

МЕХАНИКА ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XVIII В.

А. Н. Боголюбов

В XVII в. нашла свое завершение научная революция. В 1687 г. выходят в свет «Математические начала натуральной философии» Ньютона — сочинение, которое более чем на двести лет определило общепринятое научное миропонимание. Были созданы основы анализа бесконечно малых и механики упругого тела, получили свое начало многие ветви математики и механики.

Затем наступает XVIII в. — век промышленного переворота (но только в Англии!), век разработки идей, высказанных в предыдущее столетие. В XVIII в. многие ученые развивают учения своих великих предшественников, решают новые задачи, увеличивают количество сведений из той или иной отрасли знания, но не высказывают никаких принципиальных суждений, которые смогли бы изменить правильный и логически последовательный ход развития учений XVII в. Разрабатывается при этом, однако, не все: кое-что забывается, кое-что оставляется для грядущих поколений. Можно назвать и немало имен ученых: Эйлер, Даниил Бернулли, Д'Аламбер, М. В. Ломоносов, Клеро; к концу века появляются Монж, Карно, Лагранж, Лаплас, Кулон и целая плеяда математиков и механиков, которые по духу своему ближе стоят к XIX, чем к XVIII столетию. Особенно это характерно для работ Лагранжа. В его «Аналитической механике» наука о движении приобретает уже четкие формы: недаром термин «аналитическая» используется и для другой, уже чисто математической науки — аналитической геометрии, которая лишь в общих чертах была намечена Декартом, а свое научное выражение и наименование нашла в трудах математиков XIX в.

Однако на протяжении всего XVIII в. практические инженеры отказываются пользоваться математикой и «новой» механикой при построении машин и при сооружении зданий. Высказанные еще в XVI—XVII вв. мысли о животном-машине и о человеке-машине продолжают развиваться и в XVIII в., но основными идеологами этого направления становятся не механики и естествоиспытатели, а философы. Но при всем этом количество задач, решенных и решаемых «новой» механикой, непрерывно возрастает, а вместе с механикой развивается и ее «аппарат» — математика.

Первую пробу «привести в порядок» сведения из механики, изложив не только статику, но и динамику, сделал немецкий философ и математик Христиан Вольф (1679—1754). Он родился в Бреславле (теперь Вроцлав, ПНР), учился в Иенском университете. В 1703 г. начал читать математику и философию в Лейпцигском университете, а в 1707 г. был приглашен на кафедру математики в университет в Галле. Но его философские концепции не пришлись по Душе протестантским богословам, он был отрешен от должности

(1723) и под страхом смертной казни вынужден был оставить пределы Пруссии. Он переехал в Марбург, где и преподавал до 1740 г. В Марбургском университете у него в течение трех лет учился М. В. Ломоносов. В 1741 г. Вольф вернулся в Галльский университет, был там вице-канцлером, а с 1743 г. — канцлером университета.

Последователь Лейбница, один из наиболее выдающихся и влиятельных педагогов своего времени, Вольф оказал существенную помощь Петру I в деле организации Академии наук в Петербурге. По его совету и при его содействии были приглашены Николай и Даниил Бернулли, Герман, Бильфингер. Самого Вольфа тоже неоднократно приглашали в Петербург, но он отклонял эти предложения.

Вольф много писал по вопросам математики, физики и философии. «Вольфианская экспериментальная физика» в переводе М. В. Ломоносова (1746) сыграла важную роль в истории русского просвещения. В 1713 г. в Галле был издан первый том его «Оснований всеобщей математики», содержащий среди иных частей «Основания механики и статики», «Основания гидростатики», «Основания аэрометрии» и «Основания гидравлики». По определению Вольфа, «механика есть наука о движении. Статикой называют ту ее часть, которая рассуждает о движении тел под действием тяжести». Вольф излагает механику в следующих главах: 1. Основания. 2. О движении равномерном, ускоренном и замедленном. 3. О центре тяжести. 4. О покое и движении тяжелых тел. 5. О прямолинейном сложном движении. 6. О спуске тяжестей по наклонной плоскости. 7. О подъеме тяжестей как вертикальном, так и по наклонной плоскости. 8. О движении маятников. 9. О центре колебаний. 10. О движении снарядов. 11. О движении упругих тел. 12. О центробежной и центростремительной силе. 13. О простых машинах. 14. О силах, прилагаемых к машинам. 15. О сопротивлении в машинах, или о трении. 16. О сложных машинах.

Таким образом, Вольф дает достаточно полный курс механики, в котором есть разделы, посвященные теории важнейших задач того времени: теории часов, теории полета снаряда и теории машин.

Построение книги, обычное для учебников того времени, — определение, королларии и проблемы, сразу же выявляет неясность основных понятий механики и связанные с этим погрешности в оперировании ими. Эта неясность будет присуща механике всего XVIII в., и лишь во второй четверти XIX в. будет произведено уточнение определений.

В соответствии со 2-м определением, покой — это пребывание тела в одном и том же месте. Движение же есть постоянное изменение места*. Понятие силы, которое является важнейшим в механике Вольфа, определяется двумя словами — сила и мощность с целым рядом оттенков. Так, по 2-му определению, движущая сила, или собственно сила, — это та, которая производит движение. Но тут же это определение развивается указанием на то, что

* Ср. с определением Эйлера: «Движение тела — это его перемещение из места, занимаемого им ранее, в иное».

существует живая сила, производящая действие движения, и мертвая сила, которая может произвести движение, но в действии движения еще не принимает участия. В качестве примера приводится шар, подвешенный на нити. Далее рассматриваются сила тяжести, упругая сила, центробежная и центростремительная силы. В 58-м определении определяется сила, приводящая машину в движение; она называется мощностью; Вольф различает движущую мощность и удерживающую (или сопротивляющуюся) мощность.

В 10-м определении Вольф поясняет понятие скорости, однако когда дело доходит до ускорения, то он знает лишь ускоренное и замедленное движение. Он вводит понятие «импетуса», но уже не в средневековом, догалилеевском его значении: у Вольфа импетус равен произведению массы на скорость (т. е. соответствует количеству движения). Он различает простое движение, вызываемое действием одной силы, и сложное, производимое действием многих сил. Вольф приходит к заключению, что всякое криволинейное движение является сложным.

Метод изложения Вольфа — математические доказательства и логические рассуждения; превалируют последние, поэтому он иногда и приходит к неожиданным выводам. Важной является его попытка поставить механику на службу техники: это в особенности нашло отражение в четырех последних главах книги, относящихся к механике машин.

В качестве «мощностей», приводящих машины в движение, Вольф рассматривает силы человека и животных, затем силы воздуха, воды, огня, тяжести, упругости. Любопытно, что в определении машины Вольф вводит не равновесие, а движение. Рассуждая о «сложных» машинах, он не говорит, подобно своим предшественникам и современникам, что они состоят из простых машин, но указывает на состав машин из многих простых частей. В дальнейшем — в последней, 16-й главе — он разбирает основы построения целого ряда машин, в том числе водяной мукомольной мельницы, пильной мельницы, маятниковых часов Гюйгенса и др. Вольф рассматривает ряд механизмов, в частности зубчатые колеса; в качестве привода пильной мельницы он приводит шарнирный четырехзвенник (хотя специально на нем и не останавливается).

Таким было содержание первого руководства по механике начала XVIII в. Школьные учебники механики на протяжении всего века незначительно отличаются от учебника Вольфа. По некоторым вопросам они сообщают больше сведений, кое в чем следуют Вольфу, а иногда отстают от него. Лишь в последней четверти века появляются трактаты, авторы которых пробуют ввести в учебный оборот результаты, полученные великими механиками века, но это уже было в годы, когда разворачивалось творчество Лагранжа.

Научная революция XVII в. была завершена Ньютоном, однако Ньютон не оставил после себя школы. Разработка вопросов механики на протяжении всего XVIII в. была связана с творчеством лиц, группировавшихся вокруг одного из конкурентов Ньютона — Лейбница. Действительно, если бы мы захотели составить географию открытий в области механики на протяжении

всего столетия, то она оказалась бы весьма несложной. Это, в первую очередь, Базель — родина и основной центр научной деятельности семьи Бернулли. Затем это Петербург с его новоорганизованной Академией наук, где работали Эйлер, Николай и Даниил Бернулли, Герман и ряд других ученых; это Берлин с его Академией наук, в которой работал тот же Эйлер; Париж — с Королевской академией, Турин в Савойе и, в меньшей степени, Лондон с Королевским обществом. Чрезвычайно интересен тот факт, что Англия, в которой начался промышленный переворот, сделала в XVIII в. в области механики и прикладных знаний значительно меньше, чем было сделано во Франции и в России.

