

УДК 532

## Из истории индустриальной механики

**В. И. Яковлев**

Пермский государственный национальный исследовательский университет  
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
iakovlev@psu.ru; 8 (342) 239 62 98

Краткий очерк развития технических достижений и первых попыток их научного описания.

**Ключевые слова:** техника Средневековья; гидравлические и пневматические насосы; паровой двигатель; Джеймс Уатт; двигатель внутреннего сгорания.

DOI: 10.17072/1993-0550-2018-4-87-92

Одним из важнейших стимулов развития науки всегда было практическое использование ее результатов. Для механики во все времена главными стимулами ее развития были два источника ее задач и проблем: мир Вселенной – Природы и рукотворный мир техники. Длительный период относительного застоя в развитии техники древнего мира, начиная со Средних веков, сменяется постепенным ускорением технического развития общества. Строительство жилищ, храмов и других сооружений общественного, культурного, хозяйственного или военного значения, сухопутных и водных транспортных средств, изготовление различных инструментов, оружия, хозяйственного инвентаря, украшений – все это требовало разнообразных научных знаний об их свойствах, о свойствах материалов, из которых они изготовлялись и способах их использования.

Однако системное использование научных знаний началось сравнительно недавно: после возникновения системы образования и систематизации разнообразных знаний в виде системы наук. Современные научные знания как квинтэссенция многовекового человеческого опыта собирались по крупицам, систематизировались на протяжении всей истории человечества. Этот процесс продолжается и по сей день. Но еще задолго до появления систем научных знаний (наук), научных книг по математике, механике, физике, биологии и другим наукам, люди умели бороться с болез-

нями, выращивать урожаи зерновых культур, овощей и фруктов, разводить домашний скот, строить жилища, пирамиды и величественные храмы, каналы и дороги, морские и речные корабли. Они делали это, руководствуясь своим опытом, своими представлениями о свойствах тел и природных явлений, опытом предков, простейшими математическими расчетами.

Свой опыт многие инженеры-практики передавали следующим поколениям, например, публикуя научные трактаты – описания строительных конструкций, подъемно-транспортных машин, разнообразных мельниц и механизмов. Из этих сочинений мы узнаем о технических достижениях времен Аристотеля, Архимеда, Герона, Паппа, Витрувия, об архитектурных шедеврах (роскошных соборах, дворцовых комплексах европейских и восточных столиц), уникальных водных каналах, технических изобретениях Средневековья, описанных в сочинениях Д. Валла (1447–1500), Л. да Винчи (1451–1519), А. Дюрера (1471–1528), Г. Агриколы (Г. Бауэр; 1494–1555), Н. Фонтана (Тарталья; 1500–1557), Д. Кардано (1501–1576), А. Рамелли (1530–1590), С. де Ко (С. де Косс; 1576–1630), К. Шотта (1608–1666), С. Стевина.

К примеру, в трактате знаменитого немецкого художника Альбрехта Дюрера "Наставления к укреплению городов" (1525), разработана теория фортификации и заложены основы проекционного черчения, без которого невозможно изображение будущих строительных объектов и механизмов.

В книге известного горного инженера и ученого Георга Агриколы "О горном деле и металлургии в двенадцати книгах" (1556) подробно описана горно-металлургическая техника тех времен: рудничные подъемные установки, приводы, использующие труд человека и животных, водоотливные и водоподъемные установки, водяные колеса.

О технологическом уровне итальянского Средневековья убедительно свидетельствуют многочисленные технические проекты Леонардо да Винчи. Эти проекты можно считать прообразами таких современных технических средств, как механизмы для передачи и преобразования движения (ременные передачи, конические, спиральные, ступенчатые сцепления), парашют, вертолет, прожектор, пулемет, дельтаплан, танк, водолазный костюм (скафандр), велосипед, робот, автомобиль, спасательный круг, станки (ткацкий, пресс для формовки слитков и другие), параболическое зеркало, очки. Судя по его записям, ученый интересовался движением тела по наклонной плоскости, принципом действия рычага (условиями равновесия механизмов, арочных архитектурных конструкций), способами определения центра тяжести тел (тетраэдра, произвольной пирамиды), законами гидростатики и трения (рассматривал роликовые опоры, подшипники), падением тел, полетом птиц, и пришел к пониманию невозможности вечного движения. Идеи номиналистов, "количественные наблюдения" Н. Кузанского в творчестве Л. да Винчи приобретают черты устойчивой тенденции к математизации естественнонаучных и технических знаний

Многие средневековые механизмы были описаны в трудах Джироламо Кардано. В частности, он первым подробно описал "карданов подвес" и "карданный вал", о которых ранее упоминали Герон и Л. да Винчи, разработал теорию зубчатых зацеплений и кинематику многих механизмов. Никколо Тарталья исследовал движение пушечного ядра и первым установил, что его траектория является кривой линией (не содержит прямолинейных участков, как считалось ранее).

