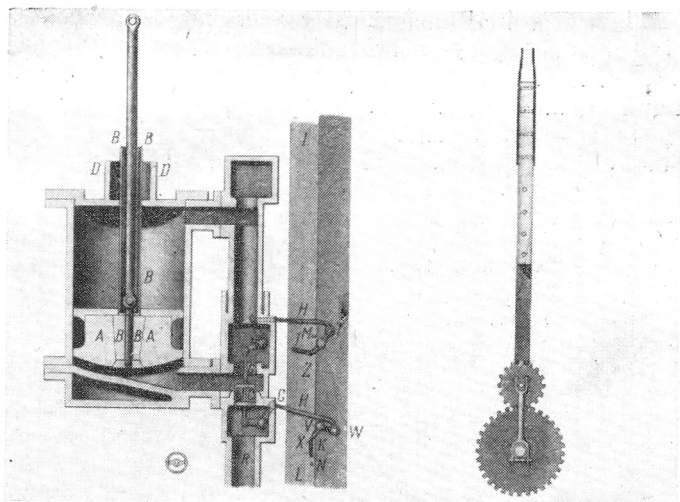


Рис. 65. Чертеж Уатта к патенту 1784 г. с усовершенствованной системой парораспределения и планетарного привода.

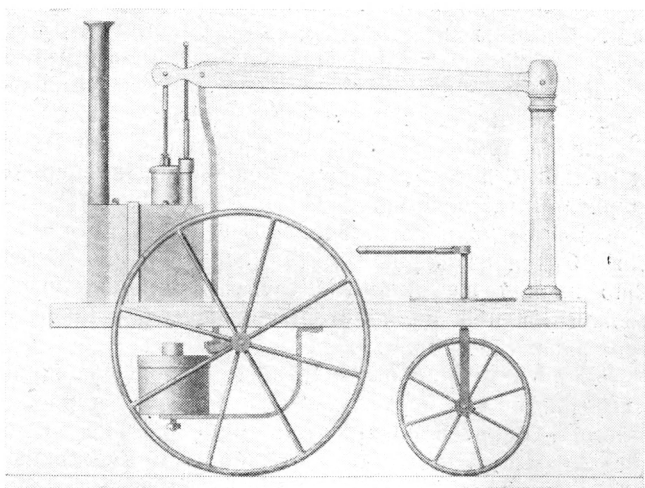


Рис. 66. Эскиз паровой повозки как частное применение возможностей универсального двигателя. Приложение к патенту 1784 г.

Фарей [27, стр. 434] писал, что только часть предложений Уатта при всей их талантливости вошла в практику, а именно: параллелограмм и локомотивы. Маркс с других позиций оценил содержание этого патента. Его компоненты: реактивная паровая турбина, привод насосов и любых машин с возвратно-поступательным движением, привод

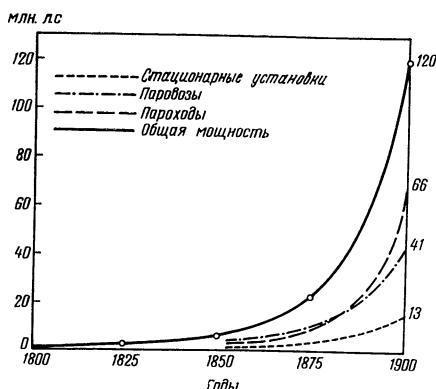


Рис. 67. Рост установленной мощности паровых двигателей с распределением по сферам применения во всем мире в течение XIX в.

прокатных станков, паровой молот, транспортный агрегат — охватывают достаточно широкую сферу применения паровой машины в производстве. Оценив это, Маркс и писал, что Уатт «изображает» паровую машину «не как лишь изобретение для особых целей, но как универсальный двигатель крупной промышленности».

Позднее фирма «Болтон и Уатт» строила машины и для мельниц, и для сахарных заводов, и для пароходов, и для различных фабрик.

В основном дело было сделано, главная историческая миссия Уатта завершена: универсальный двигатель победно вышел на мировую арену и монопольно просуществовал на ней целое столетие, получив необычайно быстрое развитие (рис. 67).

Но дело Уатта еще не было закончено. Он обращает свое внимание на неотъемлемый элемент паросиловой установки — парогенератор, или паровой котел, и на осуществляемые в нем процессы сжигания топлива. Этим вопросам посвящена львиная доля пятого и последнего патента Уатта, полученного им в 1785 г.

Заявка была сделана на «... новые способы конструирования топок для нагрева, кипячения или испарения

воды; способы, применимые к паровой машине, посредством чего может быть получен большой эффект использования топлива, причем дым в значительной мере может быть уменьшен и поглощен».

В спецификации патента утверждается, что «...дым, выделяющийся сырым углем в момент его забрасывания в топку, должен быть разбавлен свежим воздухом так, чтобы они перемешались и чтобы получившаяся смесь дыма с воздухом прошла через или над горящим топливом в той его части, где оно имеет интенсивно красный цвет и готово поглотить дым, превратив его в горящий кокс или пепел. Дым и большая часть пламени, будучи, таким образом, приведены в контакт с сильно разогретым топливом и вместе с тем будучи уже перемешаны с надлежащей частью свежего воздуха, будут гореть чистым пламенем, свободным от дыма».

В наше время забота о так называемом вторичном воздухе, вводимом в топку для дожигания летучих углеводородов, выделяющихся из топлива при его нагреве, не вызывает сомнения и является продуманным методом подачи кислорода как агента горения (окисления). Соучастник Уатта по Лунному обществу физик Джо-зеф Пристли в 1774 г., десятилетием раньше рассматриваемого патента Уатта, выделил кислород («бесфлогистонный воздух»), и, таким образом, основы науки о горении только начинали закладываться. Тем не менее производственная практика без всяких газоанализаторов и формулы Менделеева для определения количества, потребного для сгорания кислорода, находила, как показывает патент Уатта, хорошие опытные решения исходя из единственного объективного показателя процесса горения: количества видимого дыма.

Уатт предлагает (рис. 68) так называемую выносную шахтную топку, в которой топливо загружается по мере расходования в верхнюю часть шахты, видной справа. Зона горения располагается в нижней части шахты, через которую проходит вторичный воздух, поступающий через отверстие *I*. Горячие газы поступают в обширную камеру, где вследствие падения скорости происходит выпадение золы, выгребаемой периодически через нижнюю дверцу *F*. Затем топочные газы омывают поверхность котла снизу и с боков и эвакуируются в дымовую трубу, не показанную на чертеже.

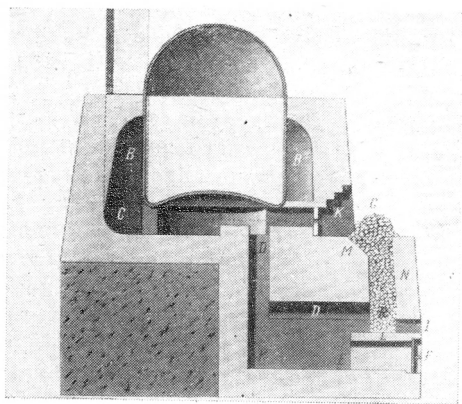


Рис. 68. Выносная шахтная топка. Приложение к патенту 1785 г.

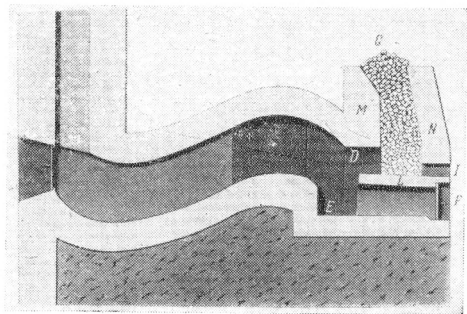


Рис. 69. Выносная топка с шахтным подогревом (второй вариант). Приложение к патенту 1785 г.

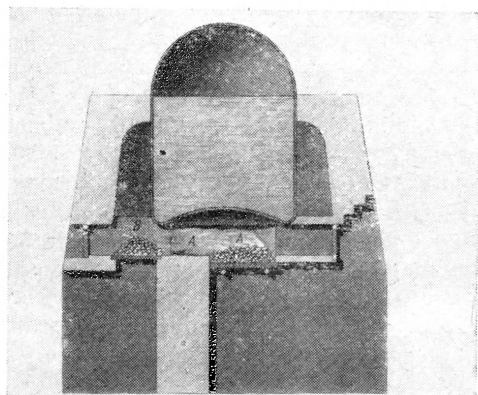


Рис. 70. Топка с дожимательной колосниковой решеткой. Приложение к патенту 1785 г.

В настоящее время, руководствуясь данными точных испытаний и развитой теорией горения, конструируют и выносные, и шахтные топки для сжигания влажных низкокалорийных сортов топлива, таких, как торф, с целью повысить температуру горения, снижаемую непосредственной лучистой отдачей тепла на стенки котла, охлаждаемые изнутри водой. Для хорошего угля, который использовался в машинах Уатта, это мероприятие было излишним. Вместе с тем значительные неудобства вытекали из способности каменного угля спекаться, что крайне затрудняло эксплуатацию котлов и не обеспечивало полноты сгорания (бездымности), которой добивался Уатт. Это относится и ко второму варианту выносной шахтной топки (рис. 69), предложенному Уаттом.

Зная об эксплуатационных трудностях своего предложения, Уатт в этом же патенте возвращается к сжиганию топлива непосредственно под днищем котла (рис. 70), не оставляя, однако, своей мысли о «пожирании» (как тогда это определялось) дыма. В данном случае топливо сжигается на двух колосниковых решетках топки, названной им «бездымной». Однако, как отметил почти через 60 лет в своей обстоятельной книге Фарей [27, стр. 441—442], и эта конструкция Уатта, не раз подвергавшаяся улучшениям, была слишком сложной в эксплуатации вследствие спекаемости каменного угля.

Все пять патентов Уатта просмотрены, разобраны, оценены с позиций современной теплоэнергетики и с учетом уровня научно-технических знаний эпохи Уатта.

Но Уатту приписывается значительно большее число изобретений, чем было обнаружено в рассмотренных патентах, и среди них такие, относительно которых трудно предположить, чтобы Уатт, патентовавший столь недоработанные предложения, как ротативная машина или паровая повозка, мог «позабыть» их запатентовать. К числу таких существенных изобретений, получивших применение в машинах, изготавливаемых в Сохо по патентам Уатта, следует прежде всего отнести центробежный регулятор.