Однако условия промышленного переворота к середине XVIII в. существовали не только в Англии. На протяжении всего века во всех странах Западной Европы, в России и в Англии имело место определенное хозяйственное равновесие: Россия вырабатывала чугуна больше Англии, а текстильных изделий во всяком случае не меньше ее. Во Франции значительного развития достигла шелкоткацкая промышленность; изобретения машин, которые смогли бы заменить человеческую руку, появляются одновременно едва ли не во всех странах. Культурное развитие этих стран находится также приблизительно на одном уровне; строительство зданий, мостов, каналов, дорог и, наконец, кораблей выполняется с помощью одних и тех же технических средств. Во всех странах главенствует в начале века барокко, уступая свое место в середине века рококо, а в его конце классицизму. В развитии специального образования в течение века на первом месте находится Франция, на втором — Россия и Испания. Но все европейские страны, за исключением Англии, еще связаны феодальными отношениями, от которых Англия сумела своевременно избавиться. Это и определило то, что изобретательская деятельность в Англии оказалась целесообразно направленной: изобретения буквально выхватывались из рук изобретателей, однако не служили их обогащению. В России подобной заинтересованности не было — слишком много было рабочих рук и они были дешевле любых изобретений, а вольное предпринимательство связывалось узами феодальных отношений. Недаром в России удельный вес помещичьих мануфактур был значительно выше, чем в других странах: русское дворянство пробовало «обуржуазиться», но из этого ничего не вышло. История науки XVIII в. представляет собой промежуточный период между научной революцией, завершившейся в конце XVII в., и XIX в., когда науки начали получать свое классическое (хотя и не на долгие годы) оформление. В это время развиваются механистические системы философии, механики ищут подтверждения тезиса, что человек — это машина (хотя само понятие — что такое машина — еще не было определено). Это — век подготовки буржуазных революций, которые начинаются революцией в английских колониях в Америке против колониализма, революцией, завершившейся созданием США, и Великой буржуазной революцией во Франции, завершившейся империей Наполеона I. В искусстве — это век поисков и мечтаний в стиле рококо. Последнее было

своеобразной реакцией против формализма барокко. Искусство Фузели и Ватто, Буше и Тьеполо, братьев Гарди и Фрагонара в мелких деталях полотен, в миниатюрных художественных «революциях» идет по тому же пути, что и миниатюрные «революции» в науке, скорее в эскизах наук, которые быстро возникают и не всегда доводятся до конца. Именно тогда появилась идея о том, что природа всегда справедлива. Ватто однажды будто бы сказал живописцу Ланкре, своему подражателю, что «дальнейшее его учение у какого-либо мастера — пустая трата времени; что надо ставить себе более смелые задачи, руководствуясь Учителем всех Учителей — Природой; что сам он поступал именно так и не жалеет об этом. Он посоветовал господину Ланкре отправиться в окрестности Парижа и нарисовать несколько пейзажей, затем нарисовать несколько фигур и из этих зарисовок скомпоновать картину по собственному воображению и вкусу»*. С этой идеей Ватто, очевидно, согласились бы и Буше, и Фрагонар, не отступавшие от природы как в своих мифологических, так и в альковных картинах.

Но тогда, чем, как не компоновкой из известных наблюдений над природой, является творчество архитекторов, творивших в стиле рококо? Действительно, природа постоянно оказывается значительно богаче строгого формализма барокко — известным заимствованием если не элементов природы, то вычурности естественных линий. Ведь в природе нет ни прямой линии, ни окружности; есть только их подобию, которые при известном воображении можно считать прямыми и окружностями. А если воображение не хочет упрощать наблюдаемое? Тогда окажется, что и художники, и архитекторы, и скульпторы рококо очень близко подошли к пониманию природы, оставаясь вблизи нее даже в своей вычурности, которая оказывается естественнее упрощений и схем.

Наука XVII в. разобралась в механических законах и создала на их основе ньютоновскую механику и ньютоновское миропонимание. Но других законов она не знала, и поэтому совершенно естественной оказывается механистическая философия, которая у некоторых философов доходит до крайностей, а у других, ратующих за приоритет природы, она более завуалирована, хотя сущность ее остается той же самой. Жюльен де Ламетри (1709—1751), врач и философ, в своем трактате «Человек — машина» учил, что существует лишь материя, движимая механическими законами и познаваемая при помощи наших органов чувств.

Маленькие революции в науке следуют одна за другой. Спор о мере движения, перекочевавший из предшествующего столетия, вдруг вспыхивает с новой силой: в него вмешиваются, как активно действующие участники, маркиза дю Шателе и Вольтер; Эйлер производит переворот в механике своим заявлением, что машины следует изучать не в состоянии покоя, а в движении; возникает понятие силы инерции, и в трудах Карно впервые обсуждается содержание этого понятия. Последнее было тем более важно, что и у

* Мастера искусства об искусстве, т. III. М., «Искусство», 1967, с. 322.

самого Карно еще не было ясности в понимании силы. Д. Бернулли основал новую науку о движении жидкости; от Амонтона до Кулона, т. е. на протяжении почти столетия, уточняется понятие силы трения и его расчетной величины. В середине века делается попытка явочным порядком ввести математические расчеты в практику строительства, но два гениальных решения задач механики все же дают практики: дело идет о проекте одно-арочного моста Кулибина и о памятнике Петру I, сооруженном Фальконе.

И, наконец, в трудах Эйлера, Канта и других обосновывается необходимость обособить науку о движении в отдельное направление механики.

Важным обстоятельством является то, что механика создается относительно независимыми в своей деятельности и в своем труде учеными — членами академий. Профессора университетов и иных высших школ мало приложили усилий для развития механики, да и сама-то механика является не более как разделом прикладной или «смешанной» математики. Правда, появляются и учебники механики, но они составляются для учащихся специальных школ и обычно их научный уровень невысок. Даже в таком мировой известности университете, как Болонский, уровень математического преподавания весьма ограничен, зато на протяжении всего столетия в числе преподаваемых курсов имеется даже... астрология. Это — в конце века. И не только в Болонском университете.

Одним из интереснейших ученых века был Рожер Йозеп Боскович (1711—1787). Он родился в семье хорвата — торговца в Рагузе (теперь Дубровник), учился в иезуитском коллегииуме в Риме, особенно усердно занимался астрономией, математикой и физикой. Уже к началу 40-х годов он выдвинулся как один из сильнейших математиков.

В 1735 г. в результате землетрясения образовались трещины в барабане и в куполе собора св. Петра в Риме. Купол сам по себе представлял весьма внушительное сооружение: 138 м высоты, 42 м в диаметре и весом около 10 000 т; построил его Доменико Фонтана в 1588—1590 гг. по проекту и по модели Микельанджело. Архитекторы после осмотра повреждений нашли, что они не вредят устойчивости купола; после заделки трещин все было предоставлено естественному течению, и о куполе забыли. Однако в 1742 г. оказалось, что разрушение купола продолжается; среди архитекторов возникло мнение, что нужно снести его и построить заново. Тогда, по распоряжению папы, выход из положения было поручено найти Босковичу и двум математикам-французам — Франсуа Жакье и Тома Лесеру. Они разработали особое крепление купола — первое в истории техники вмешательство науки в инженерное дело.

В дальнейшем Боскович преподавал математику в Павии, затем переехал во Францию, заведовал морскими оптическими приборами французского военного флота, принимал участие в путешествии в Бразилию и Эквадор, был избран почетным членом Петербургской академии наук (1760) и членом Лондонского Королевского общества (1761).

Важнейшее произведение Босковича — «Теория философии природы,

приведенная к единственному закону сил, существующих в природе» (Вена, 1758). В нем впервые была сделана попытка сведения всех физических феноменов к единственному закону. Боскович пытался дополнить законы механики Ньютона одним принципом, который включал бы и космические, и микрофизические движения. Он исходил из предположения, что вся материя состоит из «точек», или «первичных элементов», совершенно тождественных; поэтому тела отличаются лишь способом расположения этих «точек».

Для описания свойств материи Боскович предполагает, что закон взаимного притяжения имеет место лишь для больших систем, а для микроскопических систем и чрезвычайно малых расстояний «точки» отталкиваются друг от друга. На средних же расстояниях две частицы, сближающиеся друг с другом, начинают последовательно притягиваться и отталкиваться и попадают в состояние равновесия лишь для полностью определенных значений их траекторий.

