

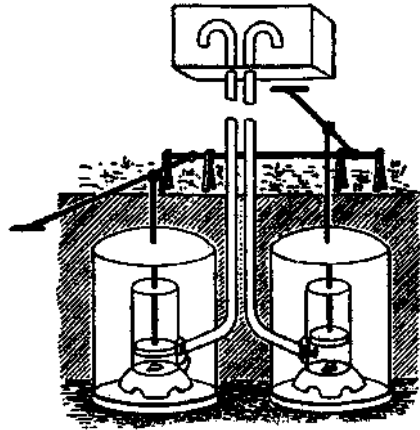
ПАРОВАЯ МАШИНА

Вплоть до второй половины XVIII века люди использовали для нужд производства в основном водяные двигатели. Так как передавать механическое движение от водяного колеса на большие расстояния невозможно, все фабрики приходилось строить на берегах рек, что не всегда было удобно. Кроме того, для эффективной работы такого двигателя часто требовались дорогостоящие подготовительные работы (устройство прудов, строительство плотин и тому подобное). Были у водяных колес и другие недостатки:

они имели малую мощность, работа их зависела от времени года и с трудом поддавалась регулировке. Постепенно стала остро ощущаться нужда в принципиально новом двигателе: мощном, дешевом, автономном и легкоуправляемом. Именно таким двигателем на целое столетие стала для человека паровая машина.

Идея парового двигателя была отчасти подсказана его изобретателям конструкцией поршневого водяного насоса, который был известен еще во времена античности.

Принцип его работы был очень прост: при подъеме поршня вверх вода засасывалась в цилиндр через клапан в его дне. Боковой клапан, соединявший цилиндр с водоподъемной трубой, в это время был закрыт, так как вода из этой трубы так же стремилась войти внутрь цилиндра и тем самым закрывала этот клапан. При опускании поршня он начинал давить на воду в цилиндре, благодаря чему закрывался нижний клапан и открывался боковой. В это время вода из цилиндра подавалась вверх по водоподъемной трубе. В поршневом насосе работа, получаемая извне, расходовалась на продвижение жидкости через цилиндр насоса. Изобретатели паровой машины старались использовать ту же конструкцию, но только в обратном направлении. Цилиндр с поршнем лежит в основе всех паровых поршневых двигателей. Первые паровые машины, впрочем, были не столько двигателями, сколько паровыми насосами, используемыми для откачки воды из глубоких шахт. Принцип их



*Двухпоршневой водяной насос
Ктесибия, II в. до Р.Х.*

действия основывался на том, что после своего охлаждения и конденсации в воду пар занимал пространство в 170 раз меньше, чем в разогретом состоянии. Если вытеснить из сосуда воздух разогретым паром, закрыть его, а потом охладить пар, давление внутри сосуда будет значительно меньше, чем снаружи. Внешнее атмосферное давление будет сжимать такой сосуд, и если в него поместить поршень, он будет двигаться внутрь с тем большей силой, чем больше его площадь.

Впервые модель такой машины была предложена в 1690 году Папеным. В 1702 году создал свой насос Севери. Но наиболее широко применялась в первой половине XVIII века паровая машина Ньюкомена, созданная в 1711 году.

Паровой цилиндр помещался у Ньюкомена над паровым котлом. Поршневой шток (стержень, соединенный с поршнем) был соединен гибкой связью с концом балансира. С другим концом балансира был соединен шток насоса. Поршень поднимался в верхнее положение под действием противовеса, прикрепленного к противоположному концу балансира. Кроме того, движению поршня вверх помогал пар, запускаемый в это время в цилиндр. Когда поршень находился в крайнем верхнем положении, закрывали кран, впускавший пар из котла в цилиндр, и вбрызгивали в цилиндр воду. Под действием этой воды пар в цилиндре быстро охлаждался, конденсировался, и давление в цилиндре падало. Вследствие создавшейся разницы давлений внутри цилиндра и вне его, силой атмосферного давления поршень двигался вниз, совершая при этом полезную работу — приводил в движение балансир, который двигал шток насоса. Таким образом, полезная работа выполнялась только при движении поршня вниз. Затем снова запускали пар в цилиндр. Поршень опять поднимался вверх, и весь цилиндр наполнялся паром. Когда снова вбрызгивали воду, пар снова конденсировался, после чего поршень совершал новое полезное движение вниз, и так далее. Фактически в машине Ньюкомена работу совершало атмосферное давление, а пар служил только для создания разреженного пространства.