В книгах, посвященных Уатту или истории теплотехники, о центробежном регуляторе написано по-разному даже у одних и тех же авторов. А. А. Радциг в одной книге пишет: «... Он устроил именно центробежный регулятор, соединенный с так называемым дроссель-клапа-

ном» [102, стр. 69]. «Устроил»? Значит ли это — «изобрел»?

Во второй книге тот же автор пишет: «... Регулятор составляет одно из важнейших и совершенно самостоятельных изобретений Уатта» [101, стр. 62]. В этой же книге страницей выше он пишет о «применении» регулятора.

Устроил, изобрел, применил.

Фарей дважды пишет о регуляторе [27, стр. 435 и 458] без какого-либо упоминания об авторе или источнике этого технического объекта.

В обширной переписке Уатта с рядом лиц, в которой он делится своими изобретательскими и конструкторскими находками, он ни слова не упоминает о центробежном регуляторе [45, т. II].

Хотинский [104, стр. 96—100], связывая неравномерность хода машины с неравномерностью парообразования, которое «поручается простому работнику, не обладающему никакими специальными сведениями», а не с неравномерностью потребления мощности, что в его время имело некоторое основание, так как групповой привод только зарождался, видел решение проблемы в изменении сечения для допуска пара в машину путем применения особого клапана (дроссельного, по современной терминологии). По его словам, «Уатт ухитрился соединить управление клапаном с самым ходом машины... Этот удивительный механизм назван Уаттом governor, т. е. правитель, или moderator, умеритель». И после описания регулятора он заключает: «... Ничего не может быть остроумнее этого механизма. Должно, впрочем, признаться, что первоначальную его идею Уатт почерпнул из снаряда, основанного на том же начале (очевидно, центробежном.— *И. К.*) и находившегося в его время в некоторых мукомольных мельницах, для равномерной засыпки хлеба в жернова».

Не запатентован Уаттом и дроссельный клапан. Вне всякого сомнения, эффект дросселирования неоднократно наблюдался при работе машин Ньюкомена, и вопрос состоял только в придании тормозящему поток пара устройству наиболее удобной конструктивной формы. Рассматривая машины Ньюкомена и его предшественников, можно видеть только пробковые краны, которые Уатт в своих машинах заменил тарельчатыми клапанами. Переход от кранов к клапанам в то время не мог иметь суще-

ственного значения, так как сопротивление подъему клапана при низких разностях давления в машинах того времени были незначительны.

Уатт применил клапан с уравновешенным диском, известный в наше время под названием дроссель-клапана (рис. 71). Он применил его и в виде обычной конической пробки в «усовершенствованных» машинах Ньюкомена.

Так была решена первая часть задачи, о чем Фарей писал следующее: «Для этой цели (уменьшение доступа пара в цилиндр.— *И. К.*) он предусмотрел добавочный клапан или коническую пробку, закрывающую проход пара по трубе, подводящей пар из котла в паровую рубашку, окружающую цилиндр; этот клапан, который он назвал тормозящим клапаном (*throttle — valve*), введен исключительно для регулирования хода машины на том же самом принципе, на котором движущийся взад и вперед затвор водяного колеса ограничивает приток воды на колесо и, соответственно, скорость его движения» [27, стр. 332].

С современных позиций это не так, как полагал Фарей в 1827 г. Задвижка, вызывающая в применении к воде количественное регулирование, в применении к пару вызывает качественное регулирование, изменяя параметры пара. Объединяя дроссель-клапан с регулятором, Уатт находит очень хорошее решение. Перестановочная мощность регулятора возрастает с увеличением массы грузов, но вместе с этим падает чувствительность регулятора. Возникает необходимость снизить перестановочную мощность, потребляемую дроссель-клапаном, а это возможно путем замены конического крана уравновешенной поворотной диафрагмой, как показано на рис. 71.

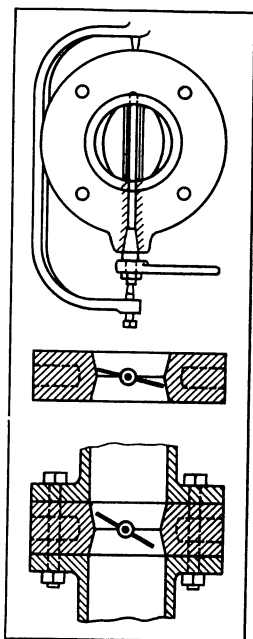


Рис. 71. Дроссельный клапан регулирующей системы Уатта

Но Уатт не патентует ни регулятора, ни дроссельного клапана, хотя эта система возникает в эпоху наиболее интенсивного патентования (1781, 1782, 1784, 1785 гг.)

Эти объекты были известны ранее? Весьма вероятно, но и Васбру, и сам Уатт патентовали системы передач, давно известные «в применении к паровой машине». Возможно, что в жизни Уатта уже наступал период начинавшегося отхода от дел, когда он писал Болтону в 1785 г. (год получения его последнего патента): «Я нахожу, что сейчас уже пора прекратить опыты новых изобретений, в особенности не следует ничего пробовать, что сопряжено с какой-либо опасностью неудачи или может причинить нам затруднения при исполнении» [101]. Став представителем частного предпринимательства, Уатт воспринял и основной стимул зарождавшейся буржуазии, ставшей для него своим классом, для которой всякая деятельность, в том числе и изобретательская, — только средство для получения дохода. А если доход уже обеспечен? Если нет необходимости бороться с опасностью краха, с конкурентами? Тогда можно уходить на покой. Основной стимул творчества исчезает. Если и останется, то только хобби, личное увлечение, развлечение, забава, отдых. И Уатт, еще обладая громадной творческой потенцией, но более не подгоняемый стимулом наживы, уходит на покой.

Вторым, весьма прогрессивным незапатентованным изобретением Уатта является индикатор [101,102], получивший широчайшее распространение в технике. Выше был приведен чертеж Уатта к патенту 1782 г., в котором раскрывался процесс расширения пара в полости цилиндра парового двигателя (см. рис. 43). Для получения такой экспериментальной кривой совершенно необходимо для каждого положения движущегося поршня, а следовательно, для каждого значения удельного объема пара, расширяющегося движением поршня, знать давление пара. Поскольку опыты Уатта проводились в пределах 1—0,5 атм, он мог замерять давления при помощи ртутного столбика в U-образном сосуде, соединенном с полостью цилиндра. Это весьма сложный и неудобный эксперимент, поскольку все точки замера должны быть замечены и зафиксированы за ход поршня из одного крайнего положения в другое, продолжающийся от 1 до 3 сек в зависимости от числа оборотов вала машины. Вместе с тем знание процесса в полости цилиндра машин, находящихся в эксплуатации, весьма

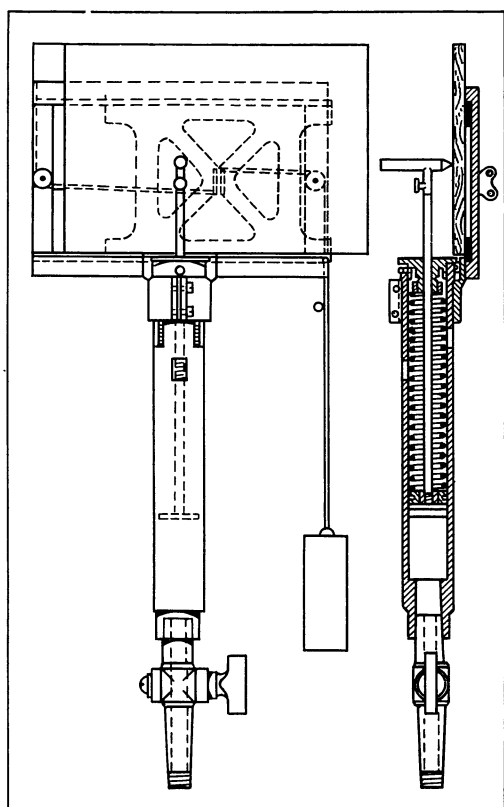


Рис. 72. Индикатор конструкции Уатта

существенно, и для этой цели Уатт описал прибор (рис.72), позволяющий легко и удобно записывать на бумагу характер процесса, протекающего в машине [101].

Пластинка с листом бумаги оттягивается вправо подвешенным грузом, а слева соединена с какой-либо деталью, движущейся параллельно с поршнем, причем введение рычага между этой деталью и пластинкой позволяет уменьшать ход пластинки по сравнению с ходом поршня в отношении плеч этого рычага. Перемещение пластинки, очевидно, пропорционально перемещению поршня, а следовательно, изменению объема пара в полости цилиндра. Ниж-

няя часть прибора соединена трубкой с полостью цилиндра, и давление пара в ней, передаваясь на поршень прибора и сжимая пружину, поднимает карандаш, высота подъема которого пропорциональна (в масштабе пружины) давлению пара.

При одновременном движении пластинки и карандаша на бумаге остается след, изображающий соотношение объемов и давлений пара за цикл его работы в полости цилиндра. С ростом давлений пара и числа оборотов машины, особенно двигателей внутреннего сгорания, индикатор конструктивно сильно изменился, но принцип его действия остался неизменным: он непосредственно регистрирует процесс изменения состояния пара в координатах давления и удельного объема.

В книге А. А. Раддига [101, стр. 68] утверждается, что Уатт «сконструировал простейшей формы индикатор, т. е. прибор, служащий для съемки индикаторных диаграмм». Уатт не патентовал этот прибор. Раддиг пишет «сконструировал». А кто же изобрел его? По этому поводу Фарей сделал в 1827 г. интересное примечание [27, стр. 285].

Как писал Фарей, ему не удалось установить, кто был автором этого талантливого изобретения, но он видел индикаторные диаграммы, выполненные таким образом, как это делалось лет 20—30 назад (около 1800 г.). «Мистер Уатт хорошо описал индикатор в его Приложениях в статье д-ра Робисона о паровой машине; но, поскольку он не упоминает об индикаторных диаграммах, можно делать вывод, что они применены к его индикатору кем-то другим, а поэтому не включены в число его личных изобретений».

Текст не очень ясен. Диаграмма неотделима от индикатора. Видимо, у автора есть желание хотя бы в завуалированной форме приписать изобретение индикатора Уатту, а поэтому в начале текста говорится, что изобретатель не установлен, а в конце об «его», т. е. Уатта, индикаторе.