Естественно, что ученый XVIII в. не имел ни возможностей, ни реальных знаний, ни, наконец, техники, которые дали бы ему возможность проверить или обосновать все высказанные им положения. Это один из примеров «замораживания» идей.

Основными направлениями творческих поисков ученых второй половины XVIII в. в области механики были принцип наименьшего действия, механика жидкостей, аналитическая механика, теория трения и механика машин. Мы попытаемся коснуться некоторых идей, высказанных в те годы, отнюдь не претендуя на какую-либо полноту изложения. Механики и математики XVIII в. пробовали свои силы в очень многих направлениях, зачастую далеко отстоящих друг от друга, поэтому нам придется иногда повторяться. Впрочем, о сущности «многих» направлений можно спорить: она имеет несколько модернизирующий оттенок, ибо едва ли ученые того времени различали какие-либо направления; они просто решали задачи, поставленные перед ними жизнью или имевшие для них теоретический интерес.

2

История принципа наименьшего действия ведет свое начало от спора между Ферма и Декартом. Спор этот на протяжении почти 90 лет то утихал, то возобновлялся с новой силой. В 1682 г. со своими замечаниями выступил Лейбниц. Последний поддержал аргументацию Декарта. Однако приблизительно в те же годы возник новый спор, проходивший параллельно: о мере движения. В обоих спорах принимали участие одни и те же лица, страсти разгорались сильно, дело доходило до взаимных оскорблений. В центре спора оказались Мопертюи, маркиза дю Шателе и Вольтер.

Пьер Луи Моро де Мопертюи (1698—1759) — один из крупнейших ученых XVIII в., близкий друг Вольтера — прожил бурную жизнь. Кавалерийский офицер, он в возрасте 22 лет вышел в отставку и занялся механикой. В 1728 г., в Англии, он познакомился с учением Ньютона и сделался его при-

верженцем. Следует отметить, что в самой Англии имя Ньютона просто читлось; настоящая же слава к нему пришла только посмертно, и важную роль в этом сыграли его французские последователи.

В 1731 г. Мопертюи был избран членом Парижской академии наук. Работал он в области механики, физики и геодезии. В 1741 г. по приглашению прусского короля Фридриха II Мопертюи переехал в Берлин и занял пост президента физико-математического отделения Берлинской академии наук. В 1753 г. он возвратился в Париж.

В 1744 г. Мопертюи прочитал в Парижской академии наук мемуар, озаглавленный «Согласие различных законов природы, которые до настоящего времени казались несравнимыми». Мопертюи выступил здесь с критикой того принципа Ферма, согласно которому «природа действует всегда по самым коротким путям», и пробовал указать на то, что существует некий принцип экономии, согласующийся с механикой Ньютона. В 1747 г. он применил свой принцип наименьшего действия к решению задач об ударе тел. Однако Мопертюи был чересчур универсален и в своих исследованиях не старался особенно углубляться в сущность вопроса; кроме того, он был метафизиком и в какой-то степени фантазером. Стремясь занять середину между рационалистами и теологами, он искал дополнительных доказательств «бытия божьего». Он возражал против положения Декарта о том, что в природе постоянно сохраняется одно и то же количество движения, но не соглашался и с Лейбницем о сохранении живой силы. С последним утверждением находится в противоречии удар жестких тел, и Мопертюи обвинял Лейбница, что тот скорее согласится, что в природе отсутствуют жесткие тела, чем откажется от своего принципа.

Стремление занять центральное место в спорах механиков и играть роль верховного судьи вовлекло Мопертюи в знаменитый спор о мере движения.

Спор этот, как известно, разделил всю Европу на два враждующих лагеря. В него вмешались Вольтер и его подруга, Эмилия де Тоннеле маркиза дю Шателе. Дю Шателе была математиком, и не плохим: она перевела «Математические основы натуральной философии» Ньютона на французский язык; это был первый перевод великого труда Ньютона. В ее замке Сирей собирався цвет французской и немецкой интеллигенции того времени; здесь бывали Бернулли, Клеро, Мопертюи, Кениг и другие ученые.

В 1751 г. Кениг опубликовал отрывок письма, якобы написанного в 1707 г. Лейбницем Герману, в котором тот сообщал, что ему известен принцип максимального или минимального действия, на основе которого можно построить всю динамику. Мопертюи опротестовал это письмо и потребовал его оригинал. Оригинал не нашлось. Началась ожесточенная перебранка, в которой принял участие даже Вольтер, в итоге осмеявший своего бывшего друга под именем доктора Акакии в «Кандиде», «Микромегасе» и других сочинениях.

Мопертюи претендовал на то, что открытый им принцип является всеобщим законом природы, из которого можно вывести затем все законы и

правила механики (не следует забывать, что в XVIII столетии возможность сведения всех явлений природы к механическим была, вообще говоря, общепризнанной). Но оказалось, что значение этого принципа более скромно. Так, в двух Мемуарах (1749, 1752) Д'Арси доказал, что «действие», минимизируемое Мопертюи, было не одним и тем же в различных его применениях и что можно было указать и на такие процессы, в которых «действие» становится максимумом. Кениг, пытавшийся доказать приоритет Лейбница, также продолжил свои нападки. В 1753 г. Эйлер опубликовал в Берлине разбор всей этой ссоры в мемуаре под названием «Диссертация относительно принципа наименьшего действия с исследованием возражений, высказанных проф. Кенигом против этого принципа». Эйлер с большим уважением отзывается о Мопертюи и признает его заслуги в установлении весьма общего принципа, «более общего, чем высказанный» им, Эйлером. Он замечает, при этом, что «проф. Кениг ставит перед нами двойную обязанность доказать, что принцип наименьшего действия справедлив и что он не открыт Лейбницем». Дело заключалось в том, что, по Кенигу, все принципы можно было вывести из принципа живых сил, т. е. опять-таки вся задача сводилась к старому спору о мере движения. А поэтому и тот принцип, который он предложил, по мнению Эйлера, чаще всего вообще не смог бы иметь никаких приложений. Несмотря на то что Эйлер сам много размышлял и писал по этому поводу, он признал приоритет Мопертюи. В процессе своих ранних исследований в области вариационного исчисления Лагранж в значительной степени развил механические применения принципа наименьшего действия и очистил его от телеологических наслоений. В соответствии с определением, общепринятым к концу XVIII в., действие, относящееся к движению частицы массы m от одной точки пространства к другой, равно интегралу от количества движения

$$\int mv ds$$

который эквивалентен интегралу от живой силы.

$$\int mv^2 dt$$

И, таким образом, имя Мопертюи осталось в истории механики.

3

Очень большой вклад механики XVIII в. внесли в дело становления гидромеханики и как части механики, и как самостоятельного научно-технического направления, получившего уже в этом веке выходы в практику. Дело заключалось в очень практических вещах — в усилившемся товарооб-

мене в странах Западной Европы, что в определенной степени являлось и следствием начавшегося промышленного переворота, и хозяйственной его подготовкой. С другой стороны, рост городов поставил в качестве одного из важнейших жизненных вопросов эпохи проблему их снабжения, что при существовавшем бездорожье было задачей отнюдь не легкой. Таким образом, проблемы каналов, портов и очистки рек стали важными международными проблемами, требовавшими быстрого решения. Наконец, нельзя забывать и о том, что на протяжении всего XVIII в. вся европейская промышленность приводилась в действие водяными колесами. Если к концу века английская промышленность уже обладала несколькими тысячами механических лошадиных сил, что, впрочем, составляло лишь небольшую часть ее тогдашнего механического обеспечения, то в странах Западной Европы и в России паровые машины насчитывались лишь единицами. Поэтому большой интерес ученых к задачам гидромеханики вообще, и в частности к задачам гидродинамики, является весьма обоснованным.

Задачи эти решались одновременно теоретиками и практиками. Практики пробивали каналы и чистили порты, строили «мельницы» различного технологического назначения и иногда подсчитывали необходимую для этого рабочую силу. Теоретики продолжали учиться у практиков, но время от времени выступали и с собственными решениями практических задач, а иногда выдвигали и свои задачи, практическое использование которых не всегда (в то время) было очевидным. Поэтому «гидравлическая архитектура» стала одним из первых и едва ли не самым важным техническим предметом для своего времени.

