



**ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ  
ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ**



# Анатолий Александрович Шейпак

## История науки и техники.

### Энергомашиностроение

*Издательский текст*

[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=24115498](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=24115498)

*История науки и техники. Энергомашиностроение: Прометей; М.; 2017*

*ISBN 978-5-906879-26-4*

#### **Аннотация**

Настоящая книга является продолжением серии учебных пособий по курсу «История науки и техники», поставленному в Московском государственном индустриальном университете. Книга, посвященная истории автомобилестроения и некоторым смежным вопросам издана в 1996 году (первое издание) и в 1998 году (второе издание). Истории создания основных материалов и технологий издана в двух частях: часть 1 – в 2001 году и часть 2 – в 2002 году. Учебное пособие написано для направления 552700 (?) «Энергомашиностроение» (дисциплины Введение в специальность и История науки и техники) и специальности «Двигатели внутреннего сгорания» (дисциплина История науки и техники). Предполагается, что бакалавры техники и технологии по направлению «Энергомашиностроение» в дальнейшем будут специализироваться в области гидравлических машин, гидравлических и пневматических приводов. Содержание

учебного пособия учитывает научное направление выпускающей кафедры, поэтому объем разделов по истории насосостроения и двигателестроения заметно больше, чем по другим вопросам. История таких энергетических машин как холодильники и тепловые насосы не рассмотрены совсем, так как они освещены во второй части книги «Материалы и технологии».

*В формате a4.pdf сохранен издательский макет.*

# Содержание

1. Введение	6
2. Человек и животное как источники энергии	14
3. Насосы	26
3.1. Первые машины и устройства для подачи воды	26
3.2. Немного скучноватых, но нужных определений	34
3.3. Архимедов винт	39
3.4. Поршневые насосы	42
3.5. Первые роторные насосы	51
Конец ознакомительного фрагмента.	53

**Анатолий**  
**Александрович Шейпак**  
**История науки и техники.**  
**Энергомашиностроение**

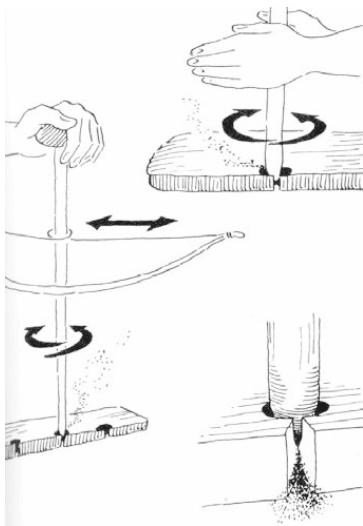
© А. А. Шейпак, 2017.

© Издательство «Прометей», 2017.

# 1. Введение

*Наука открывает то, что есть; инженеры превращают это знание в то, чего никогда не было.*  
*Теодор фон Карман*

Прошло 400000 лет с тех пор, как в пещерах и на других стоянках первобытного человека впервые появился огонь. Не менее 100000 лет огонь был неотъемлемой характеристикой нашей жизни, отличая разумного человека от животного мира наряду с речью. Почитаемый как божество и ставший основой многих мифов и произведений искусства, огонь стал важнейшим фактором цивилизации.



*Рис. 1.1. Получение огня с помощью сверления дерева*

*Сначала тепловая энергия использовалась для обогрева жилища, освещения и приготовления пищи. Это позволило человеку расселиться по всей Земле, выйдя из тропической Родины.*

Сила рабов, домашних животных, воды и ветра обеспечивала величину «энерговооруженности», например, среднего римлянина не более 1 кВт, а патриция – около 10 кВт. Средние века оставили среднюю энерговооруженность человечества примерно на том же уровне.

*Затем двигатели, работающие на природном топливе,*

заменили мускульную энергию людей и животных и стали предпосылкой возникновения индустриальных обществ с многочисленными городами, промышленными предприятиями и транспортными сетями. Человечество использует в настоящее время энергию, составляющую лишь одну пятнадцатитысячную часть энергии солнечного излучения, мощность которого составляет 178000 ТВт. Значительно меньше доля энергии обусловлена движением Луны (энергия морских приливов) и процессами, происходящими в ядре Земли (геотермальная энергия). Лишь незначительная часть – 0,06 % – солнечной радиации расходуется на фотосинтез, благодаря которому на Земле существует все живое и образуются запасы ископаемого топлива (30 % отражается обратно в космическое пространство, 50 % поглощается, превращаясь в тепло, примерно 20 % расходуется на поддержание гидрологического цикла. 18 % получаемой человечеством энергии приходится на возобновляемые источники, включая гидроэнергию и биомассу, и 4 % – на ядерную энергию. Большая часть обеспечивается за счет добычи ископаемого топлива: угля, нефти, газа.

Решение энергетических проблем в прошлом зависело от технических возможностей и от темпов научно-технического развития страны. Начиная с середины XIX в. наметился переход от использования в качестве источников энергии ветра, воды и дров к использованию угля, а позже нефти и природного газа. В основе этого перехода лежит взаи-

мосвязь между энергией и техническим развитием, наличие которой подтверждается тремя фазами промышленной революции. На протяжении первой фазы, начало которой относится к XVIII в. доминирующими технологиями были добыча угля, плавление и выплавка железа, а затем применение паровых двигателей в наземном и морском транспорте. Составляющие этой системы были тесно переплетены: паровой двигатель, изобретенный англичанином Томасом Ньюкоммом и первоначально выполнявший только роль привода насоса для откачивания воды из шахт, позднее был усовершенствован Джеймсом Уаттом и использовался для привода транспортных средств и снабжения плавильных устройств сжатым воздухом. Плавильни в свою очередь позволяли получать металл, необходимый для изготовления паровых двигателей, паровозов, железнодорожного полотна, морских судов и механизмов, используемых для добычи угля. Создание транспортной системы и промышленного оборудования для фабрик и заводов обеспечило условия для быстрой индустриализации. К концу XIX в. мир опять преобразовался благодаря электричеству, двигателям внутреннего сгорания, паровым и газовым турбинам, аэропланам, а также развитию химической промышленности и металлургии. Нефть оказалась незаменимым сырьем для получения горючего и химических материалов. В наше время человечество вступило в третью фазу промышленной революции, характеризующейся переходом к массовому использованию вычислительной

техники, новых материалов, оптоэлектроники и биотехнологии.