Весьма полезными для эксплуатации и исследования работы паросиловых установок оказались ртутный манометр, вполне приемлемый для машин с давлением пара, слегка превышавшим атмосферное; ртутный вакууметр, позволяющий следить за работой конденсатора и насосов; водомерное стекло, дававшее возможность постоянно наблюдать уровень воды в котле, своевременно питая его водой. На этом усовершенствования паросиловых установок

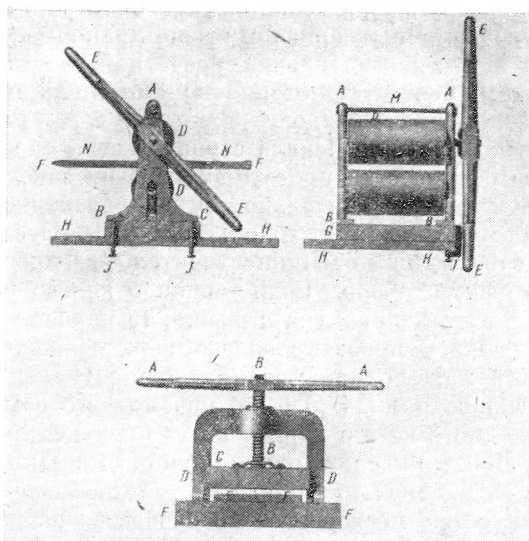


Рис. 73. Прокатный печатный станок и печатный пресс конструкции Уатта

Уаттом окончились, но изобретательская деятельность не раз еще проявлялась в трудах Уатта.

Он разработал конструкцию копировальных прессов (рис. 73) для получения оттисков как путем пропускания через вальцы, так и непосредственным сжатием. Последняя конструкция совершенно не отличается от современных переплетных прессов, причем конструктору о многом говорит увеличение высоты сечения при переходе от стоек к поперечине, выполненное с полным пониманием разницы сопротивлений материала при растяжении и изгибе.

Им разработан и неоднократно применялся основанный на принципе параллельных сечений прибор, названный эйдографом [17], для копирования объемных предметов и, в частности, скульптурных портретов. Выполненные при помощи этого прибора копии скульптурных портретов демонстрируются в полностью реставрированной мастерской Уатта в Кенсингтонском музее в Лондоне. Одна из конструкций этого прибора дает возможность копирования в желаемом уменьшенном масштабе.

Уатт сконструировал механическую счетную машину — прототип современных арифмометров, хранящуюся в том же музее, а в связи с большой расчетной работой завода над проектами новых машин широко применял логарифмические счетные линейки, долго носившие в Англии название «линеек Сохо». С начала строительства паровых машин завод в Сохо стал прототипом многих заводов более поздних времен включительно до эры электрификации, а в некоторых отношениях и до наших дней. Здесь следует отметить зарождение в машиностроительном предприятии конструкторского бюро. Если водяное колесо народных умельцы могли делать «на глазок», то паровая машина конструировалась, проектировалась, вычерчивалась на основе знаний математики, механики, сопротивления материалов, теплотехники. Это было начало того самого процесса или одного из его характерных проявлений, о котором В. И. Ленин писал: «Только крупная машинная индустрия вносит радикальную перемену, выбрасывает за борт ручное искусство, преобразует производство на новых рациональных началах, систематически применяет к производству данные науки» [6, стр. 51].

После открытия химиком Бертолле метода беления тканей при помощи хлора Уатт, узнав об этом от него лично, сделал очень многое для введения в жизнь этого прогрессивного метода и внедрил его на фабрике своего тестя Мак-Грегора, после чего этот способ начал быстро распространяться по всей стране.

Весьма интересно предложение Уатта, сделанное им в письме к Кирвэну из Бирмингема 14 ноября 1783 г., в котором он, ссылаясь на большие трудности перевода трудов французских и немецких ученых вследствие применения различных систем мер и весов, делает предложение о переходе на десятичную систему (вводится в Англии в настоящее время). Это предложение Уатта, говоря его же словами, вкратце таково: пусть философский фунт состоит из 10 унций или 10 000 гран, унция — 10 драхм или 1000 гран, драхма — 100 гран. Развивая его далее, Уатт отмечал в заключение, что «д-р Пристли согласен с этим».

Еще одно влияние качественного скачка в развитии общества. Применение данных науки в промышленности расширяет научные связи между странами, а отсюда возникает мысль о единой для всего света системе единиц, и Уатт, как следует из его письма, принадлежал к тем деятелям

науки и техники, которые прежде всего столкнулись с этой проблемой и поняли необходимость ее решения [45, т. II, стр. 179].

Все изложенное раскрывает значение качественной стороны трудов Уатта для развития техники. Теплоэнергетика в его эпоху перешла из одного качественного состояния в другое, характеризующееся прежде всего становлением универсального двигателя.

Для более полной оценки значения трудов Уатта необходимо рассмотреть и количественную сторону вопроса в фактах, подкрепляемых цифрами, т. е. начальный период победного шествия универсального двигателя по всему миру. Этот двигатель не только «заселял» промышленные районы мира, но, используемый в качестве локомотивных и судовых установок, и сам начал «пересекать» континенты и океаны.

Глава восьмая

Начало нового этапа в развитии теплоэнергетики

В 1711—1713 гг. начала свою работу первая машина Ньюкомена, встреченная с радостью рудо- и шахтовладельцами как избавительница от грунтовых вод. За полвека с небольшим до первого патента Уатта (1769 г.), по данным Смитона [45, 101], насосные машины получили в Англии следующее распространение (приблизительно):

Угольные копи Ньюкестля	60
Другие угольные копи	10
Медные копи Корнуэллса	30
Лондонские водопроводные устройства . . .	10
Установки для других целей, доки	20
Общее число	130

Кроме того, 10 машин было вывезено в другие страны.

Снижение расхода пара и горючего, резкое снижение эксплуатационных расходов привели к значительному скачку в применении усовершенствованных Уаттом машин Ньюкомена с отдельным конденсатором. За 10 лет (1755—1765 гг.) [39] было построено 66 машин суммарной мощностью 1238 л.с. Машины эти распределялись так:

	Число	Мощность, л. с.
Медные копи	22	440
Доменные печи и кузнечные цеха	17	428
Водопроводы	7	93
Угольные копи	5	100
Остальные предприятия	15	177
Общее число	66	1238

Универсальная машина с вращательным движением вала дала еще более резкий скачок темпам внедрения нового двигателя.

Уатт сообщал из Хатфильда Ваннатайну в 1817 г. краткую историю внедрения первых машин универсального типа. Патент на машину с вращательным движением был получен в 1782 г., и в этом же году Уатт сооружает пока машину с качательным движением нового назначения: ковочный молот на железоделательном заводе Брадлея и второй — на собственном предприятии в Сохо. В 1783 г. сооружается машина в Гулте, и в этом же году первый крупный успех машины с вращательным движением падает на машину зерновой мельницы «Альбион» в Лондоне. За ней в том же году — машины на пивоваренном заводе «Годвин и К^о» в Лондоне, на пивоварне в Уитбреде. В общем, семь машин в один год! 1775 г. приносит новый значительный успех: паровая машина Уатта становится энергетическим сердцем одного из предприятий ведущей отрасли промышленности Англии того времени — прядильной фабрики Робинзона в Пэппельвике. В следующем году завод выпускает универсальные машины для прядильни Пиля и Варрингтона, три машины для прядильных же предприятий в Ноттингеме, а в 1789 г. машина Уатта проникает в прядильную промышленность Манчестера. В 1790 г. в Ноттингеме устанавливается паровая машина на прядильной фабрике Р. Аркрайта, машина в Дарлингтоне, еще — в Манчестере и вторая для Робинзона.

Из текста письма ясно, как более экономичная машина Уатта вытесняла не только конный привод, но и паровые машины без конденсатора. Уатт писал:

«... Сэр Р. Аркрайт и другие имели атмосферные или Ньюкоменовские машины, оборудованные вращательным движением для прядилен и установленные незадолго до этого с настойчивостью, исходящей из плохо оцениваемой экономии на капитальных затратах. Но впоследствии владельцы прядилен поняли свои интересы, и машины фирмы «Болтон и Уатт» вошли во всеобщее применение как у них, так и в других отраслях» [45, т. II, стр. 370].

Так появившаяся на первой фазе промышленного переворота «машина, чтобы прясть без помощи пальцев» [23], — прядильная машина, заменившая руки работника-прядильщика, на второй фазе промышленного переворота «объединилась» с новым двигателем — универсальным

двигателем зарождающейся крупной капиталистической промышленности.

Темпы выпуска машин продолжали нарастать (табл. 4)

ТА Б Л И Ц А 4

Потребители машин	Объем выпуска машин			
	1785—1795 гг.		1795—1800 гг.	
	число	мощность	число	мощность
Хлопчатобумажные предприятия	47	735	35	637
Шерстяные фабрики	—	—	7	120
Каналы	11	152	4	38
Угольные копи	22	220	3	60
Мельницы	6	68	1	16
Металлургические предприятия	9	150	2	40
Винокуренные заводы	5	114	1	20
Пивоваренные заводы	11	91	5	52
Прочие	33	478	21	313
И т о г о	144	2009	78	1296

Основным потребителем машин становится хлопчатобумажная промышленность. Темпы развития насосных установок снижаются, а универсальных — повышаются. Растет средняя мощность машин с 14 до 16 л. с. Растет годовой выпуск с 200 до 260 л. с. в год. Но это было только начало.

В 1826 г. в Англии уже было установлено до 1500 паровых машин с суммарной мощностью 80 000 л. с., а средняя мощность машин возросла с 16 до 53 л. с.

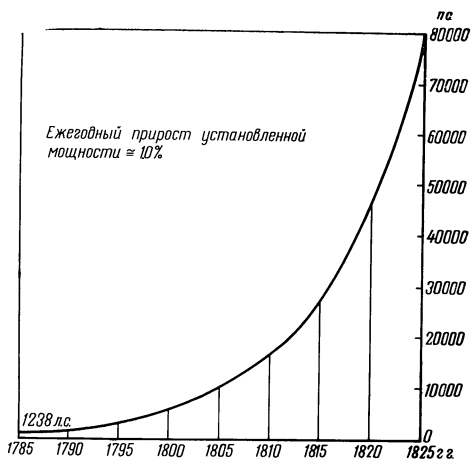
Если представить на кривой начальный период распространения паровых машин, то видно, какой толчок распространению дала машина Уатта (рис. 74). В этот начальный период темпы ежегодного прироста установленной мощности были необычайно высокими и достигали порядка 10%, превосходя темпы, установившиеся во второй половине XIX в. (см. рис. 67), несмотря на то, что в этот период (до 1825 г.) ни железнодорожный, ни водный транспорт еще не стали крупными потребителями мощности. В этот период весь центр тяжести падал на энергети-

ческое обновление промышленности как логическое и экономическое следствие развивающегося промышленного переворота.