Один из преемников Леонардо да Винчи – итальянский военный инженер, ученый-механик Агостино Рамелли в 1588 г. опубликовал в Париже (на итальянском и французском языках) трактат "Различные и искусные машины благородного и знаменитого Капитана Агостино Рамелли", где привел описание и

иллюстрации многих машин и механизмов, более 100 из которых являются разнообразными мельницами, грузоподъемными или водоподъемными устройствами, использовавшими "книжные" колеса, водяные насосы различных типов, кривошипно-шатунные и кулисные устройства, червячные передачи, зубчатые зацепления. Позднее эта книга неоднократно переиздавалась.



Рис. 1. Фрагменты из книги "Театры машин" (1613) Генриха Цейзинга (ок. 1560–1613)

Французский инженер Саломон де Ко (Salomon de Caus) был автором многих гидравлических и пневматических автоматов.

В 1615 г. он опубликовал книгу "Причины движущих сил различных машин", в которой, в частности, приведены чертежи машины, приводящейся в действие паром. Но, как выяснилось позднее, в 1601 г. чертежи подобной машины были уже опубликованы итальянским врачом, физиком, алхимиком, драматургом Джамбаттистой делла Порте (1535–1615). Каспар Шотт и Магдебургский бургомистр Отто фон Герике (1602–1686) известны как изобретатели и авторы многочисленных экспериментов с водяными и воздушными насосами.

Следует отметить, что с середины XVI в. особую значимость в науке приобретают экспериментальные исследования. Это не было чем-то абсолютно новым. Активным пропагандистом использования в науке математики и экспериментальных исследований был еще профессор Парижского и Оксфордского университетов Роджер Бэкон, живший в XIII в.

Но на рубеже XVI и XVII вв. возник новый всплеск интереса к научным экспериментам и разработке более эффективных машин (рис. 1–3).

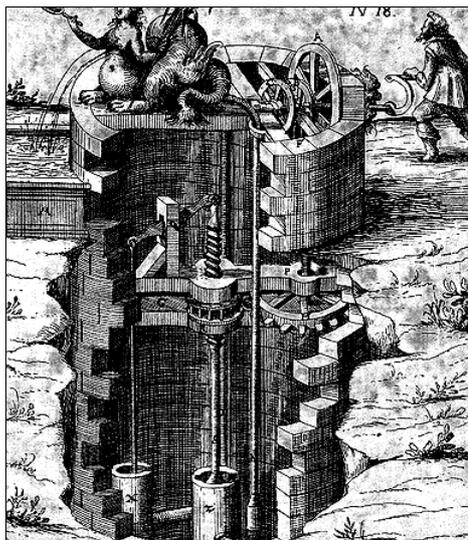


Рис. 2. Фрагменты из книги "Театры машин" (1613) Генриха Цейзинга (ок.1560–1613)

В значительной мере в этом была заслуга знаменитого английского ученого, философа и государственного деятеля (лорда-канцлера Англии в 1618–1621 гг.) Френсиса Бэкона (1561–1626), объявившего физику "матерью всех наук". Протестуя против засилья схоластики в европейской науке и университетах, Бэкон был сторонником наук, приносящих пользу обществу. Он одобрял науки, построенные на основе индуктивного метода, под которым понимал получение знаний (теоретических выводов) не из абстрактных рассуждений, а из наблюдений и экспериментальных исследований.