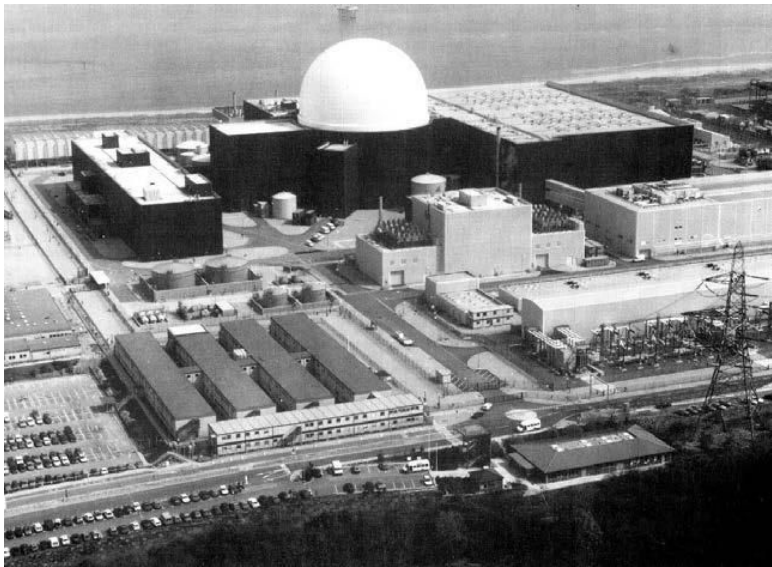
Электричество в настоящее время является основой современной жизни. Оно представляет собой уникальную форму существования энергии с точки зрения универсальности применения для эффективного выполнения множества задач. Чуть более чем за 10 лет электричество изменило образ жизни населения большинства стран. Освещение, нагрев и охлаждение, электромеханическое оборудование, медицинские приборы, компьютеры, средства коммуникации и множество других услуг обеспечивает электричество.

По мере того как растет численность населения (от нескольких сотен миллионов в начале промышленной революции до 6 миллиардов сегодня) и стремление людей к достижению все более высокого уровня жизни, увеличивается и количество потребляемой в мире энергии. Человечество хочет, подобно Адаму и Еве, досыта вкушать плоды энергетического дерева, выращенного многими поколениями людей. В то же время мы начали испытывать беспокойство за состояние окружающей среды и за истощение запасов энергоресурсов.

Мы живем примерно в 1 миллиарде жилых домов и ездим на 500 миллионах автомобилей. Общее количество потребляемой ежегодно энергии выросло с 1860 года почти в сто раз. Природный газ транспортируется по магистральным трубопроводам общей протяженностью примерно 1 милли-

он км, а нефть – по трубопроводам общей длиной около 500000 км, не считая локальных систем распределения. Примерно 2600 танкеров с сырой нефтью бороздят океаны, перевозя ее из одной страны в другую, и еще множество морских судов обеспечивают доставку сжиженного природного газа в различные страны мира. В результате растущего потребления энергии запасы ископаемого топлива истощаются в 100000 раз быстрее, чем они успевают накапливаться в недрах Земли. В то же время в ее атмосфере накапливается двуокись (диоксид) углерода и другие вредные компоненты.

Важнейшим достижением прогресса явилось создание электрических станций: гидравлических и тепловых. Затем основной задачей человечества стало использование атомной энергии. Электричество является наиболее гибким видом энергии, который легко преобразуется в различные другие ее виды, легко транспортируется, отличается высокой экологичностью.



*Рис. 1.2.* Атомная электростанция

Электрические машины и аппараты являются необходимыми составляющими почти любой тепловой, гидравлической и пневматической системы. Появился термин «мехатроника», который относится к системам, включающим в себя механическую часть (гидравлическую и пневматическую как разновидность механической), а также силовую и управляющую электрическую и электронную.

Подытоживая, сформулируем целесообразность знания истории науки и техники для современного специалиста:

1. При исследовании новой научной проблемы или создании нового объекта техники используется, как правило, несколько гипотез и путей решения. Знание истории науки и техники позволяют выбрать закономерный путь развития.

2. Знание истории развития науки и техники позволяет обоснованно выбрать правильную альтернативу для дальнейшего определения развития науки и техники.

3. Знание истории развития науки и техники подсказывает исторические аналоги решения подобной проблемы в прошлом.

4. Знание истории развития науки и техники позволяет выявить приемы научного познания и научного творческого мышления.

5. Изучая историю науки и техники, специалист «переживает» всю историю развития науки и техники, осмысляет ее и таким образом формирует свое научное миропонимание, воспитываясь и обучаясь на опыте прошлого.

6. Изучение и знание истории развития науки и техники позволяет выявить законы и закономерности развития науки и техники в целом.

Очевидно, что приведенная аргументация справедлива и для будущего специалиста в области энергомашиностроения.

## 2. Человек и животное как источники энергии

Все живое во вселенной может быть источником энергии, так как участвует в круговороте обмена веществ. Человека можно как машину, которая выполняет несколько преобразований. Во-первых, энергетическое: энергия пищи через цепочку изменений преобразуется в тепло и механическую энергию. Руки можно рассматривать в качестве рабочей машины, которая изменяет форму или состояние объекта труда, например, при изготовлении каменного наконечника копья. Если использует каменную зернотерку для изготовления муки из зерен пшеницы (один из наиболее трудоемких процессов в ранней истории человеческой цивилизации), то он выступает в качестве первичного двигателя – источника механической энергии. Любой двигатель характеризуется, прежде всего, мощностью. Мощность человека не превышает 100 ватт.

Эта величина равна мощности яркой электрической лампочки и примерно в 5000 раз меньше мощности мотора легкового автомобиля. Однако и такую небольшую мощность может обеспечить только сильный мужчина в течение непродолжительного времени. Средние величины несколько меньше и зависят от вида движения: при возвратно-поступатель-

ном движении 48 ватт, а при вращательном – 66. Средняя мощность лошади не превышает 636 ватт, а быка из-за меньшей величины возможной скорости – только 424. В Древнем мире часто использовали в качестве домашних животных ослов с мощностью 60 ватт. В Европе находили широкое применение мулы (гибрид кобылы и осла). Средняя мощность этого животного равна 318 ваттам. В Древнем Риме одна лошадь заменяла труд десяти рабов, однако римляне предпочитали людской труд. Поэтому после того как прославленные легионы перестали захватывать рабов, обнаружилась заметная нехватка рабочих рук. Сила рабов, домашних животных, воды и ветра обеспечивала величину «энерговооруженности» среднего римлянина в период расцвета Римской Империи – не более 1 кВт, патриция – около 10 кВт.



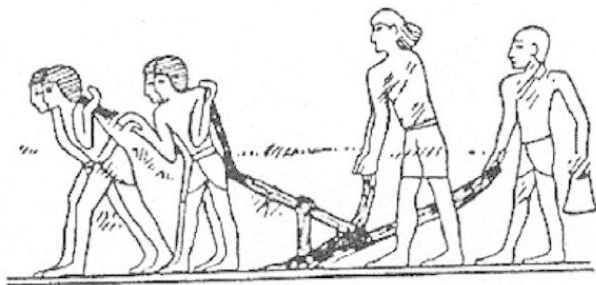
*Рис. 2.1.* Подача воды в Древнем Египте

Основной задачей инженеров при использовании мускульной силы состояла в создании механизмов и устройств, приспособляющих человека или животное для выполнения определенного типа работы, не свойственной живому организму при обычной, обусловленной эволюцией, жизни биологического вида.