В свете дальнейшего развития парового двигателя становится ясным основной недостаток машины Ньюкомена — ра-

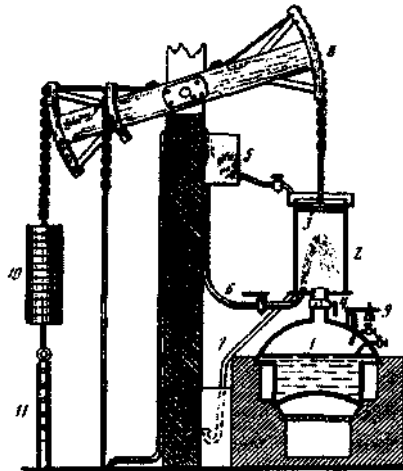


Схема пароатмосферной машины Ньюкомена: 1 - котел; 2 - цилиндр; 3 - поршень; 4 - кран; 5 - резервуар; 6 - кран; 7 - труба; 8 - балансир; 9 - предохранительный клапан; 10 - гвиз; 11 - водоотливной насос.

бочий цилиндр в ней являлся в то же время и конденсатором. Из-за этого приходилось поочередно то охлаждать, то нагревать цилиндр, и расход топлива оказывался очень велик. Бывали случаи, когда при машине находилось 50 лошадей, едва успевавших подвозить необходимое топливо. Коэффициент полезного действия (КПД) этой машины едва ли превышал 1%. Другими словами, 99% всей теплотворной энергии терялось бесплодно. Тем не менее эта машина получила в Англии распространение, особенно на шахтах, где уголь был дешевый. Последующие изобретатели внесли несколько усовершенствований в насос Ньюкомена. В частности, в 1718 году Бейтон придумал самодействующий распределительный механизм, который автоматически включал или отключал пар и впускал воду. Он же дополнил паровой котел предохранительным клапаном.

Но принципиальная схема машины Ньюкомена оставалась неизменна на протяжении 50 лет, пока ее усовершенствованием не занялся механик университета в Глазго Джеймс Уатт. В 1763—1764 годах ему пришлось чинить принадлежавший университету образец машины Ньюкомена. Уатт изготовил небольшую ее модель и принялся изучать ее действие. При этом он мог использовать некоторые приборы, принадлежавшие университету, и пользовался советами профессоров. Все это позволило ему взглянуть на проблему шире, чем смотрели на нее многие механики до него, и он смог создать гораздо более совершенную паровую машину.

Работая с моделью, Уатт обнаружил, что при запуске пара в охлажденный цилиндр он в значительном количестве конденсировался на его стенках. Уатту сразу стало ясно, что для более экономичной работы двигателя целесообразнее держать цилиндр постоянно нагретым. Но как в этом случае конденсировать пар? Несколько недель он раздумывал, как разрешить эту задачу, и наконец сообразил, что охлаждение пара должно происходить в отдельном цилиндре, соединенном с главным короткой трубкой. Сам Уатт вспоминал, что однажды во время вечерней прогулки он проходил мимо прачечной и тут при виде облаков пара, вырывающихся из окошка, он догадался, что пар, будучи телом упругим, должен устремляться в разреженное пространство. Как раз тогда ему пришла мысль, что машину Ньюкомена надо дополнить отдельным сосудом для конденсации пара. Простой насос, приводимый в движение самой машиной, мог удалять из конденсатора воздух и воду, так что при каждом ходе машины там бы могло создаваться разреженное пространство.