При жизни Уатта паровая машина коренным образом изменила техническое содержание водоподъемных паросиловых установок: был введен отдельный конденсатор, двойное действие, избыточное давление, достигавшее к 20-м годам XIX в. 4 атм, даже двойное расширение, впервые предложенное Горнблауэром, не выдержавшим борьбы с фирмой «Уатт и Болтон». Коэффициент полезного действия лучших установок к этому времени достигал порядка 5%, т. е. в 5 раз превосходил лучшие водоподъемные установки Смитона.

Получили распространение шахтные и рудничные подъемные установки, потребовавшие от паровой машины нового качества — реверсирования, т. е. изменения направления вращения главного вала машины. В первой четверти XIX в. эти установки делались балансирными с приводом от вала к барабанам шахтных и рудничных подъемников.

Рис. 74. Темпы начального развития паровых двигателей.



Резко возросла производительность воздуходушных установок, применявшихся как для вентиляции шахт и рудников, так и для доменного процесса металлургических заводов. Клинчатые мехи, с которыми имел дело Ползунов, заменялись цилиндрическими, а позднее балансир был отброшен и паровой цилиндр был объединен с воздуходуш-

ным цилиндром общим штоком, соединявшим их поршни. С 1792 г., когда был разработан реверсивный двигатель для прокатного стана, паровая машина в кратчайший срок вытеснила водяные колеса из рельсопрокатных цехов, что и подготовило сферу применения для нее самой в качестве паровозного двигателя.

Быстро начали распространяться паровые молоты самых разнообразных назначений и мощностей, чем создавались возможности производства паровых машин больших мощностей для океанских судов.

ТА Б Л И Ц А 5

Машины		Мощность и. л. с.	Коэффициент перевода в силы живых лошадей	Мощность потребных живых лошадей	
Назначение	Количество				
На январь 1824 г.					
Насосные и дутьевые установки	283	11247	4	44988	
Машины с вращательным движением	805	12618	3	37854	
Судовые машины	76	4080	3	6240	
Итого:		1164	25945	—	89082
С января 1824 г. по январь 1854 г.					
Насосные и дутьевые установки	34	2403	4	9612	
Машины с вращательным движением	136	7517	3	22551	
Судовые машины	243	15358	3	46074	
Итого:		413	25278	—	78237

После смерти Уатта фирма «Болтон и Уатт» успешно продолжала строить паровые машины различных типов. Выше приведена таблица (табл. 5), составленная по данным «Меморандума завода в Сохо от 16 марта 1854 года» [45, т. I стр. ССХП], в которой «количество и мощность машин, изготовленных фирмой «Болтон, Уатт и К^о» на январь 1824 г., было подсчитано мистером Болтоном и ми-

стером Крейтоном (одним из его помощников в Сохо)». Первая машина, по-видимому, была построена в Бедфорде в 1776 г. Из приведенной таблицы можно усмотреть некоторые тенденции развития паровых машин в начальном периоде.

Одна из них — возрастание единичной мощности машин. В первом периоде она составляла $25\ 945:1164=12,2$ н.л.с., а во втором увеличилась до $25\ 278:441=57,5$ н.л.с. Возрастание мощности в $57,5:12,2=4,7$ раза позволило снизить ежегодное количество выпускаемых машин с 1164 в первом периоде до 413 во втором почти без снижения общей мощности и даже с увеличением мощности ежегодного выпуска машин с 540,5 до 842,6 н.л.с. в год. Вместе с этим, очевидно, в значительной степени снижалась стоимость установленной лошадиной силы.

Другая тенденция — перераспределение машин по назначению. Если в первом периоде было насосных и воздухоудных установок 283, или 24,5%, универсальных (вращательных) 805, или 68,9%, судовых 76, или 6,5%, то во втором периоде насосных и воздухоудных насчитывалось уже 34, или 7,8%, универсальных 122, или 37,2 и судовых 243, или 54,7%.

В связи с увеличением единичной мощности машин судить о внедрении новой энергетики в различные отрасли производства удобнее по установленной мощности всех машин, отдельно для каждой отрасли. Тогда получается следующая картина распределения установок:

	н. л. с.	%
<i>Первый период</i>		
Насосные и воздухоудные	11 274	43,0
Универсальные	12 618	48,8
Судовые	2 080	8,2
<i>Второй период</i>		
Насосные и воздухоудные	2 409	9,6
Универсальные	7 517	29,8
Судовые	15 358	60,6

Фирма «Болтон и Уатт» не выпускала паровозов, которые к середине XIX в. получили распространение, приближавшее их по суммарной мощности к промышленным установкам. К 1875 г. паровозы составили по суммарной мощности более половины мощности всех машин мира, но

к 1900 г. распределение мощностей, отразившееся уже на работе фирмы «Болтон и Уатт», пришло к следующему соотношению [39]:

	л. л. л. с.	%
Судовые . . .	66000	55
Паровозные	41000	34,4
Стационарные	12500	10,6

Особого освещения требует указание на «номинальные» и «живые» лошадиные силы. Мюирхед давал этому такое объяснение (45, т. I, стр. ССХII):

«Для сведения тех из наших читателей, которые незнакомы с сущностью отличия между номинальной лошадиной силой и той, которая может быть называема действительной, или эффективной, лошадиной силой машины, следует упомянуть, что машина с данной номинальной мощностью может в течение некоторого времени, как, например, от одного до шести часов, выполнять такую же работу, которую выполнит соответствующее количество лошадей за то же время. Но большего живые лошади сделать не смогут потому, что они в состоянии работать эффективно изо дня в день только в течение примерно шести часов из двадцати четырех, в то время как паровая машина может работать все двадцать четыре часа. Поэтому для того, чтобы установить, какое количество живых лошадей, а соответственно реальных лошадиных сил требуется для выполнения количества работы, выполняемой машиной данной номинальной мощности, номинальное количество лошадиных сил следует умножить на четыре.

Это соответственно и делается (см. табл. 5.— *И. К.*) для вычисления эффективной мощности насосных или воздуходувных машин, в которых осуществляется прямое приложение паровой мощности (т. е. шток поршня парового цилиндра является одновременно штоком поршня насоса или воздуходувки.— *И. К.*). Но в машинах с вращательным движением, как стационарных, так и судовых, учитывается потеря мощности, вызываемая действием механизма, большая, чем при прямом действии, а поэтому расчет в данном случае производится путем умножения номинальной мощности на три (см. табл. 5.— *И. К.*).

Несомненно, разница вытекает и из того, что номинальные лошадиные силы в насосных или воздуходувных маши-

нах вычисляются по давлению $9\frac{1}{3}$ фунта на квадратный дюйм, тогда как в машинах с вращательным движением эффективное давление снижают в расчетах до 7 фунтов; эти числа находятся в том же отношении, как четыре и три, или $3:4 = 7:9\frac{1}{3}$. Мы информированы с полной ответственностью, что... этот способ расчетов является тем самым, который был принят впервые Уаттом и еще применяется на заводе в Сохо».

Итак, разница между номинальными и эффективными лошадиными силами понятна. Однако может возникнуть вопрос о том, зачем нужны и как определяются номинальные силы, тогда как эффективные, установленные Уаттом по работе реальной лошади и показывающие действительную работу, служат мерилom потребной от машины мощности.

Номинальные силы понадобились для проектирования машин, для связи их конструктивных размеров с заданной работоспособностью, для вычисления этих размеров по заданной работоспособности и разработки чертежей для изготовления по ним машины.

В любом техническом объекте конструктивные формы находятся в своеобразном единстве с протекающими в них процессами. Расширение или сжатие, нагревание или охлаждение, а равно и другие бесчисленные процессы определяют основу конструктивных форм, но, будучи выполненными, эти конструктивные формы определяют степень приближения реализуемых процессов к намеченным. Отсюда всегда возникала потребность изыскания форм связи между процессом и конструктивной формой, которые и находили в виде математически оформленных зависимостей, уравнений, формул.

Так, еще Ньюкомен, по данным Дезагюлье [101, стр. 154], находил связь между конструктивными размерами поршня машины и силой давления на него атмосферного воздуха. Он рекомендовал возвести диаметр поршня в квадрат, перед первой с конца цифрой полученного числа поставить запятую, а справа приписать ноль. Цифры до запятой дают усилие в центнерах, а после запятой — дополнительное в английских фунтах. Такой элементарный, хотя и дающий преувеличенное значение, расчет был возможен для всех машин того периода, поскольку давление у них было одинаковым.

Введя единицу мощности — лошадиную силу, равную 33 000 фунто-футам в минуту (близкую 75 *кгм/сек*), — Уатт связал эту мощность с размерами машины через понятие номинальной лошадиной силы, определяемой по уравнению

$$N_{\text{ном}} = \frac{7 \cdot 128 \sqrt[3]{S O}}{33\,000} \text{ н.л.с.}$$

или, после подсчета цифровых данных,

$$N_{\text{ном}} = \frac{\sqrt{S D^2}}{47} \text{ н.л.с.}$$

где S — ход поршня в футах; O — площадь поршня в квадратных дюймах; D — диаметр поршня в дюймах.

Давление для всех машин принималось равным 7 фунтам на квадратный дюйм, а скорость поршня (средняя) 128 футов в минуту. Для судовых машин, где средняя скорость поршня принималась равной 220 футов в минуту, предлагалось уравнение

$$N_{\text{ном}} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot 7,220}{33\,000} = \frac{D^2}{27,28} \text{ н.л.с.},$$

или, с учетом различных скоростей поршня,

$$N_{\text{ном}} = \frac{D v}{6000} \text{ н.л.с.}$$

Структуры уравнений показывают, что они выражают мощность в тех же лошадиных силах (33 000 фунто-футов в минуту), которые Уатт принял для живых лошадей, и, как показано выше, разница учитывалась только в кругло-суточной работе машины против шестичасовой у лошадей.

С течением времени необходимость сравнения с живыми лошадьми отпала. Возникло понятие о индикаторной лошадиной силе, дающей истинную мощность в цилиндре двигателя, а номинальная мощность стала все меньше отвечать действительности, так как давления, скорости и обороты машины возросли в десятки раз. Между номинальной и индикаторной мощностями возникла разница от 3 до 9 раз, и постепенное понятие номинальной мощности было забыто.

Что касается начала производства судовых паровых машин, то первым шагом к нему послужило письмо Робер-

та Фультона, в котором он в 1902 г. просил Д. Уатта-младшего дать ответ о цене и ряде характеристик небольшой паровой машины в пять лошадиных сил [45, т. I, стр. ССХІХ.