В 1738 г. Даниил Бернулли опубликовал свой трактат «Гидродинамика, или Пояснение сил и движений жидкостей». Сам Бернулли понимал под разработанной им наукой сочетание гидростатики и гидравлики. Он предложил, по его словам, новую, науку, которая учитывала одновременно и давление в жидкости, и ее движение и которую можно было бы назвать «гидравлико-статикой». В качестве исходного положения для своего уравнения Бернулли принял закон сохранения живых сил. Но, поскольку он работал в самый разгар спора о мере движения, пришлось сделать некоторые оговорки. Он подчеркнул, в частности, что доктрина Лейбница следует за законом, сформулированным Гюйгенсом; «Никакое тяжелое тело не сможет подняться па высоту, превышающую ту, которую оно преодолело в свободном падении».

Исследования Бернулли были развиты Д'Аламбером. Изучение движения и сопротивления жидкостей он предпринял, основываясь на результатах своего «Трактата по динамике» (1743). Он подчеркнул при этом связь механики жидкостей с экспериментом, тогда как механика твердых тел основана на метафизических принципах и не зависит от опыта. Он не смог, однако, не заметить того, что теория движения жидкостей вносит в механику новые трудности. В 1744 г. Д'Аламбер опубликовал «Трактат о равновесии и движении жидкостей», в котором отказался следовать предложенному Д. Бернулли принципу живых сил как исходному закону для своих рассуждений.

Д'Аламбер исходил из гипотезы о параллельности жидких струй (т. е., в сущности, предполагал существование ламинарного движения). Затем он выводит условия равновесия жидкости, а в итоге приходит опять-таки к принципу живых сил, но уже не как к исходному, а как к следствию, вытекающему из определенных рассуждений, причем делает оговорку, что отсюда следует изъять некоторые задачи — именно те, при которых для определенной части движущейся жидкости скорость мгновенно увеличивается.

Важным развитием теории движения жидкости, выполненным Д'Аламбером, является его «Опыт новой теории сопротивления жидкостей», изданный в 1752 г. и представляющий собой ответ на задачу, поставленную в 1750 г. Берлинской академией наук. Здесь он сводит поиск законов сопротивления жидкости к условиям равновесия между жидкостью и движущимся телом. Он получает величину сопротивления из количества движения, потерянного жидкостью. Им был, в частности, открыт гидродинамический парадокс (носящий теперь его имя), в результате чего он пришел к убеждению, что не сможет удовлетворительным образом объяснить сопротивление жидкости. Сущность парадокса заключалась в том, что для нескольких случаев движения тела в жидкости сопротивление получалось равным нулю.

В своих работах начала второй половины века Эйлер исследовал равновесие жидкости, сжимаемой и несжимаемой, подверженной действию некоторых сил. В 1755 г. в своем мемуаре «Общие принципы движения жидкостей» он вывел уравнения движения жидкости, выражающие сохранение массы, при соблюдении условия неразрывности жидкости.

Борда в своих исследованиях придерживался как гидродинамической теории Даниела Бернулли, так и механики жидкостей, разработанной Д'Аламбером. Основные явления гидродинамики, его интересующие, — это те, в которых можно принять потерю живой силы: здесь он ищет аналогию с явлением удара жестких тел. Особенно важными были исследования Борда по определению сил сопротивления среды.

Следует отметить, что в XVIII в. гидродинамика была объектом немногочисленных экспериментальных исследований в области механики. Как уже отмечалось, прикладная механика во всех ее направлениях явилась результатом работ ученых XIX в. К последним относилась и гидродинамика, к созданию которой в равной степени были приложены как теоретические, так и экспериментальные методы. Одним из виднейших механиков-экспериментаторов и был Борда. Начал он исследования сопротивления воздуха. Он построил прибор, состоявший из маховичка, к которому по его окружности крепились пластины разной формы. Маховичок приводился во вращение, — и с помощью этого несложного прибора Борда пришел к ряду выводов, а именно:

1) нельзя оценить сопротивление воздуха по движению какого-либо объекта, зная сопротивление элементов этого объекта (отсюда явствует, что сопротивление — величина экспериментальная, ее нельзя получить в результате ряда математических операций, исходя из какого-либо простого закона);

2) сопротивление пропорционально квадрату скорости и синусу угла, под которым движение тела встречает поток воздуха.

Следующая работа Борда, опубликованная в 1767 г., относилась к определению сопротивления жидкости. Эта работа также была написана на основе экспериментов. Борда построил установку, подобную предыдущей, состоявшую из вращающейся фермы, приводимой в движение силой веса падающего груза. К ферме прикреплялись исследуемые тела (и поверхности), погруженные в воду кольцеобразного бассейна. Эксперименты на этом приборе, как и на предыдущем, были проведены Борда с особой тщательностью. Следует отметить, что после Гука, который умер в 1703 г. и, таким образом, почти не принадлежал XVIII в., Борда был, пожалуй, лучшим экспериментатором эпохи. Он не только учел влияние формы тела, но и степень его погружения. Вывод его такой: теория Ньютона не может уяснить вопроса о сопротивлении жидкостей, а следовательно, применять ее к построению кораблей нельзя. Вывод этот — предчувствие следующего, XIX в.; для XVII в. он был бы просто невозможен, да и для своего времени он слишком смел. Однако в области теории жидкости ранее, чем в какой-либо иной отрасли механики, практическим инженерам пришлось прибегнуть к помощи механиков. Результат был следующим: теоретического исследования для решения вопросов практики недостаточно — нужно экспериментировать и пользоваться результатом эксперимента. Этот вывод имел чрезвычайно большую важность для дальнейшего развития науки.

Дальнейшие эксперименты над сопротивлением жидкостей выполнил в начале последней четверти XVIII в. аббат Боссю. Он подходит к теории эксперимента чрезвычайно осторожно. Он предупреждает, что без хорошей теории эксперимент может привести к неудовлетворительным результатам. «Не ждите ничего от практики, лишенной принципов, — пишет Боссю, — она ... соберет вам ... много данных, разницу между которыми объяснить вам она не сможет». Науки без теории, по утверждению Боссю, быть не может. Боссю при этом различает сопротивление тел, плавающих в неограниченном бассейне (корабль в море) и в бассейне, имеющем резко обозначенные границы (корабль в канале или в узкой реке). Сам Боссю проводил эксперименты, относящиеся к первому случаю. Сопротивление жидкости в случае узких ограниченных потоков жидкости изучил знаменитый деятель американской революции, один из авторов американской конституции Веньямин Франклин.

В результате своих экспериментов Боссю пришел к ряду выводов относительно сопротивления жидкости движению тел. Он установил, в частности, квадратичный закон сопротивления, зависимость его от вида поверхности, зависимость от степени погружения сопротивляющегося тела в жидкость и пытался установить величину сопротивления. Он высказал также идею о том, что уменьшение величины сопротивления дало бы возможность приводить корабли в движение самыми малыми силами. Мысль эта для своего времени была весьма прогрессивной: в сущности, этим путем и пошли создатели современных судов на подводных крыльях.

В 1755 г. назначенная Парижской академией наук комиссия, в составе которой были ДАламбер, Кондорсе и Боссю, получила распоряжение выяснить условия внутренней навигации. Для этого Боссю провел серию экспериментов над моделями судов в условиях неограниченной жидкости. Он пришел к заключению, что сопротивление жидкости движению тел пропорционально квадрату скорости движения, а в некоторых случаях — и более высокой степени скорости. Иными словами, выводы его были теми же, что и результаты других механиков века.

4

С вопросом о сопротивлении среды тесно связан вопрос о трении. Трением в XVIII в. занимались немало. Изучение законов трения начал Амонтон буквально на рубеже XVII—XVIII вв. Затем на протяжении всего столетия исследования в этом направлении следуют одно за другим. Амонтон установил, что трение между твердыми телами зависит лишь от относительного давления. В 1704 г. Паран пришел к понятию угла трения, который он назвал углом равновесия, а тангенс этого угла — коэффициентом трения. Известный голландский физик Мушенбрек заметил, что на величину силы трения влияет также и величина поверхности соприкосновения, а в 1722 г. Камю нашел, что трение движения по величине меньше, чем трение покоя. Затем изучением теории трения занимались Лейпольд, Белидор, Эйлер. Последний установил, что коэффициент трения близок к $\frac{1}{3}$.

В последней четверти века к изучению трения обратился Ш. Кулон, который в 1781 г. опубликовал свою «Теорию простых машин с точки зрения трения их частей...», где развил теорию трения несмазанных тел. Его законы — пропорциональность силы трения нормальному давлению, зависимость ее от вида и качества поверхности соприкасающихся тел, независимость от величины поверхности соприкосновения и от скорости движения — стали важным этапом в исследовании явлений механики движения тел относительно определенной среды.