Вслед за тем Уатт внес еще несколько усовершенствований, в результате чего машина приняла следующий вид. К обеим сторонам цилиндра были подведены трубки: через нижнюю пар поступал внутрь из парового котла, через верхнюю — отводился в конденсатор. Конденсатор представлял собой две жестяные трубки, стоявшие вертикально и сообщавшиеся между собой сверху короткой горизонтальной трубкой с отверстием, перекрывавшимся краном. Дно этих трубок было соединено с третьей вертикальной трубкой, которая служила воздушным отводным насосом. Трубки, составлявшие хо-

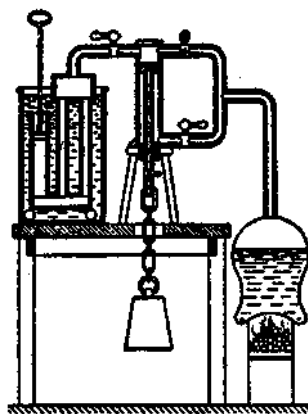
лодильник и воздушный насос, были помещены в небольшой цилиндр с холодной водой. Паровая трубка была соединена с котлом, из которого пар выпускался в цилиндр. Когда пар заполнял цилиндр, паровой кран закрывали и поднимали поршень воздушного насоса конденсатора, вследствие чего в трубках конденсатора получалось сильно разреженное пространство. Пар устремлялся в трубки и конденсировался там, а поршень поднимался вверх, увлекая за собой груз (так измеряли полезную работу поршня). Затем выпускной кран закрывали.

В 1768 году на основе этой модели на шахте горнозаводчика Ребука была построена большая машина Уатта, на изобретение которой он получил в 1769 году свой первый патент. Самым принципиальным и важным в его изобретении было разделение парового цилиндра и конденсатора, благодаря чему не затрачивалась энергия на постоянный разогрев цилиндра. Машина стала более экономичной. Ее КПД увеличился.

Несколько последующих лет Уатт упорно трудился над совершенствованием своего двигателя. При этом ему пришлось преодолеть множество затруднений как финансового, так и технического порядка. Он вошел в компанию с владельцем металлообрабатывающего завода Болтоном, который обеспечил его деньгами. Были и другие проблемы: двигатель требовал герметичности и точнейшей подгонки деталей друг к другу. Поршень и цилиндр должны были идеально подходить по своим размерам, чтобы не допускать утечки пара. Такая точность была в новинку для машиностроения тех времен, не было даже необходимых точных станков. Выточка цилиндров большого диаметра представлялась почти неразрешимой проблемой. В результате первые машины Уатта работали неудовлетворительно: из цилиндра вырывался пар, конденсаторы действовали плохо, пар свистел через отверстие, в котором двигался поршневой шток, просачивался между стенками поршня и цилиндра.

Пришлось создавать специальные станки для расточки цилиндров. (Вообще, создание паровой машины положило начало настоящей революции в станкостроении — чтобы освоить производство паровых двигателей, машиностроению пришлось подняться на качественно более высокий уровень.) Наконец все трудности

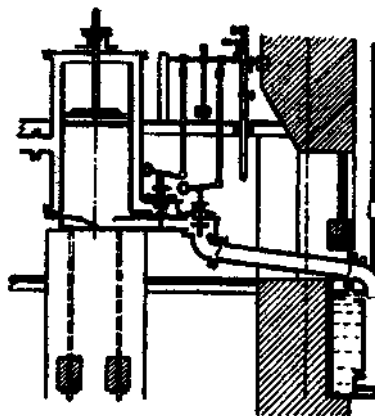
были преодолены, и с 1776 года началось фабричное производство паровых машин. В машину 1776 года по сравнению с конструкцией 1765 года было внесено несколько принципиальных улучшений. Поршень помещался внутри цилиндра, окруженный паровым кожухом



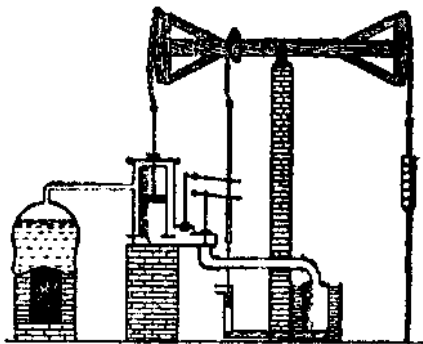
Экспериментальная машина Уатта, 1765 г.