Неделей позднее он написал второе письмо, в котором запрашивал о применении «высоких степеней тепла» в малых машинах и пределах этих степеней для того, чтобы сделать машину легкой и компактной. Он заканчивал письмо словами: «Единственно, к чему я стремлюсь, — сделать машину легкой и компактной, насколько это будет возможным».

«Высокая степень теплоты» в то время однозначно достигалась путем повышения давления, и в данном случае Фультон явно обратился не по адресу. Настолько широка была слава машин фирмы «Болтон и Уатт», что Фультон не заметил у себя на родине, в США, одного из зачинателей применения машин высокого давления — Оливера Эванса, который в 1801 г. построил первую машину высокого по тем временам давления. В изданной в 1805 г. книге «Руководство для инженеров-паротехников» («Steam Engineering Guide») Эванс писал, что «... пар с давлением 120 английских фунтов на 1 дм^2 ($8,44 \text{ кг/сек}^2$) при наполнении в одну треть и расширении до 15 англ. фунтов на 1 дм^2 ($1,05 \text{ кг/см}^2$) дает в 6 раз бóльшую работу, чем пар с давлением в 15 англ. фунтов на 1 дм^2 при полном наполнении, тогда как затрата тепла будет почти одна и та же» [97, стр. 130; 41, стр. 100]. Очевидно, что при работе на конденсатор экономический эффект был бы значительно выше.

Фультон либо не знал о Эвансе (что мало вероятно), либо предпочел малоизвестному новатору зарекомендовавшую фирму «Болтон и Уатт», и 6 августа 1803 г. заказал заводу в Сохо машину для своего парохода. Машина имела один цилиндр диаметром 24 дюйма, ход поршня 4 фута и развивала мощность порядка 19 лошадиных сил. В начале 1805 г. основные части машины были изготовлены и пересланы Фультону. Что касается вспомогательного оборудования, а также привода к гребным колесам, то они были спроектированы и изготовлены по указаниям самого Фультона.

В дальнейшем мощность и водоизмещение судовых машин, изготавливаемых на заводе «Болтона и Уатта», стали возрастать: в 1813 г. было построено судно «Глазго» водоизмещением 74 т, мощностью 16 л.с., в 1814 г. «Утренняя

звезда» — 100 т и 26 л.с., в 1815 г. «Каледония» — 102 т и 32 л.с.

В качестве заключительного штриха упомянем изготовление машины для военного корабля «Джеймс Уатт», построенного в память изобретателя в 1853 г. Машина этого корабля мощностью 600 л.с. развивала 50 об/мин и приводила во вращение большой гребной винт, на изготовление которого пошло 10,5 т бронзы.

Сухопутные движущиеся повозки также привлекали внимание Уатта. Выше было отмечено при рассмотрении патентов: «Мое седьмое новое усовершенствование — паровая машина для колесных экипажей» (см. рис. 66). В письме к Болтону от 27 августа 1784 г. [45, т. II, стр. 194] Уатт, описывая паровой экипаж, дает рисунок трехступенчатой коробки скоростей с тремя парами шестерен различных диаметров и механизмом переключения от одной пары к другой.

Здесь же значительно раньше Эванса Уатт предлагает применение пара высокого давления: «Поскольку мы должны использовать медь для котла, который должен выдерживать такое высокое давление, то листы должны быть не менее $\frac{1}{4}$ дюйма толщины и будут весить не менее 10 фунтов на квадратный фут: тогда мы получим давление внутри котла в 120 фунтов».

Полное совпадение с предложением Эванса! Но, как отмечалось выше, осторожный Уатт не пошел на риск применения высокого давления, сообразуясь с возможностями технологии своего времени. Жизненная практика показала, что давление пара, практически внедряемого в технику, повышалось медленно и, по усредненным показателям Трестона [101], давало следующую картину роста:

Год	Давление, атм	Год	Давление, атм
1800	0,00—1,35	1860	1,40— 2,11
1810	0,35—0,49	1870	2,11— 4,22
1820	0,35—0,70	1880	4,22— 6,23
1830	0,70—1,40	1890	5,23— 8,50
1840	1,05—1,46	1900	8,00—14,00
1850	1,05—1,71		

Теплоэнергетика пара в XIX в. начала свое победоносное шествие. В XX в. паровая машина перестала быть

универсальным двигателем в связи с новыми требованиями века. На электростанциях она уступила место паровой турбине, на фабриках и заводах — электрическому двигателю, на водном, сухопутном и воздушном транспорте — двигателю внутреннего сгорания в его многочисленных вариантах.

Но паровая машина с честью выполнила свою историческую роль в период перехода к новым способам машинного производства. Она не только приводила в движение технологические машины, парк которых постоянно пополнялся, но и обеспечивала новой энергией процесс расширяющегося производства. Кроме привода токарных, строгальных, фрезерных, болторезных и многих других станков она дала энергию процессу металлообработки, одному из основных процессов в производстве рабочих и энергетических машин.

Когда паровая машина Уатта начинала свое победоносное шествие, самой развитой отраслью промышленности в Англии была прядильно-ткацкая промышленность, производящая предметы потребления. Производство средств производства было в то время лишь придатком к производству продуктов потребления. Машина Уатта, кроме заводов в Сохо и Карронского, применялась в пивоварении, мукомольном деле, прядении, ткачестве и — по установившейся еще со времен Ньюкомена практике — в добывающей промышленности, на откачивании воды из шахт и рудников.

Применение машин, выпущенных заводом в Сохо к 1800 г., характеризовали следующие показатели [24].

	Число машин	Мощность, л. с.	%
Хлопчатобумажные фабрики	84	1382	37,91
Шерстяные фабрики	9	180	4,94
Каналы	18	261	7,16
Каменноугольные копи . . .	30	380	10,41
Водопровод	13	241	6,61
Медные копи	22	440	12,03
Металлургические заводы . .	28	618	16,91
Пивоваренные заводы	17	147	4,03
		<hr/>	
		3649	100,00

Если приведенные данные распределить по отраслям в соответствии с современной их классификацией, то получится:

	Мощность, л. с.	%
Легкая промышленность . . .	1562	42,85
Пищевая промышленность . . .	147	4,03
Добывающая промышленность	820	22,44
Транспорт	261	7,16
Коммунальное хозяйство . . .	241	6,61
Тяжелая промышленность . .	618	16,91
	3649	100,00

На тяжелую промышленность, как видно из приведенных данных, приходилось только 16,91% установленной мощности, причем эта мощность расходовалась на домашних процессах металлургических заводов.

Деятельный и инициативный компаньон Уатта Мэтью Болтон умел смотреть вперед, когда отвечал Уатту на его замысел «фабриковать» паровые машины для трех графств словами: «Моя мысль была — рядом с моим заводом, на берегу нашего канала, устроить завод, который был бы снабжен всем необходимым оборудованием для постройки машин и который снабжал бы весь мир машинами всевозможных размеров... Фабриковать только для трех графств — это игра, не стоящая свеч; действительно стоило бы труда только одно — фабриковать для всего мира» [97, стр. 240].

В осуществленных широких замыслах Болтона паровая энергетическая машина стала товаром наряду с рабочими машинами — станками самого разнообразного назначения, в том числе производящими машины и изготавливавшимися на все более стремительно возрастающий рынок машин.

Постепенно закладывалась основа капиталистического производства средств производства как завершение промышленного переворота. Техническая оснащенность нового машинного производства быстро возрастала, и к середине XIX в. оно приобрело все свойственные капиталистической промышленности технические и экономические характеристики.

Мы изложили, насколько это было возможно на страницах небольшой книги, объективные предпосылки деятельности Уатта, ее характер, итоги, последствия. Место Уатта среди других изобретателей, трудившихся над выполнением общественного заказа на теплоэнергетику, установлено достаточно точно. Он оказался, по определению его соотечественников, «нужным человеком в нужное время на нужном месте».

Внешние условия, выдвинувшие Уатта на первую роль в создании универсального двигателя, были рассмотрены. Теперь интересно проследить, какими личными качествами обладал Уатт, в какой степени его жизнь и деятельность могут служить и в наше время своеобразной «школой изобретательства».

К этим качествам следует прежде всего отнести прекрасное знание области своих исследований. Вопреки парадоксальным утверждениям некоторых выдающихся ученых и изобретателей Англии (Э. Резерфорд и Ч. Парсонс и др.), декларирующих необходимость подходить к решению новых проблем с головой, свободной от трудов предшественников, Уатт не придерживался этой точки зрения. Он основательно изучил все, что было написано в его время об «огненных машинах». С достойным подражания упорством он изучил немецкий язык для того, чтобы читать толстые тома сочинений Леупольда [36—38], французский язык — для чтения сочинений Бедидора [10], как об этом повествуют его друзья-современники д-р Блек и проф. Робисон [45, т. 1]. Но поскольку эти сочинения не много дают в отношении физических процессов в рабочем теле, Уатт обращается к трудам физиков, знакомится с работой Деагюлье «Курс экспериментальной физики» (1751). Наконец, он широко использует и развивает сведения своих друзей-физиков Блека и Робисона. Можно утверждать, что в свое время Уатт был самым эрудированным человеком в области познаний о водяном паре и опыте его использования в промышленности.

Уатт был прекрасно осведомлен и об истории интересовавшего его вопроса. В своем письме к Дарвину 24 ноября 1789 г. из Бирмингема он дает краткий исторический обзор трудов по паровым двигателям начиная от Герона Александрийского. Его ссылка на сочинение Герона (see his *Spiritualia*) дает основание предполагать, что он в до-

статочной степени знал и латынь. Напомнив и далее о «французе, имя которого он забыл» (по-видимому, если судить по приведенной дате — 1630 г. «или ранее», это Саломон де Ко. — *И. К.*), Уатт остаивался на маркизе Ворчестере и Папене, которого считает наиболее талантливым (с чем нельзя не согласиться. — *И. К.*). Далее в хронологическом порядке ссылается на работы Севери и Ньюкомена. Это письмо имеет пост-скрипtum глубокого значения: «Объем пара только в 1800 раз больше воды. Бейтон ничего не знал об этом». Так Уатт впервые провозгласил свою поправку к трудам Дезагюлье.