Вопросы теории трения были не только теоретическими: в XVIII в. они нашли и свое практическое применение. Ярким примером успехов механики столетия может служить памятник Петру I — «Медный всадник», сооруженный скульптором Э. Фальконе, работавшим над ним вместо со своей ученицей М. А. Колло с 1766 по 1778 г. Памятник является художественным изображением движения: все здесь в порыве — и взлет коня, и фигура всадника. Центр тяжести всей композиции проектируется между тремя точками закрепления ее; на первый взгляд представляется, что вся композиция находится на весу. Важнейшую техническую задачу составила транспортировка пьедестала, «Гром-камя», из Финляндии: под него подкладывались чугунные шары — один из первых примеров технического применения «шарикоподшипников», т. е. замены трения скольжения трением качения.

Создание механики в XVIII в. в значительной степени было обзано ге-

нию Эйлера. Его научная деятельность и жизнь были связаны с тремя городами — с Базелем, где он учился у И. Бернулли, с Петербургом, где он начал и закончил свою научную деятельность, и с Берлином, куда он переехал в 1741 г. после одиннадцати лет работы в стенах Петербургской академии наук. Но и будучи в Берлине, он не порывал связей с Петербургом и большую часть своих трудов продолжал печатать в журналах Петербургской академии, являвшихся одними из самых авторитетных научных журналов эпохи.

В 1766 г. Эйлер возвратился в Петербург, где 18 сентября 1783 г. и умер. Его сыновья навсегда связали свою судьбу с Россией; один из его потомков был офицером на славном крейсере «Варяг», теперь его потомки живут и трудятся в Советском Союзе.

Эйлер был чрезвычайно разносторонним ученым. Он занимался проблемами математики и механики, математической физикой, баллистикой, кораблестроением и кораблевождением, астрономией и небесной механикой, оптической техникой, теорией машин, картографией и другими направлениями науки и техники того времени. Одним из первых он применил математические методы к решению задач физиологии, занимался задачами теории упругого тела и даже философией. Впрочем, в последнем направлении больших успехов он не добился. Как писал Лагранж Д'Аламберу, «наш друг (Эйлер) — великий математик, но достаточно плохой философ». А в другом случае, по поводу эйлеровых «Комментариев на Апокалипсис», Лагранж сказал их автору, что в метафизике он — ребенок. Однако теология тоже была одной из специальностей Эйлера.

Первым трактатом, в котором была построена система механики, явилась его «Механика, или Наука о движении, изложенная аналитически» (1736). Исходя из положений, высказанных Ньютоном и Гюйгенсом, Эйлер развивает здесь динамику как рациональную науку. Трактат посвящен динамике точки. Эйлер вводит понятие мощности или силы; характерная особенность этого понятия — то изменение, которое мощность (или сила) оказывает движению точки. Не следует забывать, что понятие силы, мощности, работы в XVIII в. еще не были определены, поэтому их сущность не всегда соответствует современным значениям этих терминов (которые в XVIII столетии еще вовсе не были терминами).

По Эйлеру, направление силы совпадает с направлением той прямой, по которой сила побуждает точку двигаться. При отсутствии силы точка сохраняет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения. Инерцией Эйлер называет свойство, присущее всем телам и материальным точкам, находиться в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения.

Эйлер различает абсолютные силы (например, силу тяжести), которые непрерывно действуют на тело, вне зависимости от его состояния покоя или движения, и относительные силы, действие которых зависит от скорости. В качестве примера относительной силы он приводит силу потока воды в реке, действие которой исчезнет, если скорость движущегося тела сравняется со скоростью потока.

В качестве основных законов механики Эйлер принимает первый и второй законы Ньютона. Он не интересуется вопросом, чем измеряется движение — количеством движения или живой силой — и кто из его современников-механиков, вступивших в это время в жаркий спор, прав. Однако в своей механике он пользуется обоими этими понятиями (и соответствующими величинами), хотя терминологической четкости у него (как, впрочем, и у других ученых того же века) нет. Второй закон механики он читает так: «Приращение скорости пропорционально импульсу силы», но одновременно развивает теорему о живой силе, не касаясь ее физического смысла. Последнюю он формулирует так: «Приращение квадрата скорости пропорционально произведению силы на пройденный элемент пути». В предисловии Эйлер говорит, что он впервые применил к механике анализ, «благодаря которому только и можно добиться ее полного понимания».

Следующий шаг в деле построения динамики, как уже отмечалось, сделал Д'Аламбер в своем «Трактате о динамике» (1743). Незаконный сын богатых родителей, брошенный ими и воспитанный бедной женщиной, Д'Аламбер стал одним из самых блестящих ученых века. Он изучал математику, право и медицину; за два мемуара, представленных в 1739 и 1740 гг. по вопросам динамики твердого тела и по интегральному исчислению, он был в 1741 г. избран членом Парижской академии наук. А в 1764 г. он был избран и в Петербургскую академию наук.

По утверждению Д'Аламбера, механика строится на основе трех принципов — инерции, сложного движения и равновесия. Он считал, что следует учитывать лишь две причины изменения состояния тел — удар и силу притяжения.

Первая часть трактата Д'Аламбера посвящена статике, вторая — динамике системы со связями. Основным содержанием второй части является изложение «принципа Д'Аламбера» и способов его практического применения к решению задач" механики. Позже, уже на исходе века, Лагранж, характеризуя «Трактат» Д'Аламбера, указывает, что в нем «предложен прямой и общий метод, с помощью которого можно разрешить, или, во всяком случае, выразить в виде уравнений, все проблемы механики, какие только можно себе представить. Этот метод приводит все законы движения тел к законам их равновесия и, таким образом, сводит динамику к статике...»

Принцип Д'Аламбера не дает непосредственных уравнений, необходимых для решения проблем динамики, но он показывает, как эти уравнения можно было бы вывести из условий равновесия. Таким образом, если сочетать этот принцип с обычными принципами равновесия рычага или сложения сил, то всегда можно найти уравнения движения для всякой системы. Все же трудность определения тех сил, которые должны уничтожаться, равно как и законов равновесия этих сил, делает применение принципа зачастую неудобным и утомительным, а решение, которое при этом получается, почти всегда сложнее тех решений, которые могут быть получены путем применения менее простых и менее прямых принципов, как можно убедиться по второй час-

ти «Трактата динамики» Д'Аламбера.

Несмотря на все свое значение трактат Д'Аламбера не повлиял на ближайшее развитие методов механики в такой степени, в какой это следовало ожидать. Этому препятствовала сложность терминологии Д'Аламбера и не совсем ясный способ его рассуждений. Под названием скорости он понимает и скорость, и ускорение, причем для понятия «ускорение» пользуется также термином «ускорительная сила»; для него понятие это не основное, как в механике Д. Бернулли и Эйлера, а производное.

Д'Аламбер систематически применяет свой принцип к решению различных задач, начиная с задачи об ударе.

5

Таким образом, в первой половине XVIII в. возникла динамика, которая заменила собой механику старого времени — статику — и начала претендовать на универсальное значение не только в технике, но и в изучении строения человеческого тела и его функций. Однако незатронутым оставалось учение о движении. Как это не странно, но проницательные математики, создавшие вместе с Ньютоном концепцию ньютонианской механики, по видимому даже не задумывались о том, что изучение законов движения тел может быть не только самоцелью, но сможет дать и весьма важные сведения о поведении тел при действии на них сил, т. е. облегчить работу самой динамики. Интересно, что уже в XVII в. знали ряд теорем кинематической геометрии (естественно, что ни названия, ни самой науки в то время еще не существовало), а их кинематическая сущность все время ускользала от внимания исследователей.

Первым и здесь оказался Эйлер. В 1776 г. в мемуаре «Общие формулы перемещения твердых тел», опубликованном в петербургских «Новых комментариях», он указал на то, что изучение движения тел, основанное на геометрических рассуждениях, следует выделить в самостоятельный раздел механики. Следом за ним Кант в «Метафизических началах естествознания» (1786) посвящает вопросу науки о движении, «форономии», целую главу. Кант начинает с положения, что основным свойством всего существующего является движение, а поэтому вся наука о природе является чистым или прикладным учением о движении. Следовательно, foroномия должна стать первой, вступительной частью метафизических оснований естествознания. Кант считал, что эта наука должна разработать геометрическое описание движений, дополняя его понятием скорости как функции времени. Он уделил большое внимание вопросу классификации движений, причем очевидно, что классификация Канта возникла не без наблюдения над работой машин. «Движения могут быть,— говорит Кант,— вращательные ... или поступательные, а эти в свою очередь — либо расширяющие пространство, либо ограниченные данным пространством. В первом случае это прямолинейные, а также криволинейные, не возвращающиеся к себе движения. Движения вто-

рого вида — возвращающиеся к себе. Последние в свою очередь либо циркуляционные, либо осциллирующие, т. е. либо круговые, либо колебательные. Первые проходят то же самое пространство всегда в одном и том же направлении, вторые — всегда попеременно в противоположных направлениях, подобно качающимся маятникам»^{*}.