(рубашкой). Благодаря этому была до минимума сокращена потеря тепла. Кожух сверху был закрыт, тогда как цилиндр — открыт. Пар поступал в цилиндр из котла по боковой трубе. Цилиндр соединялся с конденсатором трубой, снабженной паровыпускным клапаном. Несколько выше этого клапана и ближе к цилиндру был размещен второй, уравнивающий клапан. Когда оба клапана были открыты, пар, выпущенный из котла, наполнял все пространство над поршнем и под ним, вытесняя воздух по трубе в конденсатор.

Когда клапаны закрывали, вся система продолжала оставаться в равновесии. Затем открывали нижний выпускной клапан, отделяющий пространство под поршнем от конденсатора. Пар из этого пространства направлялся в конденсатор, охлаждался здесь и конденсировался. При этом под поршнем создавалось разреженное пространство, и давление падало. Сверху же продолжал оказывать давление пар, поступавший из котла. Под его действием поршень спускался вниз и совершал полезную работу, которая при помощи балансира передавалась штоку насоса. После того как поршень опускался до своего крайнего нижнего положения, открывался верхний, уравнивающий, клапан. Пар снова заполнял пространство над поршнем и под ним. Давление в цилиндре уравнивалось. Под действием противовеса, расположенного на конце балансира, поршень свободно поднимался вверх (не выполняя при этом полезной работы). Затем весь процесс продолжался в той же последовательности. Хотя эта машина Уатта, так же как и двигатель Ньюкомена, оставалась односторонней, она имела уже важное отличие — если у Ньюкомена работу совершало атмосферное давление, то у Уатта ее совершал пар. Увеличивая давление пара, можно было увеличить мощность двигателя и таким образом влиять на его работу. Впрочем, это не устраняло основного недостатка такого типа машин — они совершали только одно рабочее дви-



Машина Уатта, 1776 г.



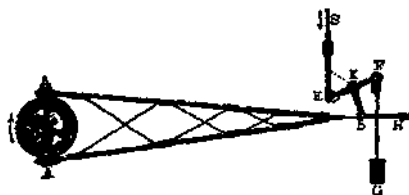
жение, работали рывками и потому могли использоваться только как насосы. В 1775—1785 годах было построено 66 таких паровых двигателей.

Для того, чтобы паровой двигатель мог приводить в действие другие машины, необходимо было, чтобы он создавал равномерное круговое движение.

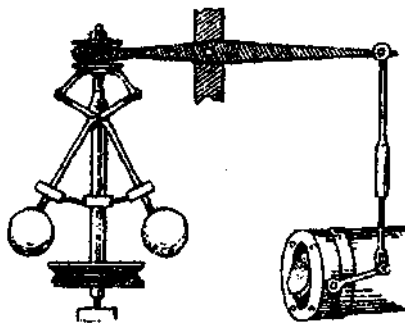
Принципиальное отличие такой машины состояло в том, что поршень должен был совершать два рабочих движения — и вперед и назад. Такой двигатель двойного действия был разработан Уаттом в 1782 году. Пар здесь выпускался то с одной, то с другой стороны поршня, причем пространство на стороне, противоположной впуску пара, соединялось каждый раз с конденсатором. Эта задача была разрешена с помощью остроумной системы отводных труб, закрывавшихся и открывавшихся с помощью золотника.

Золотник представлял собой задвижку, которая перемещалась перед двумя отверстиями для пропускания пара. При каждом ходе задвижки в одну или другую сторону открывалось одно отверстие и закрывалось другое, вследствие чего переменался путь, по которому мог проходить пар. Движение золотника имело сложный характер: при каждом крайнем положении, когда одно отверстие открыто, а другое закрыто, он должен был останавливаться на некоторое время, чтобы пропустить порцию пара, а среднее положение проходить как можно быстрее. Движением золотника управлял особый механизм, расположенный на валу. Главной частью в нем был эксцентрик.