Человек приводил в движение механизмы либо руками, либо ногами, мышцы которых сильнее. В последнем случае использовались так называемые ступальные машины или топчаки. Одно из первых описаний таких устройств приведено в книге инженера и архитектора Марка Витрувия, жив-

шего во времена Юлия Цезаря и императора Августа (примерно 16 г. до н. э.) «Архитектура».

Эта «машина» служила для подъема воды из природного водоема в водохранилище. Вокруг вала устанавливалось колесо с диаметром, соответствующим высоте, на которую должна подаваться вода. Обшивка колеса делалась из планок и реек для упора ног. Вал колеса закреплялся между двумя вертикальными столбами, укрепленными в дне водоема. В верхней части столба имелась горизонтальная перекладина, за которую можно было держаться руками. Вращательное движение колеса обеспечивалось ступательным движением человека (или нескольких людей) по цилиндрической поверхности колеса.



*Рис. 2.2. Пахота в Древнем Египте*

В книге Вануччо Бирингуччо из Сиены(Италия), жившим

в середине XVI века, описан другой принцип ступального способа передачи энергии человека для привода воздуходувного меха. К потолку привязывался пеньковый канат таким образом, чтобы он свисал между двумя мехами. На канате укреплялся поперечный брус, причем каждый его конец привязывался веревкой к одной из крышек меха. Брус одновременно служил опорой для рук рабочего. Когда наступали попеременно то на один, то на другой мех, то создавали сильную струю воздуха.

Поперечный брус, пропущенный через вертикальный вал, позволял эффективно использовать энергию двух людей при вращательном движении. Такое устройство с зубчатым механизмом описано Георгием Агриколой (1490–1555 гг.), жившем в Саксонии (историческая область в Германии).

Иногда ступальный принцип для привода воздуходувных мехов и водяных насосов использовался в устройствах типа качелей. Рабочий попеременно переносил вес своего тела на правую или левую ногу, создавая усилие на приводной механизм.

Сила веса рабочего использовалась и в некоторых типах ступальных колес, когда он находился вне колеса на специальном помосте и наступал ногой на короткие радиальные лопасти, закрепленные на наружной окружности. Такой механизм описан в начале XVI века Фаустом Верантием, жившим в Венецианской республике.

Одной из трудоемких технологий в Древнем мире и сред-

невековье был помол зерна в муку. В бронзовом веке зерно толкли в ступе или растирали на камне. Примерно в VI в. до н. э. была изобретена ручная вращательная мельница. В ней зерно растиралось между двумя каменными жерновами, причем верхний жернов вращался на бронзовом или железном стержне, укрепленном в нижнем, более массивном жернове. При больших размерах такую мельницу вращали, ходившие по кругу рабыни, или осел, упряжь которого крепилась к верхнему жернову.

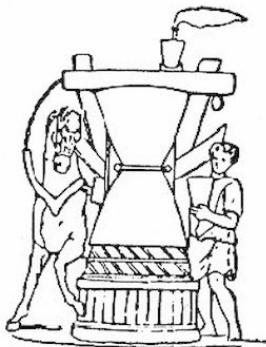
Так как упряжь вплоть до развитого средневековья была несовершенной, ступальный принцип использования энергии применялся достаточно часто. Георгий Агрикола описал топчак, на который лошадь наступала передними ногами. Перед лошадью подвешивалась корзина с овсом. Поэтому она не пятилась назад. Якоб де Страда (1523–1588 гг. – военный дворцовый комиссар в Священной Римской империи – описал в своей книге ступальное колесо для привода мельницы, которое лошадь вращала задними ногами. Перед лошадью находилась кормушка, благодаря которой животное стоит на месте.

Наклонное ступальное колесо для привода мельницы применялось в двух вариантах: при использовании работы людей или животных. Диаметр такого колеса достигал 6–8 метров, угол наклона плоскости был в пределах 16–18 градусов. При движении животных колесо вращалось, а быки или лошади оставались на месте. Ступальные колеса такого типа

для животных, описанные в книге Витторио Цонка (1568–1602) – городского архитектора г. Падуя (Италия) – имеют ограждение для того, чтобы животные меньше пугались. Вариант для людей, описанный Агостино Рамелли (1530–1590) – «инженером христианнейшего короля Франции и Польши», выполнялся без барьеров.

Множество разнообразных конструкций, применявшихся в рассматриваемую эпоху, позволяет сделать вывод, что инженеры пытались сделать оптимальную конструкцию, однако ни одно из решений не отличалось существенными преимуществами.

После распространения в Европе усовершенствованной конской упряжи (подробно об этом написано в учебном пособии по истории автомобилестроения, изданном в МГИУ в 1996 году), лошадь стала на несколько веков основным источником энергии, вытеснив быков, мулов, ослов. Конный привод использовался для помола муки, подъема воды, дробления руды и т. д. В системе привода предусматривалось тормозное устройство, например диск, к цилиндрической поверхности которого можно было прижать брус. После затормаживания установки можно было проводить перепряжку лошадей. Одно из таких устройств описано Георгом Агриколой.



*Рис. 2.3. Мельница с конным приводом*

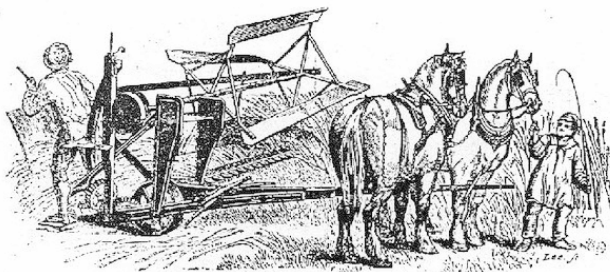
Все описанные ранее конструкции сделаны, как правило, неизвестными изобретателями. До нас дошли лишь имена авторов книг, в которых впервые описаны эти машины. Однако можно привести пример изобретения, сделанного в начале XVII века Помпео Таргоне – «инженером его светлости Амброзио Спинола», генерала короля Испании Филиппа III. Витторио Цонка описал эту передвижную войсковую мельницу в своей книге. Мельница устанавливалась на четырехколесной телеге длиной около 5 метров, диаметр колеса был несколько более метра. Мельница приводилась во вращение парой лошадей, упряжь которой присоединялась к концам бруса, выступающего за пределы телеги.

И у людей, постоянно занятых тяжелой физической рабо-

той, и у рабочих животных лишь часть химической энергии, содержащейся в пище, превращается в полезную механическую работу. Для определения доли химической энергии, которая превращается в механическую работу, ставились специальные эксперименты. Количество потребляемой пищи и совершаемая работа измерялись достаточно длительное время для того, чтобы установилось равновесие. Оказалось, например, что упряжка эскимосских лаек, изо дня в день тянущая по 7 часов сани (при условии, что собаки не прибавляют в весе и не худеют), превращает в работу 16 % энергии пищи. Эта величина намного выше, чем у первых паровых машин, и примерно равна эффективности первых четырехтактных двигателей внутреннего сгорания.