Научными экспериментами занималось большинство известных ученых XVI–XVIII вв. Свои эксперименты они устраивали не только в стенах лабораторий, но часто проводили и большие натурные эксперименты. Достаточно напомнить об опытах С. Стевина (равновесие тел на наклонной плоскости, устойчивость насыпей, падение тел), о многолетних астрономических наблюдениях Т. Браге и Г. Галилея, об опытах Г. Галилея (движение шаров по наклонному желобу, по столу, по падению с Пизанской башни, по колебаниям маятника, по оптике и созданию телескопа), Б. Паскаля (по определению разницы атмосферных давлений у основания горы и на ее вершине), Р. Декарта, Дж. Уоллеса, К. Рена, Х. Гюйгенса (изучение удара шаров), об оптических опытах И. Ньютона и Х. Гюйгенса, о более 1000 разнообразных опытов, организованных Р. Гуком в Лондонском королевском обществе, опытах О. фон Герике (по разрыванию полушарий, из которых откачан

воздух), Г. Амонтона (по установлению коэффициентов сухого трения), Ш. Боссю (по определению оптимальной скорости вращения водяных колес, формы их лопаток, сопротивления движущихся судов), А. Парана (исследование ветряных колес, определение зависимости силы давления на лопасти от угла их наклона и скорости ветра), о первых полетах на воздушных шарах и многих других.

И даже если сейчас есть сомнения в реальности некоторых из описанных опытов, очевидно, что они заменялись мысленными экспериментами, позволяющими получить некоторые теоретические выводы.

Начиная с XVIII в., большинство ученых-механиков можно было условно разделить на два типа: экспериментаторов и теоретиков. Механики-экспериментаторы изобретали новые, совершенствовали уже известные строительные конструкции, машины и механизмы, устраивали опыты для проверки своих гипотез. А механики-теоретики были уже не философами-схоластами, а математиками-прикладниками.

На протяжении столетий люди использовали для обработки земли, животноводства, ведения войн, подъема и перемещения тяжестей, строительства, украшения жилищ и создания предметов быта разнообразные орудия труда, инструменты. В Средние века существовали разные виды мельниц: для помола зерна, производства бумаги, пороха, распиловки бревен, дробления руды, сверления, шлифования, полирования.

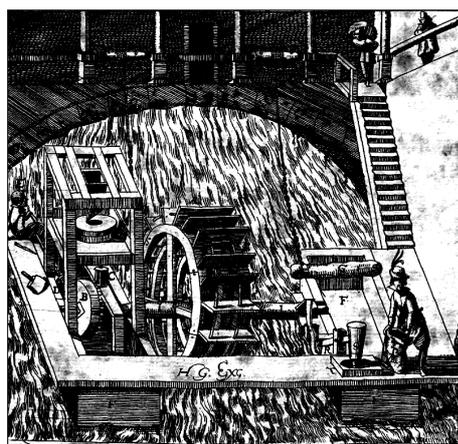


Рис. 3. Фрагменты из книги "Театры машин" (1613) Генриха Цейзинга (ок.1560–1613)

В результате многовекового совершенствования технического арсенала инструментов, механизмов, транспортных средств, географи-

ческих открытий XV–XVI вв. Человечество приобрело новый импульс своего развития.

Потребности освоения заморских территорий потребовали создания более надежных, быстроходных и грузоподъемных судов, более совершенных способов управления и навигации. Начиная с XV в., в Италии, Нидерландах, Франции, Испании, Австрии и других странах велось активное строительство не только кораблей, зданий, но и разнообразных гидротехнических сооружений (каналов, плотин, мостов, дамб, шлюзов, водоемов), крепостей, дорог, больших церковных соборов и мечетей. Некоторые из этих проектов были масштабными стройками, в которых, наряду с традиционными орудиями и инструментами, использовались и достаточно сложные строительные механизмы и машины.

Но важнейшие перемены в техническом перевооружении общества наступили только в XVIII в., когда на смену кустарному, штучному производству разнообразных товаров, инструментов, предметов быта, оружия в небольших мануфактурах пришло их массовое, промышленное производство на больших фабриках и цехах. Качественно и количественно изменилась продукция промышленности, появились новые машины, механизмы, новые формы организации производства.

Важным техническим событием стало изобретение в 1735 г. англичанином **Джоном Уайеттом** (Wyatt; 1700–1766) прядильной машины, позволяющей получать пряжу без помощи пальцев. Предыдущие изобретения, как правило, были связаны с заменой или облегчением физической силы человека. Это изобретение не столько облегчало физические усилия, сколько позволяло начать массовое производство пряжи с минимальным участием человека. Станок Уайетта обычно связывают с началом промышленной революции в Англии, которая далее распространялась по всему миру. Ее суть состояла в изобретении и совершенствовании новых станков, машин и механизмов различного назначения, облегчавших труд рабочих, повышавших качество и количество выпускаемой продукции.