Механика XVIII в. в своем теоретическом аспекте завершается с выходом в свет «Аналитической механики» Лагранжа. Уроженец Турина (Северная Италия), профессор Луи де Лагранж начал свою научную деятельность в родном городе, где стал одним из организаторов академии наук. Прослужив некоторое время в Берлине (он там сменил Эйлера), Лагранж в 1787 г. переехал в Париж, где оставался до конца жизни.

«Аналитическая механика» вышла в свет в 1788 г. Автор поставил перед собой цель дать свод механики, собрав воедино все то, что было сделано его предшественниками, но исключив их ошибочные или неудачные суждения. В качестве важнейшего своего достижения Лагранж выставил то, что в его трактате нет ни одного рисунка. Изложенные в нем методы, по его словам, не требуют никаких геометрических или механических рассуждений, а только алгебраических действий. «Те, кто любят анализ,— говорит Лагранж,— с удовольствием увидят, что механика стала новой его ветвью и будут благодарны за это». Как показало будущее, именно в этом Лагранж ошибся, и создание прикладных направлений механики в очень бурных темпах началось через какие-нибудь 10—15 лет после выхода в свет знаменитого трактата.

Своему трактату Лагранж предпослал исторический очерк, в котором изложил развитие основных идей механики на протяжении более чем двух тысячелетий ее существования.

Важное значение Лагранж придает принципу виртуальных перемещений, который излагает в такой форме: «Мощности находятся в равновесии в том случае, если они находятся в отношении, обратном к своим виртуальным скоростям, следующим направлениям этих мощностей».

Лагранж не определил понятия силы. Как и его предшественники, он пользуется двумя словами — *force* (сила) и *puissance* (мощность) и выражает этими терминами причину, побуждающую или стремящуюся побудить к движению тело, к которому она предполагается приложенной. Если тело находится в состоянии равновесия, сила не проявляется, но ее всегда можно было бы измерить по тому действию, которое она смогла бы выполнить.

Лагранж анализирует четыре принципа динамики: принцип сохранения живых сил, который впервые был высказан Гюйгенсом, затем развит Лейбницем и Иоганном Бернулли и применен к задачам гидродинамики Даниилом Бернулли; принцип сохранения центра тяжести, восходящий к Ньютону и развитый Д'Аламбером; принцип сохранения момента количества движения (принцип площадей), открытый Эйлером, Даниилом Бернулли и Д'Арси, который является обобщением теоремы Ньютона; наконец, принцип наимень-

^{*} Кант И. Сочинения в шести томах, т. 6. М., «Мысль», 1966, с. 72-73.

шего количества действия, который он считает всего лишь результатом обобщения законов механики. Таким образом, он отказывает принципу Мопертюи в самостоятельной ценности; более того, он ссылается на то, что первая идея этого принципа была высказана в 1744 г. Эйлером.

Важнейшим результатом Лагранжа являются его классические уравнения динамики, оказавшиеся чрезвычайно удобными для разных приложений и весьма способствовавшие в дальнейшем становлению и развитию направлений прикладной механики. Наконец, в разделе, посвященном гидродинамике, он высказывает несколько важных положений: здесь, как и в других местах трактата, рассуждения автора — чисто аналитические.

Небезынтересно заметить, что слово «аналитический» в отношении науки применяется Лагранжем впервые; хотя по своему происхождению аналитическая геометрия значительно старше трактата Лагранжа, однако термин заимствован именно у него.

Так развивалась механика в XVIII в. Естественно, что здесь приведен лишь набросок этого развития и упомянуто только о некоторых фактах. Интересно, что XVIII в. — это в сущности, последний век практической механики, последний век свободного творчества архитекторов, инженеров и «устроителей мельниц» — механиков этого весьма практического столетия. Следующее столетие — эпоха создания целого ряда направлений прикладной механики и распространения высшего технического образования, когда инженеры и техники уже потеряли право самостоятельного свободного творчества и в самых своих оригинальных и смелых конструкциях вынуждены были строго следовать законам и правилам механики. В XVIII в. этого еще не чувствуется: ученые очень интересуются практикой, и в их творчестве практические задачи занимают все более и более важное место, однако практики стараются поменьше прибегать к помощи теоретиков и часто доказывают, что хотя математика и важная наука, но к сооружению зданий, например, она не применима. То же самое относилось и к математике, которая в XVIII столетии еще вполне «ощущалась» как часть механики; это и высказал

Лагранж в своем утверждении, что он полностью очистил механику и сделал ее частью анализа.

Однако образованное общество (которое в XVIII в. составляло значительное меньшинство населения) уже проявляет интерес и к науке, и к технике; появляются даже попытки составить учебники по отдельным техническим наукам. В 1726 г. Англию посетил Вольтер и был очарован английской наукой и философией, а главное — английской толерантностью: Франции XVIII в. толерантности не хватало. Его борьба с нетолерантностью подготовила почву для энциклопедистов. Вольтер же порекомендовал Эмилии дю Шателе заняться переводом Ньютона. Перевод был издан с комментариями переводчицы, которые, как говорят, написаны были не без помощи ее учителя Клеро.

Однако уже тот факт, что понадобился перевод латинского трактата Ньютона, говорит о многом. Если в XVII в. возникает научная литература на

новых языках, то в XVIII в. она непрерывно распространяется и начинает сильно теснить литературу на латинском языке. Быстрое вытеснение латинского языка становится одной из характерных черт эпохи. Второй характерной чертой является стремление к популяризации и распространению знаний, возникают журналы и энциклопедии, появляются книги на новых языках, трактующие различные направления науки, а иногда и техники.

К концу века начинают возникать общества, ставившие своей целью приобщить своих сочленов к развитию тех или иных наук. Так, в 1765 г. в России возникло Вольное экономическое общество. Об одном из таких обществ, шотландском «Лунном обществе», нам придется говорить несколько позже.

6

Первой из известных энциклопедий эпохи явился двухтомный «Исторический и критический словарь» Пьера Бойля, изданный в Амстердаме в 1695—1697 гг. и несколько раз переизданный в XVIII в. во все увеличивавшемся объеме. Бойль был философом-скептиком и считал разум инструментом скорее разрушения, чем созидания; его словарь содержал не особенно много научных сведений.

В 1728 г. выпустил свою «Энциклопедию, или Универсальный словарь искусства и науки» Эфраим Чемберс. Первое двухтомное издание содержало уже статьи, посвященные науке; последующие издания давали значительно больше. В частности, попытка издания во Франции перевода словаря Чемберса привела к созданию французской «Энциклопедии»: около 1743 г., когда готовились соответствующие материалы, Дидро убедил издателя приступить к изданию самостоятельного словаря. Как известно, ведущими редакторами «Энциклопедии» стали Дидро и Д'Аламбер. В их «Энциклопедии» уже много статей было посвящено науке и технике — впрочем, составители не поняли промышленного переворота, и «техника» в «Энциклопедии» свелась скорее к описанию ремесел. Среди авторов «Энциклопедии» были, в частности, Вольтер и Эйлер.

Самой научной немецкой энциклопедией эпохи был «Большой полный универсальный лексикон всех наук и искусств», выпущенный Цедлером в Галле в 1732—1750 гг. в 64 томах и имевший ряд дополнений. В 1771 г. в Эдинбурге была выпущена «Британская энциклопедия», первое издание которой уместилось в трех томах. В России первым словарем энциклопедического типа стал «Словарь коммерческий, содержащий познание о товарах всех стран и названиях вещей главных и новейших, относящихся до коммерции, также до домостроительства; познание художеств, рукоделий, фабрик, рудных дел, красок, пряных зелий, трав, дорогих камней и проч.», изданный В. А. Левшиным в Москве в семи частях в 1787—1792 гг. Словарь этот в основном представлял перевод статей из французского «Универсального коммерческого словаря» Савари де Брюслона, но был дополнен как рядом

статей из «Энциклопедии», так и оригинальными статьями самого В. А. Левшина относительно русской промышленности и торговли.