Сейчас трудно оценить эффективность использования мускульной силы нашими предками. Разнообразие применяемых на протяжении веков технических решений позволяет сделать вывод о том, что оптимального (лучшего) решения достигнуть не удалось. Дополнительные проблемы возникли при необходимости получения большой мощности. Увеличение числа животных не приводило к эквивалентному росту мощности из-за несогласованных действий. Много времени тратилось на замену уставших лошадей. Известно, что на наклонном ступальном колесе непрерывная работа могла длиться не более двух часов. В Лондонской тюрьме еще в середине XIX века для подачи воды использовался принудительный труд заключенных на ступальном механизме. При-

чем работа проводилась посменно.



*Рис. 2.4.* Конная жатка

Между тем трудоемкость откачки воды из шахт возрастала в связи с непрерывно увеличивающейся добычей каменного угля, необходимого в первую очередь для металлургии. В 1700 г. средняя глубина угольных шахт в Англии составляла 120 метров, к 1750 г. она увеличилась до 180 метров. В 1702 г. владелец одной из шахт для обеспечения работы насосов был вынужден содержать целый табун лошадей в 500 голов с соответствующим штатом конюхов. Это существенно повышало стоимость угля. Появилась потребность в новом, революционном решении. Оно вскоре появилось в виде насосов, приводимых в действие за счет энергии водяного пара, получаемого при сжигании топлива.

Однако, в наземном транспорте еще долго продолжалось

царство тягловой силы животных, главным образом лошадей. Так, омнибусы на конной тяге покинули парижские улицы только 11 января 1913 года. А появились они в столице Франции в 1662 году по инициативе философа, писателя и математика Блеза Паскаля, который считал необходимым иметь в городе транспорт для тех, кто не имел возможности пользоваться паланкином или каретой (латинское слово «омнибус» означает «для всех»).

В 1960 году в Дайтоне (США) состоялся первый симпозиум по *бионике*, который официально закрепил рождение новой науки. Бионика (от греческого слова *bion* – элемент жизни, живущий), наука, пограничная между биологией и техникой, решающая инженерные задачи на основе анализа структуры и жизнедеятельности организмов. Бионика тесно связана с биологией, физикой, химией и инженерными науками. Идея применения знаний о живой природе для решения инженерных задач принадлежит Леонардо да Винчи, который в частности разработал проект летательного аппарата с машущими, как у птиц, крыльями – орнитоптера. Одной из задач бионики является создание эффективного искусственного мускула, так как естественные мускулы способны на гибкие и плавные движения при прекрасном соотношении массы и мощности. Все вместе 656 мускулов человека составляют 40 % его веса. Мускулы глаза, например, сокращаются в день более 100 000 раз. Непосредственное преобразование химической энергии в работу экологично и об-

ладает высоким КПД.

Основным источником для производства биогаза являются коровы. Вот уже не менее восьми тысяч лет люди их интенсивно разводят. Сегодня по численности эти млекопитающие занимают второе (после человека) место – на Земле их 1,3 млрд. особей. В Латинской Америке на каждые 10 человек приходится по девять коров. В Австралии коров больше, чем людей, на 40 %. Общий вес живого этого поголовья втрое превышает коллективную массу человечества. Среднестатистическая величина потребления говядины человеком составляет 40 кг в год, а она, эта говядина, до того, как оказаться у нас на столе, в свою очередь, съедает ежегодно 600 млн. тонн зерна (треть мирового урожая). За последние 60 лет примерно две трети всех степных районов на свете превратились в пастбища. В качестве примера можно упомянуть, что более четверти всех лесов Южной Америки превращено в пастбища (для каждой местной коровы там уничтожено 18 тыс. м<sup>2</sup> тропических джунглей).

Двухлетняя корова может дать 300 кг мяса, но требует для откорма 3,5 т сои и зерна, 14 600 л воды. Еще 600 000 л драгоценной влаги затрачивается на выращивание корма. За два года жизни организм коровы выделяет в атмосферу около 200 тысяч литров метана. Таким образом, объем этого ядовитого газа, выделяемый всем мировым коровьим сообществом, почти не уступает выхлопам мирового автопарка. Каждое животное дает ежедневно 20 кг навоза.

## 3. Насосы

### 3.1. Первые машины и устройства для подачи воды

Первым устройством для переноса (подачи) воды было, по всей вероятности, кожаное или деревянное ведро. Затем – корзина из прутьев, обмазанная глиной. В древнем Египте или Месопотамии придумали колодезный журавль с противовесом (на востоке – шадуф). Люди, стоящие гуськом и передающие друг другу ведра, могли создать поток воды. Другой древний способ создания потока воды сейчас применяется в Средней Азии, когда группа людей подает воду по каналам (арыкам) с помощью лопат. А машина для создания потока жидкой среды называется на русском языке насосом. Этот термин придумал великий М. В. Ломоносов, хотя еще долго использовался термин «помпа».

Неизвестно имя гениального изобретателя, который догадался прикрепить ведра к периферийной части деревянного колеса, которое могли вращать люди (чаще всего рабы) или животные. Эта машина была выдающимся сооружением и применялась с глубокой древности почти до наших дней. Водоподъемные колеса могли подавать до 10 кубиче-

ских метров воды в час на высоту 3–4 метра.

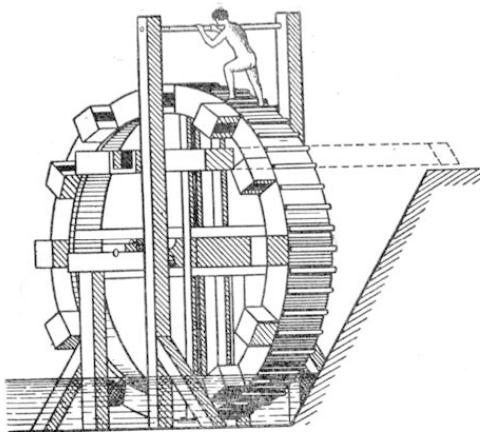
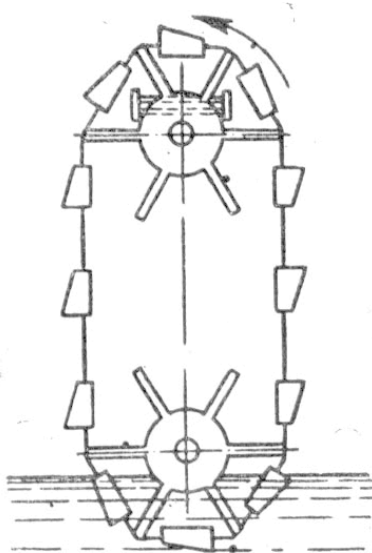


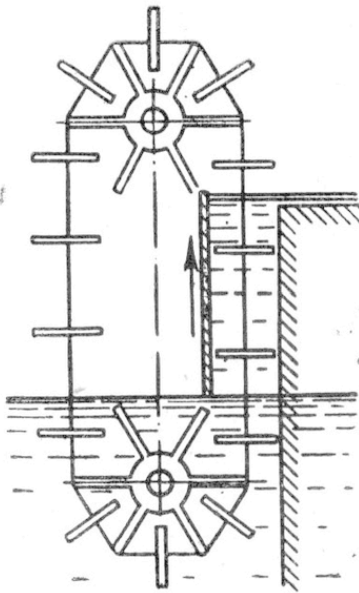
Рис. 3.1. Ступальный привод для подачи воды

Следующим шагом было создание так называемой норрии (исп. *norria* от арабск. *наора* водокачка), которая представляла собой веревку или цепь с ковшами. Затем кто-то заметил, что если норрию пропустить через вертикальный или наклонный желоб с водой, то вместо ковшей или ведер можно использовать диски или шары: поток воды при этом можно было сделать более равномерным при меньшем усилии. Так появился второй основной тип насоса – динамический. Отметим, что когда человек гонит лопатой или доской воду

по канаве, он тоже использует динамический принцип работы гидравлической машины. С помощью норий в Древнем Египте подавали воду из колодцев глубиной до 100 метров.