С древних времен в большинстве машин использовалась мускульная сила человека, животных или привод от водяных или ветряных колес. В период революции на смену разнообразным мельницам, приводимым в движение силой человека, животных, воды или ветра, приходит универсальный двигатель

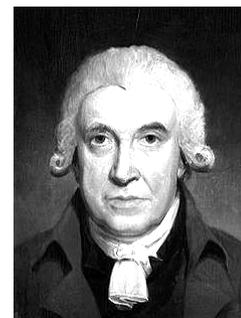
– паровая машина. С появлением паровых, а позднее и более совершенных двигателей внутреннего сгорания, технический облик и производительность машин резко изменились. Перемены, начавшиеся в текстильной промышленности, вскоре появились и во многих других отраслях промышленности и сельского хозяйства, началась повсеместная замена ручного труда машинным производством.

Новая текстильная промышленность, металлургия, машиностроение, транспорт, а позднее и другие отрасли промышленности, за короткий промежуток времени (порядка 100 лет) радикально изменили образ жизни и перспективы развития большинства стран Европы и Америки. Около новых фабрик и заводов начинают складываться новые города (отток сельского населения в промышленные центры!), начинается бурное развитие торговли, строительства, транспорта. В 1804 г. был построен первый паровоз, а в 1807 г. американским инженером-изобретателем **Робертом Фултоном** (1765–1815) – первый пароход. В наиболее развитых странах появляются первые технические учебные заведения (школы, училища, институты, академии) и ученые, занятые изучением, совершенствованием и созданием огромного разнообразия новых технических средств.

Первая паровая машина была построена в 1680 г. французским инженером **Дени Папеном** (1647–1712) при участии **Христиана Гюйгенса**. Она представляла собой цилиндр с поршнем, поднимавшимся под действием пара и опускавшимся под давлением атмосферы.

В 1698 г. был запатентован водяной насос английского изобретателя **Томаса Севери** (1650–1715). Устранив недостатки этого изобретения, **Томас Ньюкомен** (1663–1729) в 1712 г. создал более совершенный двигатель (машины Севери и Ньюкомена предназначались для выкачивания воды из шахт, но Ньюкомен так и не получил свой патент).

Важный вклад в дальнейшее совершенствование паровых двигателей внес шотландский инженер, член Эдинбургского королевского общества, Лондонского королевского общества и Парижской академии наук **Джеймс Уатт** (James Watt).



Джеймс родился в 1736 г. в очень благополучной и обеспеченной шотландской семье. Его отец и мать были прекрасно образованы. Отец строил корабли, на корабельной пристани построил первый подъемный кран, держал склад корабельных принадлежностей, вел морскую торговлю, сам создавал и чинил различные приборы и механизмы. Начальное образование Джеймс получил дома. В детские годы он увлекался химическими опытами, астрономией, любил строить самодельные модели и механизмы, за что получил звание "мастера золотые руки". Далее он продолжил образование в гимназии, но после смерти матери и расстройств дел у отца ему пришлось самому заботиться о своем будущем. После нескольких лет скитаний (Лондон, Глазго), Джеймс получил работу в мастерской университета города Глазго, где и обнаружился его изобретательский талант. В 1769 г. Уатт получил патент на усовершенствованную машину Ньюкомена. Далее он наладил производство своих машин, а в 1782 г., после усовершенствований, превратил ее в универсальный двигатель (предназначенный не только для подъема воды), снабженный универсальным центробежным регулятором ("регулятор Уатта", 1784). Этот изобретательский и предпринимательский проект оказался весьма успешным. Его двигатели выпускались массовым тиражом и использовались на транспорте и во многих отраслях промышленности. Уатт умер в 1819 г. За 83 прожитых года он заслужил признание коллег и всемирную славу выдающегося изобретателя. В его честь воздвигнуты памятники, его портрет есть на английской денежной купюре в 50 фунтов, на марках, его именем назван кратер на Луне. В механику он ввел единицу измерения мощности "лошадиная сила", а позже его именем была названа единица мощности "ватт".