Эксцентрик, изобретенный Уаттом, состоял из пластины особой формы, сидящей на оси, находящейся не в центре этой пластины, а на некотором расстоянии от него. При таком креплении на одной стороне оси находилась большая часть пластины, чем на другой. Сама пластина была охвачена кольцом, к которому крепилась тяга, движущая золотник. Во время вращения пластины ее округлость постоянно давила на новую точку внутри поверхности кольца и своей более широкой стороной приводила его в движение. Вместе с каж-



*Эксцентрик и золотник
в машине Уатта*

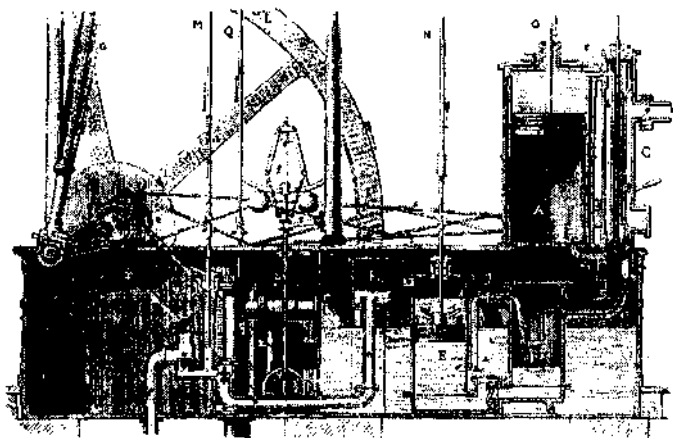


*Регулятор давления пара
в машине Уатта*

дым поворотом вала происходил один ход золотника. Характер вращения кольца (и соответственно движение тяги) зависел от того, какой формы пластина вставлена в эксцентрик. Путем расчетов была подобрана такая форма, которая во время одного оборота обуславливала то ускорение, то замедление, то остановку золотника. Введением этого приспособления Уатт сделал работу своей машины полностью автоматической.

В первое время за работой двигателя наблюдал рабочий, в обязанность которого входило регулировать подачу пара. Если двигатель начинал давать слишком большие обороты, он специальной заслонкой несколько перекрывал парораспределительную трубу и тем уменьшал давление пара. Затем эта функция была возложена на особый центробежный регулятор, устроенный следующим образом. Движение рабочего вала передавалось шкиву регулятора. Когда последний начинал вращаться слишком быстро (а следовательно, чрезмерно возрастало число оборотов двигателя), шары регулятора поднимались вверх под действие центробежной силы и приводили в движение муфту клапана и рычаг, который ограничивал количество пара. При уменьшении числа оборотов шары опускались и клапан приоткрывался.

С учетом работы всех этих устройств легко представить общий принцип действия машины. Из парового котла пар по трубе проходил в пространство *b*, а оттуда вследствие движения золотника направлялся в цилиндр то над поршнем *B*, то под ним. Когда пар вступал в пространство над поршнем, последний опускался, а попав под поршень, поднимал его. В паровой трубке находился клапан, который пропускал, смотря по надобности, больше или меньше пара. Положение клапана регулировалось паровым центробежным



*Паровой двигатель Уатта двойного действия
с вращательным движением*

регулятором f . На главном валу сидел эксцентрик e , стержень которого SS проходил по другую сторону машины под коробку золотника и с помощью рычага то поднимал, то опускал золотник. Движение поршня B передавалось штоку O , который совершенно плотно проходил в крышку цилиндра, а от него — к подвижному коромыслу. На противоположном конце коромысла находилась часть G , которая захватывала снизу кривошип главного вала K . Таким образом, при каждом восхождении и нисхождении поршня происходил один оборот этого вала и сидящего на нем маховика L . Сила передавалась от главного вала с помощью ремней или других средств туда, где ею должны были пользоваться. В нижней части машины находился конденсатор. Он состоял из резервуара, наполненного водой, которая постоянно возобновлялась с помощью насоса q , и бака O , где происходила конденсация. Холодная вода не только окружала бак, но и вбрызгивалась в него через множество мелких отверстий. Спущенная горячая вода постоянно выкачивалась с помощью водяного насоса C . Теплая вода поступала в ящик и с помощью насоса Mn вновь выкачивалась в паровой котел.