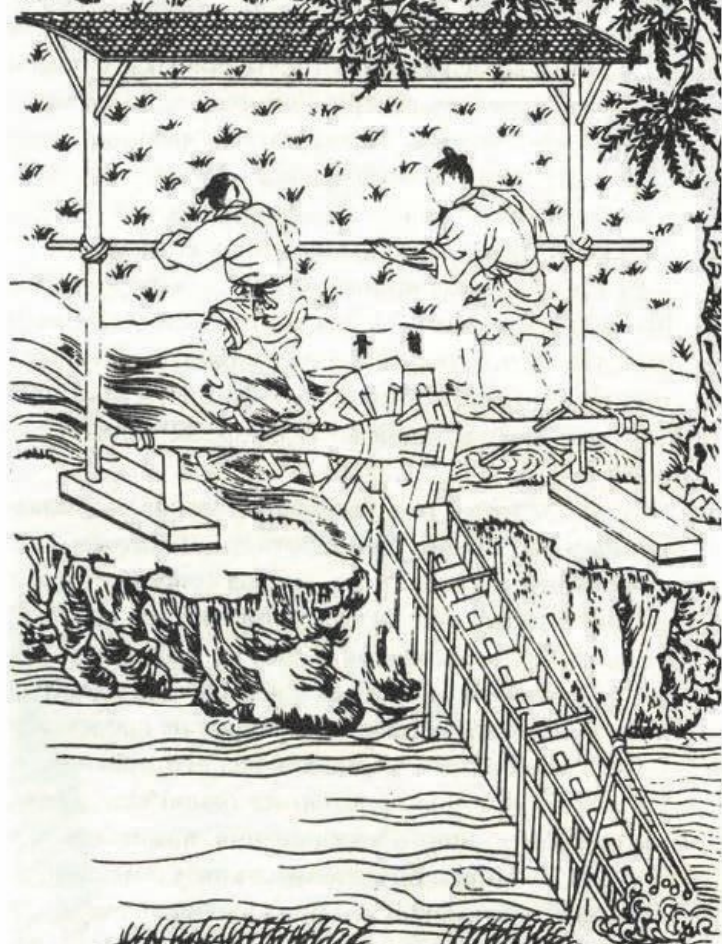
*Рис. 3.2.* Нория с емкостями



*Рис. 3.3.* Нория с дисками

Исследователи древнего Китая полагают, что неизвестные мастера провели в этой стране одно из первых исследований на оптимальность (по максимальной подаче воды или по минимальной затраченной работе) и установили, что наивыгоднейший угол наклона цепного насоса равен 40 градусам.

踏車



### *Рис. 3.4.* Нория китайского типа

Мы не знаем имен первых изобретателей норий, а одно из последних изобретений в этой области сделано Н. Е. Жуковским, создателем теории воздухоплавания. В 1901 году он предложил шнуровой насос, представляющий собой шнур в виде кольца, пропущенный через трубу. При движении шнур увлекает воду к выходу.

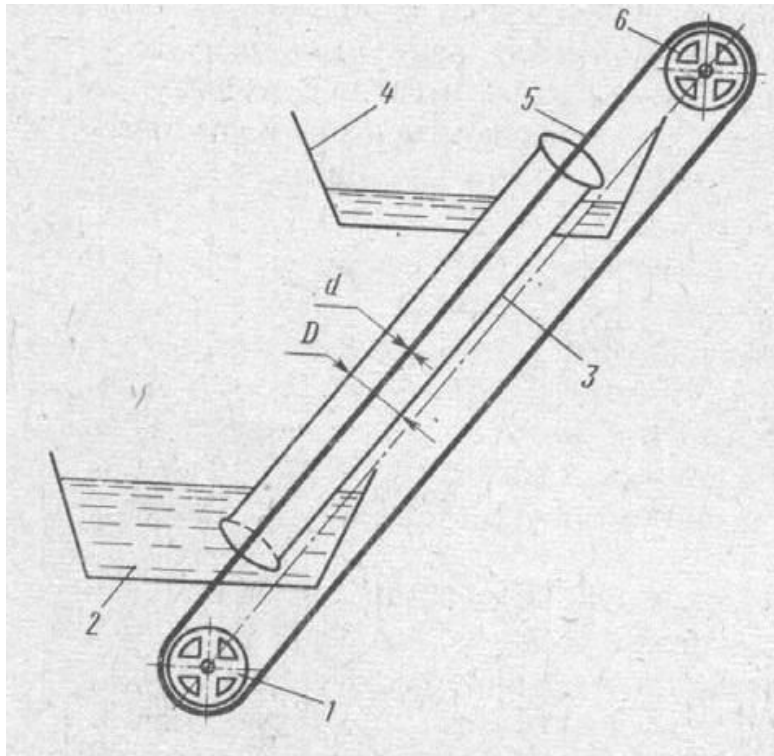


Рис. 3.5. Шнуровой насос Н. Е. Жуковского

В настоящей главе описано много, в том числе изобретенных в последние годы, насосов. Ни один из них не сможет стать монополистом среди аналогичных машин и устройств. История техники, как правило, оставляет за каждым классом

устройств свою специфическую область применения. Правда, некоторые изобретения остаются все-таки только в истории.

## 3.2. Немного скучноватых, но нужных определений

Все насосы в настоящее время принято делить на два класса: объемные и динамические. В динамическом насосе жидкость (например, вода) перемещается под силовым воздействием на нее в камере, постоянно сообщенной с входом и выходом насоса. В объемном насосе жидкость перемещается путем периодического изменения ее объема, а камера попеременно сообщается с входом и выходом насоса. Таким образом, в динамическом насосе создается постоянный поток жидкости, а в объемном – пульсирующий. В объемном насосе существует жесткая кинематическая связь между перемещением рабочей камеры и подачей жидкости: чем больше объем камеры и скорость ее перемещения, тем больше величина подачи. В динамическом насосе такой зависимости нет, однако при увеличении скорости воду или другую жидкость можно поднять на большую высоту. Итак, основными параметрами любого насоса являются подача-объем жидкости, подаваемой за единицу времени, напор – высота, на которую насос может подать жидкость, и коэффициент полезного действия.