Значительное место в «Энциклопедии», а также в других словарях эпохи занимало изображение машин и описание их действия. Интерес к машинам, действительно, в XVIII в. был повсеместным. Так, описания машин печатают в ряде периодически выходивших томов Парижская академия наук, ознакомление с машинами записано в уставе Лондонского Королевского общества. В середине века теорией, а отчасти и практикой машин заинтересовался Эйлер. Он исследует теорию гидравлических двигателей и улучшает ее, работает над созданием теории зубчатых зацеплений. Одним из первых Эйлер указал на принципиальную ошибку при расчете машин, обычную для всего XVIII в.: они рассчитывались с помощью статики, тогда как естественное состояние машин — это не покой, а движение.

Самыми распространенными машинами XVIII в., несмотря на начавшийся уже промышленный переворот, продолжали оставаться мельницы, т. е. технологические установки различного назначения, движущим элементом которых («универсальным двигателем») служила гидравлическая установка, состоявшая из одного колеса или из системы колес. Естественно, что это обстоятельство привязывало мельницы к берегам рек и сдерживало развитие промышленности в местах, удаленных от водяных потоков, хотя бы они и были богаты исходным сырьем. Все технологические машины того времени не отличались особой сложностью и заменяли лишь физическую силу человека. Такие технологические установки строили на протяжении всего столетия механики-практики, профессия которых зачастую была наследственной. Как позже писал Фейрберн*, такой механик был иногда единственным представителем механического искусства и наивысшим авторитетом во всем том, что касалось применения воды и ветра в качестве источников энергии для различных мануфактур. В своем округе он был механиком-универсалом и к тому же умел работать на токарном станке, знал слесарное, кузнечное и столярное дело. Он ремонтировал и исправлял установки, сооружал новые и запускал их в работу, ходил от одного пункта до другого, ибо нередко был один на всю округу. Таким образом, механик XVIII в. являлся чем-то вроде бродячего инженера и ремесленника в одном лице. Он хорошо знал арифметику, кое-что из геометрии, умел измерять, работал с уровнем и иногда имел достаточно глубокие познания в практической механике. Он умел подсчитывать скорости, определять мощность и нагрузку машины, составить чертеж. Он мог построить здание, колеса и плотину, провести канал, соорудить мост. Все это должен был уметь делать английский mill-wright и западноевропейский практик-механик; подобный специалист в старой Руси именовался «розмысл».

Но едва ли большие познания в математике имели и архитектор, и военный, и горный инженер, по крайней мере в начале века. Недаром Петр I, по

* Fairbairn W. Treatise on Mills and Mill work. London, 1861.

сылая своих «птенцов» обучаться «наинужнейшим частям инженерства», требовал, чтобы инженеры знали четыре действия до дробей и тригонометрию до синусов; однако, учитывая их слабую подготовку, соглашался на то, чтобы они знали хотя бы нумерацию и сложение простых чисел.

7

Возникновение технических и военных школ потребовало создания учебников для них, и тут же выяснилось, что в отношении механики подход в университетах и в технических школах оказался различным. В университетах обычно было две кафедры — чистой и смешанной математики; механика входила в состав курса смешанной, или прикладной, математики; наряду с ней в состав этого курса входили элементы оптики, гониометрии, космографии, фортификации, артиллерии, архитектуры, некоторые сведения по части машин и еще из доброго десятка наук. Для специальных школ такой научный «винегрет» не подходил и во второй половине века появляются учебные книги, в которых, кроме статики, все в большем объеме излагаются сведения из динамики. Так, в 1764 г. в Петербурге вышел из печати учебник механики Я. П. Козельского*. Как указывает автор, механика — это учение о равновесии и движении тел. Он не выделяет статику в отдельный раздел; на протяжении всей книги он подчеркивает физическую сущность механики. «Что принадлежит до метода или порядка в расположении...— пишет он,— то в том не следовал я другим авторам не от тщеславия, а от подражания лучшему. Они пишут механические правила наподобие математических, кои выводятся из положений и рассуждений; напротив того, в механике как физической науке такой порядок расположения предложений показался мне непристойным, для того что самому мне нередко случались некоторые механические правила весьма трудны, хотя я и мог разуместь их доказательства; а сему причину не иное что было, как только то, что я об истине тех предложений несколько сомневался, не видев руководствующих к тому опытов, чего ради я, в описании правил сей науки, за благо рассудил приноровлять математические правила к законам природы, нежели склонять ее на согласие математическим правилам; и таким образом, приняв к тому за предводителя природу, сперва полагаю всякому действию ее опыт, дабы приуготовить чрез то начинающего учиться к скорейшему понятию тех предложений... которые выводятся и должны выводиться в механике из опытов» в.

Подобные учебники начинают появляться повсеместно. Во Франции учебник механики издал в 1764 г. известный астроном Лакайль. В 1774 г. вышел «Трактат по механике» Ж. Ф. Мари. Эти учебники включают наравне со статикой и динамику. Авторы обычно следуют Эйлеру и Д'Аламберу, ста-

* Козельский Я. П. Механические предложения для употребления обучающегося при Артиллерийском и Инженерном шляхетском корпусе благородного юношества. СПб., 1764; 2-е изд.— 1787.

раясь примирить некоторые терминологические расхождения.

В самом конце века появляются и руководства для практиков. В них обычно приводятся кое-какие теоретические сведения, а затем даются примеры из практики. В качестве образца можно привести «Карманную книжку... в пользу находящихся при строении мельниц и проведении вод» переводчика Адмиралтейской коллегии А. В. Колмакова (СПб, 1791). Здесь нет особенных теоретических рассуждений. Так, в параграфе «О боковом давлении» (с. 3) сообщается: «Вода, а под водою и все жидкие разуметь должно, давит стороны сосуда по направлению параллельному к горизонту. Сие в преподаваемых Екатериною Великою учрежденных училищах довольно изъясняется. Давление сие от поверхности воды до самого дна сосуда растет в арифметической прогрессии...». Вычисляя скорость мельничного колеса, автор приходит к выводу, что она «должна быть равна $\frac{1}{3}$ скорости воды движущейся, чтоб действие было самое большое. Ибо хотя по решению и вышло $\frac{1}{3}$, или a , однако a бесполезно, потому что со скоростью a махина вся будет бесполезна» (с. 35—36). «Трением,— указывает автор,— называется тяжесть, которую должно прибавить к подъемлющей тяжести, найденной по механическим правилам, чтоб подъемлющая и иодъемлемая тяжесть были в равновесии». Коэффициент трения принимается равным $\frac{1}{3}$: «Трение равно третьей части отвесного давления, какое бы давление ни было, от тяжести или от внешней силы или от обоих вместе» (с. 62, 71). Если отвлечься от неразработанной еще терминологии, то очевидно, что в книге собраны несложные вычисления и ряд данных, которые в определенной степени могли бы помочь строителям мельниц; естественно, что книжка не идет ни в какое сравнение с учебниками механики, которые издавались одновременно.

Очень трудно проникала механика в строительство. После первых решений Галилея на протяжении всего XVIII в. в учении о сопротивлении материалов было сделано очень мало. Опыты с испытанием материалов Мюшенбрека, теория балки Мариотта, опыты Белидора, Бюффона и Кулона — вот почти и все. Но в 1770 г. разгорелся теоретический спор по поводу сооружения церкви св. Женеьевы в Париже, в котором приняли участие все известные архитекторы и инженеры эпохи.

Дело заключалось в следующем: проект церкви был поручен Жаку Жермену Суффло, пенсионеру Академии наук. В своем проекте Суффло решил соорудить купол больших размеров, который должен был венчать здание, основав его на углах здания крестовидной формы. Здание строили долго, лишь через семь лет стала ясна идея архитектора. Особенную тревогу вызвало чрезвычайно ослабленное основание барабана купола.

Архитекторы-традиционалисты были возмущены, и один из них, Пьер Патте, опубликовал мемуар, в котором возражал против решения Суффло. В ответ Суффло заявил, что он основывается на новых принципах строительства. Одновременно один из его друзей, Эмилиан Мари Готэ, издал мемуар «Применение механики к сооружению арок и куполов» (1772), в котором привел результаты опытов над сопротивлением различных видов камня. Сам

Готэ окончил Школу мостов и дорог, изучал математику и архитектуру и был затем профессором математики в том же учебном заведении. Ему принадлежало несколько руководств, в частности он написал «Трактат о сооружении мостов» (изданный посмертно его племянником Навье).