Создание механизма передающего движение от поршня к валу, потребовало, от Уатта огромных усилий. Многие разрешенные им задачи вообще находились на границе технических возможностей того времени. Одна из проблем заключалась в создании необходимой герметичности. В цилиндре с двойным действием, в отличие от цилиндра с одиночным действием, обе стороны должны были быть плотно закрыты. Но так как поршень должен был иметь связь с внешними частями, то в крышке оставляли круглое отверстие, в котором совершенно плотно ходил шток (стержень) поршня. Уатт придумал вкладывать в крышку крепко свинченный толстый слой намащенной пакли, по которой стержень скользил, не касаясь металла цилиндра. Причем стержень из-за своей гладкости терся очень мало. Другая проблема заключалась в самом механизме преобразования движения: ведь для передачи полезной работы, прodelьваемой поршнем при его движении вверх, необходимо было, чтобы шток поршня жестко соединился с балансиром. На всех предыдущих паровых двигателях они соединялись цепью. Теперь приходилось думать над тем, как жестко связать между собой шток, двигавшийся прямолинейно, и конец балансира, перемещавшийся по дуге. Уатт добился этого, создав особое передающее устройство, которое так и называется параллелограммом Уатта.

Конец коромысла A был соединен здесь шарнирно тягой AOB с точкой B рычага BC , со-

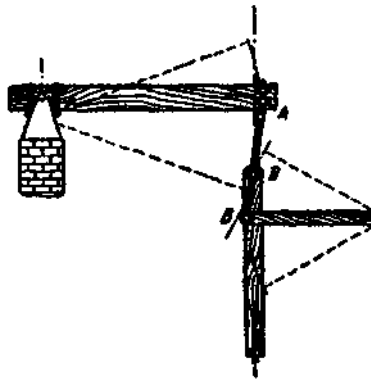


Схема параллелограмма Уатта

единенного точкой С с какой-нибудь неподвижной частью двигателя. Таким образом, вся система имела две неподвижные точки вращения: центр балансира, вокруг которой совершал колебательные движения балансира, и точки С, вокруг которой вращался рычаг СВ. Точка А на конце балансира и точка В на конце рычага СВ совершали движение по дугам, описанным из центра балансира и из точки С. При этом точка О на тяге АОВ, соединяющей точки А и В, совершала движения очень близкие к вертикальным и прямолинейным. Эта точка и была соединена со штоком поршня. Впоследствии Уатт усовершенствовал это передающее устройство, получив две точки, соединяющие прямолинейное движение. Одну из них он соединил со штоком поршня, а другую — со штоком вспомогательного насоса, обслуживающего двигатель. Создание этого передаточного устройства потребовало от Уатта столько усилий, что он считал его своим величайшим изобретением. Он писал: «Хотя я не особенно забочусь о своей славе, однако горжусь изобретением параллелограмма более, чем каким-либо из других моих изобретений». Затем колебательные движения балансира преобразовывались с помощью кривошипа во вращательное (поскольку кривошипный механизм был запатентован Пикаром, в первых машинах Уатта колебательное движение балансира во вращательное преобразовывалось с помощью созданного Уаттом солнечно-планетарного механизма; как только патент Пикара истек, стали применять кривошипную передачу). Благодаря полученному в результате всех этих преобразований вращательному движению рабочего вала новый двигатель Уатта годился для привода других рабочих машин. Это позволило ему сыграть революционную роль в развитии крупной машинной индустрии. За 1785—1795 годы было выпущено 144 таких паровых двигателя, а к 1800 году в Англии функционировала уже 321 паровая машина Уатта. Их применяли буквально во всех сферах производства.

Великое творение Уатта было по достоинству оценено современниками и потомками. После смерти изобретателя в 1819 году английский парламент почтил его память сооружением мраморного памятника в Вестминстерском аббатстве.

Источник: Рыжков К.В. 100 великих изобретений. — М.: Вече, 1999. — 528с. — (100 великих).