В теории гидравлических машин основным понятием является мощность потока жидкости  $N_{nom} = \rho g Q H = \rho Q$ , где

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

– напор и  $p = \rho g H$  – давление гидромашины. В насосе напор (удельная энергия) повышается, в гидравлическом двигателе – уменьшается. Объемный расход жидкости для насоса чаще называется подачей. Для гидравлического двигателя мощность потока жидкости является входной, поэтому КПД определяются следующим образом:

$$\eta = \frac{N_{\text{вх}}}{\rho g Q H} = \frac{N_{\text{вх}}}{p Q}$$

или для двигателя с вращательным движением выходного звена

$$\eta = \frac{M \omega}{\rho g Q H} = \frac{M \omega}{p Q}$$

Для насоса мощность потока жидкости является полезной, выходной. Поэтому

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{N} = \frac{p Q}{N},$$

где  $N$  – мощность насоса (мощность, потребляемая насосом или мощность приводящего двигателя).

Разделение машин на объемные и динамические справедливо не только для гидравлических машин, которые в качестве рабочего тела используют различные жидкости, но и для газовых и паровых, которые описаны в разделе???. Динамическими или объемными будут и машины, к которым надо подводить энергию (насосы, вентиляторы, компрессоры), и машины-двигатели (моторы, турбины....).

Слова «гидравлика», «гидравлический» попали во многие языки мира из древнегреческого. Это сложные слова: первый корень «гидр» – это вода, а второй «равл» – канал, русло. Смысл этого термина на протяжении веков менялся: сначала – это было искусство сооружать и поддерживать в порядке каналы, затем – правила создания таких музыкальных инструментов как водяные органы. Сейчас под гидравликой понимают науку, изучающую законы равновесия и движения жидкостей и способы их применения для решения практических задач. Таким образом, в настоящее время происходит сближение понятий «гидравлика» и «механика жидкости». Однако, теория и, особенно, практика гидравлических машин – это особая область человеческой деятельности, иногда использующая свои собственные методы и при-

емы.

Насос – одна из наиболее распространенных машин: пятая часть, вырабатываемой в мире электроэнергии идет на привод различных насосов. А насосы получают энергию также от двигателей тепловых, водяных, ветряных...

Длительное время насосы предназначались для подъема воды и подачи ее потребителю. Однако в настоящее время область их применения необычайно широка и многообразна. Кроме коммунального и промышленного водоснабжения насосы применяются для орошения, гидроаккумулирования, транспорта. Существуют насосы тепловых и атомных электростанций, судовые насосы, специальные типы насосов для химической, нефтяной, бумажной, торфяной и других отраслей промышленности. В качестве вспомогательных устройств насосы входят в большинство машин для обеспечения смазки. Насосы являются одним из наиболее распространенных видов машин, причем их конструктивное разнообразие исключительно велико. Много насосных агрегатов связано с турбинами и двигателями внутреннего сгорания. Насосы перекачивают разнообразные жидкости: чистейшую артезианскую воду и фекалии, кислоты и щелочи, жидкий водород и расплавленный металл, вино и молоко, масло и жидкости с абразивными частицами.

Наиболее правильно в настоящее время определять насос как машину для преобразования механической энергии двигателя в энергию перекачиваемой жидкости. Такое более

общее определение выявляет энергетическую сущность этой машины и физику происходящих в ней рабочих процессов.

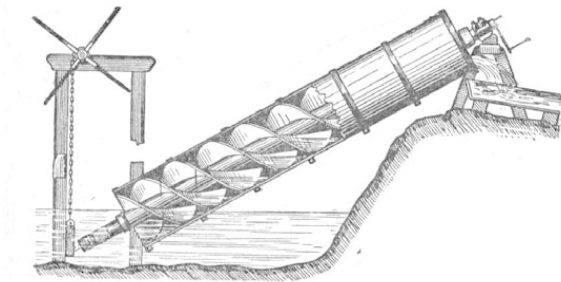
Схожесть физических свойств жидкостей и газов позволяет установить сходство насосов с энергетической группой газовых машин: вентиляторами, газодувками, компрессорами, преобразователями механической энергии двигателя в энергию состояния газа. В некоторой степени эти машины родственны обратным по процессам машинам – поршневым двигателям, гидравлическим, паровым и газовым турбинам. Отметим, что сжимаемостью газа во многих случаях, например, при рассмотрении работы вентилятора можно пренебречь.

### 3.3. Архимедов винт

Очень давно люди стали использовать еще одну машину для подачи воды: винт или улитку Архимеда (Archimedes, 287–212 до н. э.). Правда, винтовая линия и винтовая поверхность были известны до Архимеда, их открытие связывают с именем Архита Тарентского (Archytas of Tarentum, 428–365 до н. э.) – математика школы Пифагора. Известно также, что Архимед ездил в Египет, в Александрию и там знакомился с достижениями науки и техники эллинизма. По всей вероятности Архимед усовершенствовал уже известную машину, но сделал это столь искусно, что именно он считается изобретателем водоподъемного винта. Действие водоподъемного винта основано на свойстве винтовой поверхности, которая противодействует силе тяжести. Винт устанавливается в деревянной трубе (обшивке) наклонно к плоскости горизонта под углом, меньшим угла наклона винтовой линии. При этом условии забранная порция воды будет перемещаться по винтовой поверхности снизу вверх. Нетрудно заметить, что описанная улитка (кохлея) аналогична цепочке ведер. Сохранилась помпейская фреска, на которой изображен архимедов винт с приводом от человека, переступающего ногами по обшивке машины.

На изготовление улитки уходит меньше, чем на изготовление водоподъемного колеса, дефицитного для стран Сре-

диземноморья дерева. В северной Африке можно и сейчас найти действующую архимедову улитку. Только в 20-х годах нашего столетия демонтировали архимедов винт для откачки соляного раствора в Крыму. Архимедов винт диаметром 4,11 метра использовался на Чикагской магистрали еще в начале XX века, при частоте вращения 52 об/мин он подавал 1,73 кубических метров воды в секунду на высоту 10,6 метров.



*Рис. 3.6.* Винт Архимеда

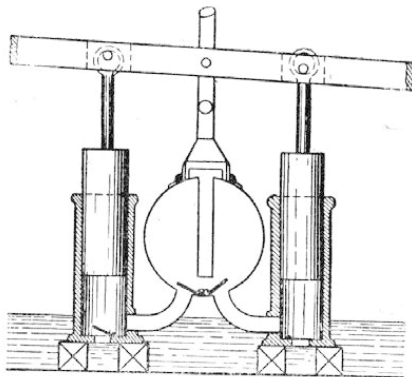
Очень удобным оказался водоподъемный винт для откачки воды из рудников. Винты очень хорошо вписывались в наклонные выработки и могли практически полностью вывести всю воду на поверхность. Преимущества архимедова винта обеспечили ему широкое применение в течение многих столетий для различного применения. В частности

он применялся в первых водопроводах Европы: в немецком городе Аугсбурге, в польском городе Фромберге (здесь все работы проводились под руководством великого астронома Коперника). По конструкции они часто отличались от античных. Появились многоступенчатые винты, расположенные по вертикали с промежуточными резервуарами. Это позволило уменьшить размеры по длине, сделать установку более компактной, удешевить изготовление винта. Далее винт стали изготавливать из спиральной трубы, надетой на деревянный вал.