Изучение теории и истории вопроса Уаттом сопровождалось критическим отношением к выводам любых авторитетов, к числу которых, безусловно, относился физик Дезагюлье. В своей «Простой истории», посвященной изобретению, Уатт писал о себе в третьем лице: «Он консультировался у Дезагюлье по книге «*Natural Philosophy*» и у Белидора по его «*Architecture Hydraulique*» — единственным книгам, в которых он мог надеяться почерпнуть нужную информацию (вопрос идет о свойствах воды и водяного пара. — *И. К.*). Он нашел, что обе эти книги научно обоснованы, но тем не менее не удовлетворительны; а Дезагюлье допустил очень крупную арифметическую ошибку в расчете объема испаряемого водою пара...» Это заставило Уатта обратиться к опыту, и он, говоря его словами, посредством простого эксперимента нашел действительный объем пара, испаряемого водой.

Критическое отношение к материалу, стремление проверять его неоднократно проскальзывают в переписке Уатта, и можно предположить, что, если бы он доверился ошибочным данным Дезагюлье, то, возможно отказался бы от безнадежных попыток улучшить работу капризной модели машины Ньюкомена.

Твердые научные основы изобретательской деятельности Уатта не ограничивались узкими изысканиями данных, потребных для его практической работы. Ему не чужды были и широкие научные обобщения, например, связанные с химическим составом воды. По этому вопросу Либих писал в своих «*Letters on Chemistry*»:

«...Кэвендиш установил факт, Уатт — идею. Кэвендиш провозгласил: «Из воды получается воздух невоспламеняемый и лишенный флогистона». Уатт провозгласил: «Вода состоит или складывается из невоспламеняемого и лишен-

ного флогистона воздуха». Между этими двумя определениями существенная разница» [45, I, стр. CXXXV].

Современная Уатту химия еще не умела различать кислород и водород как два отдельных элемента; и тот и другой назывались воздухом (air). Их различали только по способности или неспособности к сгоранию. Эта «существенная», по словам Уатта, разница дает различные определения: deflogistated air (водород) и inflammable air (кислород).

Сопоставляя приведенное выше с данными предыдущих глав о точных экспериментальных научных исследованиях Уатта, можно утверждать, что именно научные исследования дали ему возможность решить его внешне чисто изобретательскую проблему.

Научный подход к любому вопросу, присущий Уатту, хорошо выражен в характеристике, данной ему Робисоном [45, т. стр. ССП].

«...Но главной причиной медлительности (вопрос идет о длительном освоении новой машины. — *И. К.*) была неизменная черта в характере мистера Уатта, состоящая в том, что в его руках всякая новая вещь становится объектом строгого и систематического изучения, завершавшего какой-то раздел науки. Как редко встречаем мы подобное соединение науки и практики, как ценно, когда мы его находим; и какого одобрения оно заслуживает».

Робисону принадлежат и следующие слова: «Все становилось для него предметом нового и серьезного изучения, — все становилось наукой в его руках».

В Уатте прекрасно сочетались знания ученого с умением мастера, позволявшие ему реализовать свои замыслы. Обращаясь к истории, можно вспомнить глубокие замыслы Папена, сочетавшиеся с явно недостаточным умением реализовать их на практике, или, наоборот, умелую ремесленную поделку Ньюкомена, овеществлявшую научные гипотезы Папена. В работе Уатта отчетливо видно, как беглые наброски, рассыпанные то тут, то там в его письмах, осуществлялись в реальных конструктивных формах поршней, насосов, конденсаторов, уплотнений и других конструктивных элементов его машин.

Его умения не ограничивались практическими навыками искусного механика, способного выполнять самую тонкую работу, граничащую с мастерством ювелира. Они распространялись и на область рассудочную. Встретив что-

либо новое, он, по словам Робисона, «... не мог прекратить исследование до тех пор, пока он или убеждался в малой значимости объекта, или что-либо извлекал из него; причем не имело значения, в какой области это имело место: языки, древняя история, естествознание, даже поэзия, критика, вопросы вкуса. Если же дело касалось чего-либо из техники как гражданской, так и военной, здесь он был как дома и всегда являлся готовым советчиком. Едва ли какой-либо проект, будь то канал или углубление реки, съемка местности или что-либо в этом роде, предпринималось в округе без консультации с мистером Уаттом; он всегда принимал на себя наиболее значительные из работ подобного рода и даже таких, в которых он не имел ни малейшего опыта» [45, т. I, стр. XIV].

Творческое воображение, фантазия не были чужды Уатту. Многие биографы повествуют о его необычайном таланте увлекать слушателей рассказами самого разнообразного стиля и характера. Однажды, когда один из слушателей просил Уатта повторить какую-то из рассказанных им историй, выяснилось, что Уатт не передавал прочитанное или рассказанное ему, а свободно импровизировал такие увлекательные истории, что собеседники готовы были слушать его часами.

Трудолюбие, настойчивость, упорство, с которыми Уатт направлял свою деятельность на решение встававших перед ним задач, отчетливо видны из его личного повествования о истории изобретения конденсатора, переданной выше. Сочетающиеся с явно выраженной систематичностью, эти свойства характера, несомненно, оказали значительное влияние на его труды.

Изучая деятельность Уатта по его патентам и описаниям, по разработанным конструкциям и отзывам современников, почти не встречаешься с вспышками интуитивных озарений. Даже «внезапно» озарившая его идея отделения конденсатора от парового цилиндра вполне логично и необходимо вытекает из пятилетних поисков решения задачи, сформулированной им с предельной четкостью: «держатъ цилиндр всегда горячим». Логическая последовательность выводов и заключений, неудовлетворенность найденными решениями и поиски лучших всегда отчетливо видны в творчестве Уатта — ищет ли он наиболее рациональную форму и размеры конденсатора или разрабатывает систему механической компенсации влияния

переменного давления пара на работу водяного насоса. Уатт не изобретатель по наитию, он скорее ученый, ставящий перед собой задачу и систематически отыскивающий ее решение, прибегая к экспериментам, расчетам, поискам, сопоставлению вариантов, конструированию и прочим элементам методологии инженерно-научного творчества. Он — враг скороспелых решений. Найдя принципиально верное и вполне осуществимое решение, он непременно ищет лучшего, что можно проследить по его работам в области компенсации или сочетания движения прямолинейно движущегося штока поршня с концом балансира, описывающим дугу окружности.

Уатт — скорее исследователь, чем изобретатель. Изучив обширный материал его деятельности, вряд ли назовешь какой-либо физический процесс или техническую деталь, которые были бы им применены, без глубокого предварительного исследования.

Нельзя сказать, что Уатт был лишен способности давать интуитивные решения, но такие решения он или разрабатывал до полного практического совершенства, или оставлял в эскизах. К его предварительным наброскам следует отнести: предложение о применении на судах гребного винта в качестве двигателя в письме к Смоллу в 1770 г. [45, т. II, стр. 8]; некоторые из ротативных двигателей, достаточно подробно описанных выше; ряд конструктивных набросков в письмах к Смоллу от 25 февраля 1770 г., 10 марта 1770 г. других [45, т. II, стр. 88—102]; его набросок и «пристрелочный» расчет самодвижущегося парового экипажа, описанный ранее, и много других. Но ни одно из его предложений не получало путевку в цех до тех пор, пока не было самым тщательным образом исследовано и сконструировано.

Его скрупулезность в оценке своих конструкций доходила до того, что он исследовал их всесторонне, находя объективные показатели даже там, где найти их довольно затруднительно. Так, например, сконструировав механический аппарат для копирования скульптурных изделий в натуральном, уменьшенном или увеличенном размерах (нечто в виде объемного пантографа), он судит о его работе не только по качеству воспроизводства тех или иных скульптур, но и по данным точного хронометража, пооперационного времени, затраченного на производство копии бюста поэтессы Сафо [45, т. I, стр. CCL].

Уатт не притязал на изобретения, высказанные другими и им доведенные до полного практического применения, хотя некоторые историки приписывают ему это. Так, например, А. А. Радциг [101, стр. 62] пишет: «Патент на машину двойного действия был взят Уаттом в 1784 г. (28 апреля 1784 г., № 1432). В патенте этом перечислялось много усовершенствований, предлагаемых Уаттом, в том числе и передача движения от поршня к балансиру с помощью параллелограмма (и при помощи других средств, не вошедших в употребление), далее — действие пара с двух сторон цилиндра, применение сдвоенных машин с двумя цилиндрами, далее — неосуществленный проект ротативного парового двигателя и некоторые усовершенствования в паровой машине, о которых мы говорили раньше (регулятор, действующий на дроссельный клапан)». В результате изучения патентов Уатта автором установлено, что последний не патентовал центробежного регулятора, в частности в патенте 1784 г.

Как говорилось выше, принцип двойного действия предложен Уаттом в спецификации к патенту от 12 марта 1782 г. одновременно с неполным расширением, методами его компенсации и шестеренчатым приводом к балансиру. В спецификации к патенту 1782 г. указывается на реактивную турбину, параллелограмм, сдвоенную паровую машину и паровую повозку. Но ни в том, ни в другом патенте нигде не сказано о центробежном регуляторе, что и отмечает Фарей [27], указывая на то, что центробежный регулятор применялся ранее Уатта. Нигде не патентовал Уатт и индикатора для получения диаграмм работы пара машины, хотя его конструирование Радциг также приписывает Уатту [101, стр. 68].

Но, с другой стороны, всякие попытки присвоения изобретений Уатта встречали с его стороны решительный отпор, особенно если дело шло о самом существенном — отдельном конденсаторе, на честь изобретения которого претендовали многие, понимая его колоссальное значение. Среди претендентов был и известный инженер — современник Уатта — Брама, который писал: «Послушайте! То, что делает Уатт (попутно вводя людей в заблуждение), есть не что иное, как предложение того, что каждый ученый-химик должен отвергнуть, а именно — работу машин с частичным расширением и конденсацией пара» (45, т. I. стр. CCIV). Далее Брама писал, что «конденсация — это

собственная идея, так и просачивающаяся в его письмах», и что «все типы конденсаторов, включая выхлопные трубы по принципу Уатта, только мешают работе машин», и что «это известно каждому и всегда было известно ему самому, а Уатт в действительности ничего не изобрел, а только повредил тому, что может быть полезным для общества».

Все это приводило Уатта, по словам Мюирхеда, в такое состояние, что он проклинал свое изобретение, говорил, что он ничего не изобрел, а только дурачил людей и что девять десятых человечества — мерзавцы, а остальная одна десятая — дураки (45, т. I, стр. CCV).

Однако эти нравственные страдания не мешали Уатту твердо и деловито отстаивать свои права в суде, где, как жаловался впоследствии Брама, его обзывали во время судебного процесса и дураком, и болваном, и сапожником и ватерклозетным мастером.