Значительный вклад в дальнейшее усовершенствование двигателя Уатта внесли американский инженер-конструктор Оливер Эванс (1755–1819), в 1789 г. получивший патент США на изобретение первого автомобиля, и британский изобретатель Ричард Тревитик (1771–1833). В 1800 г. он получил патент на "машину высокого давления" и с 1801 г. начал создавать модели паровых повозок для шахтных нужд. Именно он в 1804 г. построил в Южном Уэльсе первый узкоколейный паровоз, усовершенствованный вариант которого в 1808 г. уже развивал скорость до 30 км/ч.

Но история парового двигателя оказалась очень короткой. Параллельно с его совершенствованием происходило создание более эффективного двигателя внутреннего сгорания. Первый такой двигатель в 1860 г. (для моторной лодки) разработал французский инженер Этьен Ленуар (1822–1900). Двигатель работал на смеси воздуха и светильного газа. Вскоре у него появились последователи, и через 25 лет (в 1885 г.) немецкие инженеры **Готтлиб Даймлер** (1834–1900) и **Вильгельм Майбах** (1846–1929) сконструировали легкий бензиновый карбюраторный двигатель, который они использовали для создания первого мотоцикла (1885), прототипа автомобиля (1886), моторной лодки (1887) и самодвижущейся кареты-автомобиля (1889).



Готтлиб Даймлер



Вильгельм Майбах

В 1888 г. их двигатель осуществлял движение воздушного шара, а с начала XX в. эти двигатели стали устанавливать на дирижаблях торговой марки "Цеппелин".

Любопытно отметить, что Даймлер и Майбах были не конкурентами, а близкими друзьями (со студенческих лет), создателями первого автомобиля под торговой маркой "Мерседес" (1899). А трехлучевая звезда, ставшая торговым символом этого бренда, символизировала неограниченные возможности использования их двигателей на суше, на воде и в воздухе.

С 1922 г. Майбах начал выпускать дорогие лимузины торговой марки "Майбах", но ни он, ни его друг никогда не владели личными автомобилями. Но поиск более совершенных двигателей продолжался.



Французский физик и математик **Николя Леонар Сад Карно** (1796–1832) в 1824 г. сформулировал идею "цикла Карно": в максимально экономичной "тепловой машине" быстрым сжатием (изменением объема), можно нагреть рабочее тело до температуры горения топлива.

В 1892 г. немецкий механик **Рудольф Дизель** (1858–1913) получил патент, а в 1897 г. построил экономичный двигатель внутреннего сгорания, работающий по этому принципу самовоспламенения распыленного топлива в среде разогретого при сжатии воздуха.

В качестве топлива использовалась нефть, но позднее спектр видов топлива был расширен (все фракции перегонки нефти от керосина до мазута, некоторые продукты природного происхождения: рапсовое, пальмовое масло, фритюрный жир и другие). Дизельный двигатель быстро получил достаточно широкое распространение на речных и морских судах, тепловозах, грузовых автомобилях, автобусах, тракторах, дизельных электростанциях. С конца XX в. его усовершенствованный вариант стали использовать и на легковых автомобилях.

С развитием электрификации появились разнообразные электродвигатели постоянного тока (1834; Б.С. Якоби), переменного тока (1888; Н. Тесла), трехфазные асинхронные (1889; М.О. Доливо-Добровольский). До сих

пор достаточно популярны пневмодвигатели и гидравлические машины. В XX в. появились реактивные, воздушно-реактивные, газотурбинные, ионные, плазменные, ядерные и многие другие двигатели, свидетельствующие о бурном развитии технической оснащенности нашей цивилизации. И в создании всех видов современных двигателей невозможно обойтись без построения и анализа математических моделей, их принципов действия, особенностей их практического использования и их конструкционных материалов.

### Список литературы

1. Яковлев В.И. Начала механики. Москва–Ижевск: РХД, 2005. 352 с.
2. Яковлев В.И., Остапенко Е.Н. История и методология механики. Механика и математика Средневековья. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2018. 134 с.
3. Тюлина И.А., Чиненова В.Н. История механики сквозь призму развития идей, принципов и гипотез. М.: Книжный дом "Либроком", 2013. 256 с.

## From the history of industrial mechanics

V. I. Yakovlev

Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia  
iakovlev@psu.ru; 8 (342) 239 62 98

A brief outline of the development of technical achievements and the first attempts of their scientific description.

**Keywords:** *Medieval technique; hydraulic and pneumatic pumps; steam engine; James watt; internal combustion engine.*