## 3.4. Поршневые насосы

Выдающийся инженер античности Герон из Александрии (Hero (Heron) of Alexandria), умерший приблизительно в 70 году до н. э., оставил после себя трактаты, в которых описал много различных механизмов и машин. Он первым упомянул о поршневом насосе, изобретенным его учителем. Ктесибием (Ctesibius), который жил примерно в 100 году до н. э. С подобной машиной знакомы сейчас все велосипедисты. Ее основными деталями являются цилиндр и входящий в него с небольшим зазором поршень, который вытесняет из цилиндра воду или воздух. Очевидно, что подобное устройство следует отнести к объемным машинам, причем для своего функционирования оно должно иметь еще один узел: клапан.

Клапан – это устройство, которое может изменять проходную площадь, пропускающую поток жидкости или газа под воздействием рабочей среды. Если проходное сечение изменяется под воздействием внешних сил, то устройство в России называется дросселем, краном, задвижкой. Правда и в этом случае иногда используют термин клапан, оставляя за собственно клапаном дополнительное пояснение: Например, самодействующий клапан.

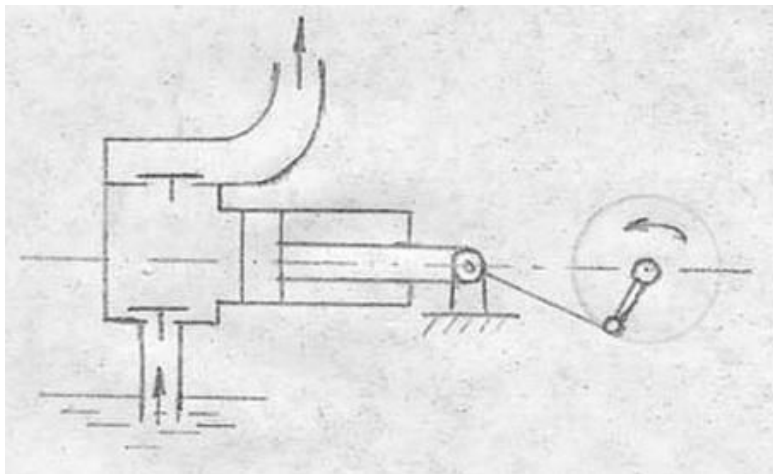


*Рис. 3.7.* Нагнетательный насос Ктесибия.

Кроме клапанов насос Ктесибия имел запорное устройство в виде трубы с двумя отверстиями, которая могла перекрывать выходные отверстия цилиндров или соединять их с выходной конической трубой для создания сильной струи воды. Насос Ктесибия столь совершенен, что, безусловно, его нельзя считать первой машиной подобного типа. Это ясно и из описания Герона, в котором говорится о том, что пожарный насос изготавливается подобно колодезным.

Самый простой поршневой насос с одним клапаном до сих пор применяется в водоснабжении, в том числе на садовых участках. В поршне имеется отверстие, закрытое пластиной, которая может поворачиваться вокруг оси, откры-

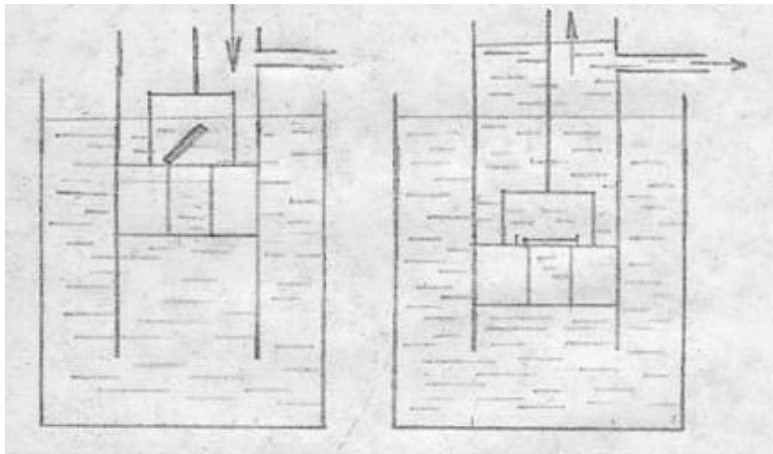
вая проход воде при движении поршня вниз. При движении поршня вверх клапан закрывается весом воды. Поршень своей верхней поверхностью вытесняет воду в выходную трубу, а цилиндр заполняется водой вплоть до нижней поверхности поршня под действием атмосферного давления.



*Рис. 3.8.* Поршневой насос с механическим приводом

В античные времена принцип действия поршневого насоса объясняли не так. По мнению одного из первых ученых Аристотеля (Aristotle, 384–322 до н. э.) «природа питает отвращение к пустоте», поэтому вода следует за движущимся поршнем. Неправильное объяснение принципа дей-

ствия насоса до некоторого времени не мешало их производству. Применялись они главным образом не в водоснабжении, а для тушения пожаров. Такие насосы изготавливались из бронзы, имели всасывающие и нагнетательные клапаны и два цилиндра: когда один цилиндр засасывал воду, другой подавал ее через нагнетательный клапан и сужающийся насадок с большой скоростью. Кроме описаний сохранились остатки поршневых насосов древнеримского периода. Так, археологические раскопки на территории нынешней Испании позволили найти 13 деревянных и 8 бронзовых поршневых насосов. Поршневые насосы различной конструкции в зависимости от назначения производятся уже более 2000 лет и продолжают оставаться одной из самых распространенных энергетических машин и настоящее время.



*Рис. 3.9.* Всасывающий насос Аристотеля

Очевидно, что эффективность работы поршневого насоса определяется в первую очередь величиной зазора между цилиндром и поршнем. При большом зазоре вода будет идти не только в выпускную трубу, но и во впускную, создавая обратный поток или утечки. Поэтому в насосах стали использовать для уплотнения кожаную манжету. Если манжету установить с натягом, то придется затрачивать дополнительную мощность для привода насоса. Наличие герметичных клапанов дало насосу возможность подавать воду на большую высоту. Теоретически герметичный объемный насос может создать на выходе давление любой величины (на-

помним, что давление – это сила сжатия, приходящаяся на единицу площади). Давление можно измерять высотой подъема жидкости. Так атмосферное давление эквивалентно примерно 10 метрам воды или 750 миллиметрам ртути. Максимальное давление, полученное с помощью поршневого насоса, достигало 30000 атмосфер. Такой насос мог бы поднять воду в фонтане на 300 километров.