Если добавить к перечисленным фактам историю со скользящим золотником, изобретение которого многими (но не Уаттом) приписывалось ему, то станет очевидным, что Уатт в вопросах приоритета был честен и прямолинеен: твердо и решительно отстаивал свои изобретения, но не притязал ни на что чужое.

Уатт не был непонятым или непостижимым гением-одиночкой. Он человечен, и его чисто человеческие свойства позволяют у него учиться, ему подражать. Каждый может научиться знанию предмета, области своей работы, каждый может изучить историю предмета, постичь его научные основы, позаимствовав у Уатта характерное для него упорство в достижении поставленной цели. А прочные и глубокие знания всегда перейдут в умение, дающее способность охвата мыслью и больших горизонтов, и значительных глубин, как это умел делать Уатт, свободно перенося свои умения от одного объекта исследования на другой.

Уатт не принадлежал к числу «одержимых» изобретателей, хотя иногда его пытаются представить таковым, указывая на то, что все его духовные силы, все внимание были отданы только одному объекту — паровой машине. Нам представляется, что этот факт указывает именно на отсутствие «одержимости», заставляющей некоторых, по большей части неудачных, изобретателей бессистемно кидаться от объекта к объекту в поисках своеобразной изобретательской «удачи». Изложенная выше история изобретений Уатта показывает его скорее как ученого, инженера,



Золотая медаль, учрежденная в Англии в 1932 г. в честь Уатта, Снимок сделан с шестнадцатой медали, которой в 1966 г.

конструктора, ставящего перед собой отчетливую задачу и систематически находящего наилучшее ее решение. Так, перед ним последовательно встают увлекательные задачи. Как оставить цилиндр все время горячим, если получение вакуума требует охлаждения? Уатт решает применить отдельный конденсатор. Как соединить поступательно движущийся поршень с качающимся концом балансира? Уатт ищет и находит решение в форме параллелограмма. Как скомпенсировать переменное давление пара в полости цилиндра машины у насосов прямого действия? Уатт дает ряд решений, переходя от менее удачных к более удачным, пока не останавливается на последнем, изумительном по своей простоте и изяществу...

Нет нужды возвращать читателя ко всем перечисленным и раскрытым, насколько это оказалось возможным, задачам и решениям Уатта. Вновь упомянутые три задачи различны по содержанию: первая лежит в области физики тепловых явлений, вторая — в кинематике, третья — в динамике. Но все они объединены одним объектом исследования — паровой машиной, одной целью — достижением максимальной экономичности парового двигателя. И этот объект, эту цель Уатт «преследует» методично, системати-



присуждаемая выдающимся ученым в области машиностроения. награжден советский ученый академик И. И. Артоболевский.

чески, применяя разные методы: то расчет, то эксперимент, то конструирование.

И поэтому не должно казаться чем-то удивительным то обстоятельство, что еще в 1785 г. Уатт начинает отходить от своей упорной деятельности искателя. Его основная задача решена. Оставались детали, частные решения, которыми он изредка занимался до 1800 г. Но в 1785 г. он уже писал Болтону о необходимости прекращения новых опытов изобретений: «Будем в дальнейшем изготовлять те вещи, которые мы умеем делать, и предоставим остальное молодым людям, которым не грозит потеря денег или имени» [101, стр. 68].

Как видно, никакой «одержимости» изобретателя уже нет. Говорит заводчик-фабрикант, боящийся потери прибылей, потери репутации.

Этот же заводчик-фабрикант яростно борется с конкурентами, оспаривающими патенты Уатта или делящими попытки их обхода.

Где же изобретатель? Где замечательное упорство Уатта в решении стоявших перед ним задач? Не стало задач? Для Уатта, у которого в руках любая вещь превращалась в объект научного исследования, это невозможно.

Не стало стимула?

Чем же стимулировались его упорные поиски решений до 1785 г.? Все для машины. И конденсатор, и насосы, и сальники, и балансиры, и компенсаторы... Одна общая задача — машина — стимулировала ряд частных задач.

А почему Уатт так долго и упорно бился над машиной? Машина Уатта — не первая машина. Значит, Уатт бился за новое качество паровой машины? За какое? За экономичность. Именно этот показатель машины привлек к Уатту сначала Ребека, позднее Болтона. Уатт, начавший возню над «упрямой» моделью машины Ньюкомена ради решения интересной и сложной задачи, закончил свои труды над большой машиной, дающей ему громадный доход.

Уатт-изобретатель в 1785 г. превратился в Уатта-фабриканта, наемные инженеры которого ищут для него новые решения, совершенствуя его машину, работавшую до 1800 г. в особо благоприятных условиях, охранявшихся его патентами, преимущественно патентом 1769 г., дававшим фирме «Болтон и Уатт» монопольное право на постройку и применение отдельного конденсатора.

Деятельность Уатта-изобретателя была завершена патентом 1785 г., не вошедшим в историю в качестве вклада в развитие техники. И характерно, что и в этом патенте на улучшение работы топок паровых котлов главное направление оставалось старым — экономичность, выгода, доход.

Эту же линию продолжали инженеры завода. Поставляемые заводом машины, по имеющимся данным [101, стр. 107], из года в год увеличивали экономичность, что видно из табл. 6.

Уатт начал правильную, главную линию в развитии тепловых двигателей, продолжающуюся и поныне. Инженеры его завода за 26 лет повысили эффективность машин на 252%, или в 2,52 раза, а как было показано выше, конденсатор Уатта дал скачок в 2,7 раза!

Очевидно, Уатт имел право на заслуженный отдых.

Долгая жизнь имеет свои недостатки. Уатту пришлось пережить много невозвратимых потерь. В 1794 г. скончался его первый компаньон Ребек; в 1799 г. он потерял своего друга физика Блека, а в 1802 — поэта Дарвина. Через два года смерть унесла его любимого сына Грэгори, на которого возлагалось так много надежд. В 1805 г. неумолимое время вырвало из числа живых профессора Робисона, а в

ТАБЛИЦА 6

Год	Средняя производи- тельность машин		Год	Средняя производи- тельность машин	
	тонно-метры на 1 кг угля	%		тонно-метры на 1 кг угля	%
1812	62,6	100,0	1827	104,0	166,5
1815	66,5	106,0	1830	140,0	224,0
1818	82,3	140,0	1832	146,0	233,0
1821	91,4	146,0	1835	155,0	248,0
1824	91,6	146,3	1838	157,5	252,0

1809 г. Уатт проводил на кладбище своего надежного друга Болтона.

19 августа 1819 г. в возрасте 83 лет в своем доме в Хатфильде Джеймс Уатт спокойно скончался, и его останки были погребены в приходской церкви в Хэндсворте рядом с прахом его друга Болтона.

Посмертно Уатт был удостоен высокой чести. В Лондоне 18 июня 1824 г. было принято решение об установлении памятника Уатту в Вестминстерском аббатстве. Работа над памятником была поручена одному из видных скульпторов Англии — Чантри. Памятник Уатту (фотография с него помещена в начале книги) считается лучшей работой, которая, по словам лорда Брэхема, не для того только выполнена, чтобы увековечить имя, которое будет жить, пока процветают мирные искусства, но чтобы показать также, что человечество располагает талантами для отдания должной чести тем, кто заслужил его глубокую благодарность.

Литература

1. Маркс К. Капитал, т. I.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 23.
2. Маркс К. К критике политической экономии.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 13.
3. Энгельс Ф. Диалектика природы.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20.
4. Энгельс Ф. Положение рабочего класса в Англии.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 1.
5. Ленин В. И. К характеристике экономического романтизма.— Полное собрание сочинений, т. 2.
6. Ленин В. И. Развитие капитализма в России.— Полное собрание сочинений, т. 3.

Источники на иностранных языках

7. Agricola G. (Georg Bauer). De Re Metallica Libri XII. Basle, 1556.
8. Acres. R. D. The art of water-drawing, London, Henry Brome, 1659—1660.
9. Arago F. Notice historique sur les machines a vapeur. Paris, 1829.
10. Belidor B. F. de. Architecture hydraulique, т. I, II. Paris, 1737—1753.
11. Besson J. Theatrum instrumentorum et machinarum. Lyons, 1582.
12. Branca G. Le machine. Rome, 1629.
13. Cardanus N. Opera. De la subtilite, etc. Paris, 1556.
14. Carno Sadi. Reflexions sur la force motrice du feu. Paris, 1824.
15. Caus S. de. Beschreibung von gewaltsamen Bewegungen. Frankfurt, 1615.
16. Comper E. On the invention of James Watt and his models.— «Proc. of the Inst. of Mechan. Engineers», 1883.
17. Dickinson H. W. James Watt craftsman and engineer. Cambridge, 1935.
18. Dickinson H. W. A short history of the steam engine. Cambridge, 1939.
19. Dickinson H. W. The Garret Workshop of James Watt. South Kensington, 1949.
20. Dickinson H. W. and Jenkins Rhys. James Watt and the steam engine. Oxford, 1927.

21. Dickinson H. W. and Vowles H. P. James Watt and the industrial revolution. London — N. Y.— Toronto, 1943.
22. Eberle. Zentralcondensation.— Z. d. Bayr. Dampf und Rev. Ver. 3, 4, 1899.
23. «Encyclopedie Britannica», 11 Edition, 1911.
24. «Engineering», 1919, 22 Aug., p. 229—236.
25. Ernst. James Watt. Berlin, 1891.
26. Ewing G. The steam engine. Cambridge, 1897.
27. Farey J. A treatise of the steam engine, historical, practical and descriptive. London, 1827.
28. Fourier. Theorie analitique de la chaleur. Paris, 1822.
29. Galloway. History of the steam engine. London, 1836.
30. Hachette. Histoire des machines à vapeur, Paris, 1829.
31. Heron of Alexandria. Mechanici. Venice, 1572.
32. Heron of Alexandria. Spirituallium liber. Urbino 1575.
33. Hulls J. A description and draught of a new invented machine for carrying vessels or ships. London, 1737.
34. Konfederatov J. The role of J. J. Polzunoff in the invention of the steam engine. Florence. 1956.
35. Konfederatov J. «Actes du VIII-e Congres International d'Histoire des Sciences». Florence, 1956, p. 1078—1082.
36. Leupold J. Theatrum machinarum hydrotecnicarum. Leipzig, 1724.
37. Leupold J. Theatrum machinarum molarium. Leipzig, 1735.
38. Leupold J. Theatrum machinarum generale oder Schauplatz des Grundes mechanischen Wissenschaften. Leipzig, 1724.
39. Lord. Capital and steam power. По данным А. А. Радцига [101].
40. H. Luke. The Engineers and mechanics. Encyclopedia. London, 1835.
41. Matschoss C. Geschichte der Dampfmaschine. Berlin, 1901.
42. Matschoss C. Die Entwicklung der Dampfmaschine, т. I—II, Berlin, 1908.
43. Matschoss C. Great engineers. Transl. Dr. H. Stafford. Hatfield, London, 1939.
44. «Memorials of the lineage, early life, education and development of the genius of James Watt».
45. Muirhead J. P. The origin and progress of the mechanical inventions of James Watt, illustrated by his correspondence with his friends and the specifications of his patents. In three vol. Vol. I. Introductory memoir and extracts from correspondence. Vol. II.— Extracts from correspondence, Vol. III.— Letters patent, specification of patents and appendix. London, John Murray, 1854.
46. Nickolson. Philos. J., 1748, v. II.
47. Papin D. La manière d'amolir les os et de fair cuire toutes... avec description de la machine donc il se faut servir pour, cet effect... Amsterdam, 1688.
48. Papin D. Traite de plusierus nouvelles machines. Paris, 1698.
49. Papin D. Nouvelle maniere pour lever l'eau par la force du feu mis en lumiere. Cassel, 1707.
50. Prony. Nouvelle architecture hydraulique, pt. 2. 2-me ed., Paris, 1796.
51. Ramelli A. Le diverse et artificiose machine. Paris, 1588.