*Знаменитый фонтан в Женеве (Швейцария) с располагаемой мощностью в 1360 л.с. подает воду с уровня озера на высоту 140 метра (скорость около 200 км/час) с величиной подачи свыше 5000 л.с.*

На жителей Лондона большое впечатление производил в XVI веке насос голландского инженера Петера Мориса (Peter Morice), подававший при испытании струю воды выше шпиля церкви святого Магнуса вблизи одного из лондонских мостов. Привод насоса осуществлялся от водяного колеса, установленного на пароме в проеме моста. Морис получил пожизненное право беспоплатно использовать часть пространства на мосту.

Во времена Средневековья поршневой насос стал основным средством для подачи воды и откачки ее из шахт. Тогда обратили внимание на то, что вода не поднимается за поршнем, если входная труба имеет длину более 8–9 метров. Это позволило великому ученому, создателю современной физики, Галилео Галилею (Galileo Galilei, 1564–1642) высказать такой афоризм: природа боится пустоты, но только до опре-

деленного предела. Однако ему не удалось объяснить непонятное явление. Эту задачу решили позднее его ученики и последователи. Они убедительно доказали, что в обычных условиях вода не может находиться при величине абсолютно-го давления ниже атмосферного, эквивалентного 10 метрам водяного столба или 760 мм ртутного столба. Интересно, что великий Паскаль, как истинный француз, использовал для измерения атмосферного давления и красное вино: у стены его дома некоторое время находился барометр, показывающий величину давления по высоте этого традиционного для его страны напитка (порядка 14 метров).

В качестве примера насоса XVII века приведем описание машины, созданной под руководством политического деятеля и дипломата Самюэля Морленда. Это был плунжерный насос с приводом от кулачка. Плунжер находился между двумя роликами. Нагнетательный и всасывающий клапаны находились в чугунном цилиндре. Там же была установлена кожаная манжета. Медный плунжер имел диаметр на 1 % меньше диаметра цилиндра. Насос отличался большим ходом. Отметим, что Самюэль Морленд изобрел также счетную машину и создал акустические приборы (в том числе переговорную трубу), барометры и паровые машины. Первые насосы были одноцилиндровыми и двухцилиндровыми, но поршень только одной стороной соприкасался с жидкостью, а другой с воздухом. Затем догадались сделать двухсторонний насос или машину двойного действия, которая име-

ла две пары клапанов и рабочие цилиндры с обеих сторон поршня. Когда с одной стороны поршня происходит всасывание жидкости, с другой она вытесняется. Затем для увеличения величины подачи и уменьшения ее неравномерности стали делать многоцилиндровые насосы, а для повышения напора – многоступенчатые, когда выход одного цилиндра соединен с входом последующего.

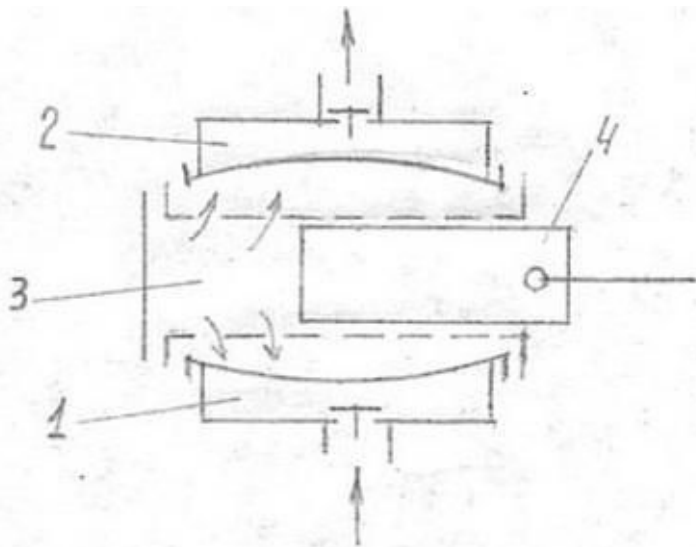


Рис. 3.10. Мембранно-поршневой насос

В 1841 году Генри Вортингтон (Wortington) разработал

прямодействующий паровой насос, создав агрегат из паровой машины и поршневого насоса. Такие насосы были очень эффективны до появления электрических машин.

Отметим, что трехцилиндровый насос имеет более равномерную подачу, чем четырехцилиндровый. Создано много разновидностей возвратно-поступательных насосов, одинаковых по принципу действия с поршневыми: плунжерный, мембранный....

Очень интересную конструкцию имеет плунжерно-мембранный насос для подачи вредных жидкостей. Рабочая полость ограничена цилиндрическим корпусом с клапанами и мембраной. Нейтральная жидкость вытесняется через отверстия, расположенные равномерно в цилиндре плунжерного насоса при прямом ходе и поступает обратно при увеличении объема.

## 3.5. Первые роторные насосы

Человек при вращательном движении механизма может развить мощность на 35 процентов больше, чем при возвратно-поступательном: в среднем 66 и 49 ватт, соответственно. Поэтому раньше или позже должен был бы найтись изобретатель насоса с вращательным движением основных рабочих деталей (профессионалы называют их рабочими органами). Первое описание таких машин среди многих других появилось в книге Агостино Рамелли (Ramelli, 1530–1560), инженера христианнейшего короля Франции и Польши (Генрих III – сын Генриха II и знаменитой Екатерины Медичи). Книга вышла в 1588 году в Париже на средства автора. Автор получил образование «в математике и высших науках», к которым относилось тогда и инженерное дело, в школе Леонардо да Винчи под руководством одного из его учеников – маркиза Мариньяно.

Рассмотрим только две конструкции роторных насосов из книги Рамелли, которые почти без изменения применяются и в настоящее время. Первая – пластинчатый насос. Это цилиндрический ротор с четырьмя вырезами, установленный концентрично в цилиндрическом корпусе, погруженном в воду. В вырезы ротора вставлены пластины, которые при вращении прижимаются под действием центробежной силы к внутренней цилиндрической поверхности корпуса. Таким

образом, в корпусе образуются серповидные камеры (рабочие камеры). При вращении ротора вблизи входного отверстия объем рабочей камеры увеличивается и она заполняется жидкостью. Затем камера замыкается, становясь закрытой, до тех пор, пока не подойдет к выходному отверстию. После этого объем рабочей камеры уменьшается, и вода из нее вытесняется через выходное отверстие в выходную трубу. Очевидно, что по принципу действия рассмотренный насос относится к объемным, пластины аналогичны поршню, а герметичность обеспечивается фазой замыкания, а не клапанами. Такие насосы имеют меньшую, чем у поршневых насосов, величину напора, но при равных подачах обладают преимуществом по габаритам и массе. Судя по рисунку пластинчатые насосы изготавливались из металла. Пластинчатые насосы применяются в настоящее время главным образом для подачи масла в станкостроении, авиации, системах гидроавтоматики.

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.