52. «Relations des expériences entreprises par ordre de monsieur le ministre des travaux publics, et sur la proposition de la commission centrale des machines à vapeur, pour déterminer les principales lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur. «Memoires de l'Academie royale des sciences de l'Institut de France», 1847, t. 21, 1862. t. 26.
53. Reuleaux F. Theoretische Kinematik. Grundzuge einer Theorie des Maschinenwesens. Berlin, 1875.
54. Robinson J. A system of mechanical philosophy. Edinburgh, 1882.
55. Ruhlman. Allgemeine Maschinenlehre, Bd. III. Braunschweig, 1868.
56. Savery T. The miners friend. London, 1702.
57. Schofield R. The Lunar Society of Birmingham. Oxford, 1963.
58. Smiles S. Lives of Bolton and Watt, principally from the original Soho MSS, comprising a history of the invention and introduction of the steam engine. London, 1895.
59. Strada J. de. Kunstliche Abrisse allerhand Wasser-, Wind-Ross- und Hand Molen. Frankfurt, 1617.
60. Stuart R. A descriptive history of the steam engine. London, 1825.
61. Stuart R. Historie Descriptive de la Machine a vapeur. Paris, 1827.
62. Switzer S. An introduction to a general system of hydrostatics and hydraulics, т. I, II. London, 1729.
63. Thurston R. H. Histoire de la machine à vapeur. Paris, 1880.
64. Triewald N. Kort Beskrifning om Eld och Luft Machin wid Dannemora Gruswor. Stockholm, 1734.
65. Veranzio F. Machinae novae. 1590 [приблизительно].
66. Weiss. Die Kondensation. 2. ed. Berlin, 1910.
67. Williamson. Letters respecting the Watts family. Greenock, 1840.
68. Worcester (Edward Samersset). A century of the names and scantlings of such inventions. London, 1663.
69. Zeising H. Theatrum Machinarum. Leipzig, 1708.
70. Ziegler. Specimen physico-chemicum de degistore Papini. Basel, 1759.
71. Zonca V. Novo teatro di machine et edificii. Padua, 1607.

Источники на русском языке

72. Бек Т. Очерки по истории машиностроения. М.—Л., ГТТИ, 1933.
73. Белькинд Л. Д., Конфедератов И. Я., Шнейберг Я. А. История техники. Госэнергоиздат, 1954.
74. Белькинд Л. Д., Веселовский О. Н., Конфедератов И. Я., Шнейберг Я. А. История энергетической техники. М.—Л., Госэнергоиздат, 1960.
75. «Биографический словарь деятелей естествознания и техники», т. I, II. М., 1959.
76. Божерянов. Н. Описание изобретения и постепенного усовершенствования паровых машин. СПб., 1842.
77. «Большая Советская Энциклопедия», изд. 2, т. 26.

78. Брандт А. А. Очерки истории паровой машины и применение паровых двигателей в России. СПб., 1892.
79. Вукалович М. П. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М., Машгиз, 1950.
80. Данилевский В. В. И. И. Ползунов. Труды и жизнь. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.
81. Добролюбов А. А. Общая теория паровых машин и теория паровозов. СПб., 1853.
82. Жирецкий Г. С. Паровые машины. М.—Л., Госэнергоиздат, 1951.
83. Забаринский П. П. Первые «огневые» машины в Кронштадтском порту. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1936.
84. Зворыкин А. А., Осьмова Н. И., Чернышев В. И., Шухардин С. В. История техники. М., Соцэкгиз, 1962.
85. Сернов Д. Е. Прикладная механика, ч. I. Теория механизмов. Лит. курс лекций М., 1895—1896.
86. Каменский А. В. Джемс Уатт. СПб., 1891 («Жизнь замечательных людей»).
87. Конфедератов И. Иван Иванович Ползунов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1951.
88. Конфедератов И. Я. И. Ползунов как изобретатель универсального двигателя.— «Изв. АН СССР», ОТН, 1951, № 5.
89. Конфедератов И. Историческая классификация технологических машин.— «Вопросы истории естествознания и техники», 1962, вып. 13.
90. Конфедератов И. История теплотехники (начальный период, 17—18 вв.). М., Госэнергоиздат, 1954.
91. Конфедератов И. К вопросу о периодизации истории техники.— «Вопросы истории естествознания и техники», 1957, вып. 4.
92. Конфедератов И. Машина (опыт определения, классификации и периодизации).— «Вопросы истории естествознания и техники», 1959, вып. 8.
93. Конфедератов И. Основы энергетики, изд. 1 и 2. М., Изд-во «Просвещение», 1965 и 1967.
94. Кноблаух, Райм, Гаузен и Кох. Таблицы и диаграммы водяного пара. Перевод с немецкого. Госэнергоиздат, М., 1933.
95. Кузнецов Б. Г. История энергетической техники. М., ОНТИ, 1937.
96. Ломоносов М. В. Первые основания металлургии или рудных дел. СПб., 1763.
97. Манту П. Промышленная революция XVIII столетия в Англии (опыт исследования). М., Соцэкгиз, 1937.
98. Михеев М. А. Основы теплопередачи. М.—Л., Госэнергоиздат, 1947.
99. «Общая теплотехника». М.—Л., Госэнергоиздат, 1948.
100. Марк Витрувий Поллион. Десять книг об архитектуре. Пер. с лат. Ф. А. Петровского. М., 1936.
101. Радциг А. А. История теплотехники. М.—Л., ГТИ, 1936.
102. Радциг А. А. Джемс Уатт и изобретение паровой машины. Пг., 1924.

103. Степанов Б. И. Джозеф Блек.— «Наука и жизнь», 1939, № 9.
104. Хотинский М. История машин, пароходов и паровозов. СПб., 1853.
105. [Чижев Федор]. Ф. Ч. Паровые машины. История, описание и приложение их. Взяты из сочинений Пертингтона, Стифенсона и Араго. СПб., 1838.
106. Шлаттер И. Обстоятельное наставление рудному делу... СПб., 1960.
107. Шухардин С. В. Георгий Агрикола. Изд-во АН СССР, 1955.
108. Шухов В. Г. Насосы прямого действия и их компенсация. М., 1894.

Оглавление

Предисловие	5
<i>Глава первая.</i>	
Историческая характеристика развития техники к началу деятельности Д. Уатта	7
<i>Глава вторая</i>	
Предшественники и современники Уатта	26
<i>Глава третья.</i>	
Биографические данные о Д. Уатте, его теоретической и практической подготовке	57
<i>Глава четвертая.</i>	
Главная задача в деятельности Уатта и ее решение	78
<i>Глава пятая.</i>	
Исследования свойств водяного пара как рабочего тела паровых машин. Последнее недостающее звено — отдельный конденсатор	104
<i>Глава шестая.</i>	
Патент 1769 г. Эксплуатация изобретений Уатта . .	127
<i>Глава седьмая.</i>	
«...Двигатель, универсальный по своему техническому применению и сравнительно мало зависящий от тех или иных условий места его работы»	162
<i>Глава восьмая.</i>	
Начало нового этапа в развитии теплоэнергетики . .	194
Литература	218

Иван Яковлевич Конфедератов

**Джеймс Уатт —
изобретатель паровой машины**

*Утверждено к печати редколлегией
научно-биографической серии
Академии наук СССР*

Редактор *В. И. Алексеев*
Технический редактор *В. В. Тарасова*

Сдано в набор 5/XII 1968 г.

Подписано к печати 10/IV 1969 г.

Формат 84×108¹/₃₂. Усл. печ. л. 11,76+0,1 вкл.

Уч.-изд. л. 11,0. Тираж 6700 экз. Т-05719

Бумага № 2. Тип. зак. 1488

Цена 66 коп.

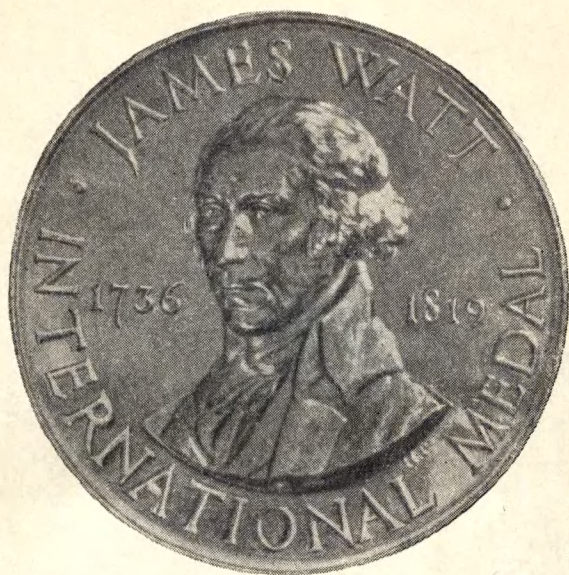
Издательство «Наука».
Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука».
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

Опечатки и исправления

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
69	10 св.	металлических	механических
112	6, 7 св.	плоскостью	полостью
141	4 св. (подпису- точная подпись)	фрикционного	роликового

ДЖЕМС УАТТ



ДЖЕМС
УАТТ

И А. КОНФЕЛРАТОР

66 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
· Н А · У К А ·