Опыты Готэ были продолжены Жаном Ронделе, который усовершенствовал испытательную машину Готэ и которому пришлось после смерти Суффло заканчивать постройку церкви. Благодаря авторитету Готэ и настойчивости учеников Суффло здание было выполнено так, как его задумал Суффло. По расчетам Гота, колонны, на которых был основан купол, несли нагрузку около 33 тонн на квадратный фут; при этом маленькие образчики камня, испытанные на машине Готэ, выдерживали нагрузку в восемь раз большую расчетной. Однако при расчете забыли учесть влияние эксцентричной нагрузки, неточности исполнения и природных условий. Кроме того, сами колонны были сооружены из двух видов камня, причем один был тверже, но более хрупок, а второй — мягче. Твердый камень принял на себя, как оказалось, значительно большую часть нагрузки, чем он мог выдержать, и колонны дали трещины.

Патте снова ввязался в спор с предложением облегчить нагрузку на колонны, для чего следовало разобрать купол. Но это случилось в годы революции, церковь Женевьевы была преобразована в Пантеон, который не мыслился без большого купола. Комиссия, назначенная Конвентом, обследовала здание и поручила Ронделе восстановить его, усилив колонны, но сделать это так, чтобы не пострадал общий вид. Усиливающая кладка была связана с основными колоннами металлическими связями, и здание было спасено. Так закончилась история с первым сооружением, строившимся по расчету. Механики увидели, что следует более тщательно испытывать материалы, осторожнее обращаться с составными (из разных материалов) конструкциями и не принимать слишком малых запасов прочности.

Итак, в строительстве сначала пытались применить к сооружению зданий методы расчета, а затем пришлось создавать строительную механику. Положение с другой отраслью прикладной механики — с механикой машин — оказалось значительно проще. Здесь удалось заложить основы науки до того, как их испробовали на практике: научное машиностроение возникло относительно поздно.

8

Создание теории машин связано с именами Монжа и его ученика Л. Карно. Гаспар Монж (1746—1818) учился в Мезьерской военно-инженерной школе. Из-за своего происхождения (он был сыном мелкого торговца) он не смог продолжить образование на основном отделении школы, куда принимали только дворян. Впрочем, происхождение не помешало ему в возрасте 22 лет стать профессором той же школы. Он развил начертательную геометрию и создал техническое черчение, ставшее вскоре универсальным языком тех-

ников. В своих лекциях по статике Монж особенное внимание обращал на теорию машин. Позже, в Парижской политехнической школе, он явился инициатором постановки преподавания по курсу «построения машин» и намечил основания для классификации механизмов.

Лазар Карно (1753—1823) тоже окончил Мезьерскую школу. В 1783 г. он опубликовал свой трактат «Опыт о машинах вообще», который в 1803 г. был переиздан под названием «Основные принципы равновесия и движения».

Карно указал на то, что механика по своей сущности является наукой экспериментальной и тем самым подтвердил ее право на самостоятельное существование, вне границ математики, что, естественно, противоречило идеям Лагранжа. Карно построил свою систему на основании теории движения, отрицая возможность основания ее на «метафизическом и темном понятии силы». Фундаментальным законом механики он считает закон количества движения. Понятием силы Карно пользуется лишь как вторичным. Он различает: ускоряющую силу (ускорение), движущую силу, силу давления, или мертвую силу, живую силу, скрытую живую силу (потенциальную энергию). Карно вводит и понятие силы инерции, которую определяет, как «сопротивление, противопоставляемое телом любому изменению его состояния». Он указывает при этом, что если «сама инерция является лишь свойством, которое не поддается измерению, то сила инерции является настоящей измеряемой величиной: это то количество движения, которое тело передает иному телу, изменяющему его состояние движения». Он указывает затем, что сила инерции является результирующей силы, передаваемой движущимся телом иным телам системы, и силы, противоположной той, которая приводит тело в движение.

Вопрос о силах инерции разработан Карно подробно; он разъясняет недоуменные вопросы, ставшие запутанными в процессе нескольких дискуссий о силах инерции.

Карно пытался построить систему механики. Его основания и рассуждения иные, чем у Лагранжа. Карно — инженер с большим пониманием практики, к которой он обращается постоянно. Его механика — это скорее механика машин, и он прекрасно понимает и настаивает, что машину нужно изучать в процессе движения. Некоторые его мысли в этом отношении совпадают с идеями Эйлера. Все законы и теоремы механики Карно рассматривает применительно к машинам, так что его книгу уже можно отнести к прикладной механике. Возможно, что это — первая книга по прикладной механике.

Другой ученый — Прони — в своей «Новой гидравлической архитектуре» (1790) дважды обращается к вопросам динамики. Первый раз — в разделе «О динамике». Он называет динамику новой наукой и связывает ее происхождение с «Беседками и математическими доказательствами» Галилея (1637). Он считает, что основным принципом динамики является принцип Д'Аламбера, а основные понятия динамики (и статики) — это инерция, равновесие и параллелограмм сил.

В трактате Прони впервые появляется паровая машина как объект исследования. Прони был одним из первых, кто, следуя Эйлеру, полностью отошел от теории построения машин из «простых машин», и его работа явилась важным вкладом в создание прикладной механики.

А создание такой науки уже становилось делом практической необходимости: в результате промышленного переворота количество машин росло с необычайной быстротой. Новые машины появлялись во всех областях производства. Паровая машина, изобретенная в России И. И. Ползуновым, а в Англии — Д. Уаттом, развивается быстро и быстро приобретает новые качества. Если в России на нее просто не обратили внимания и после смерти изобретателя уничтожили за ненадобностью, то в Англии она очень скоро становится национальным достоянием, которое даже запрещается вывозить из страны. В силу этого изобретательская мысль в странах Западной Европы и в США интенсифицируется в том же направлении.

Эксперимент в XVIII в. характерен был не только для науки: в равной степени он был свойствен технике, собственно технике промышленного переворота. Ведь не следует забывать, что в то время не было ничего подобного современному конструированию, основанному на глубоких научных изысканиях сущности машин, которые начаты были уже только в XIX в. Все эти новые (для XVIII в.) машины, заменившие руку человека и его умение, явились результатом длительного экспериментирования, большого числа неудач и разочарований и очень редких удач. Одновременно с новыми машинами создавались и новые технологические процессы, и первый задел в создании технических наук принадлежит именно тем практикам-изобретателям, которые сумели перевести сущность выполняемых человеком операций на язык механизмов и машин.

То же самое касается и паровой машины. Джемс Уатт добился положительного результата лишь после большой серии экспериментов и продолжал экспериментировать на протяжении всей своей жизни. При этом ему пришлось создать несколько совершенно новых механизмов. Он отделил сперва конденсатор от машины и создал распределительный механизм. Он изобрел затем несколько механизмов для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение вала. Самым простым было бы применить кривошипно-ползунный механизм, но он был тогда уже запатентован другим изобретателем. Поэтому Уатт предложил иные механизмы для этой цели, самыми интересными и важными из которых оказались планетарный механизм и так называемый параллелограмм Уатта. Уатт считал этот последний лучшим своим изобретением. Кстати, этот механизм послужил поводом для создания Чебышевым теории синтеза механизмов, теории шарнирных механизмов и теории приближения функций полиномами, наименее уклоняющимися от нуля. Практически параллелограмм Уатта — это один из важнейших вкладов в создание науки о машинах.

Итак, во второй половине XVIII в. получилось своеобразное распределение труда в странах Европы: в Англии завершается промышленный переворот; здесь интенсивно работают над созданием новых машин и новых технологий, но очень мало делают для развития науки. Во Франции в предчувствии переворота, а также в России и в Германии, где сохраняются полуфеодальные отношения и мануфактурный способ производства, создается большая механика, основой для которой стало учение Ньютона. Положение парадоксальное, но объяснение ему следует, по-видимому, искать именно в производственных отношениях и в социальных условиях, господствующих в этих странах. Россия тогда была единственной страной в Европе, где ученых обеспечивали; они были на правах государственных служащих, получали жалованье, чины и звания. Для XVIII в. это было чрезвычайно большим достижением, и недаром Санкт-Петербургская академия наук смогла собрать такой блестящий состав ученых, являвшийся ее гордостью. Ведь и М. В. Ломоносов, благодаря своему гению прорвавшийся в большую науку, умер «статским советником и кавалером», получил дворянство и чины. Эйлер также предпочел обеспеченную жизнь в Петербурге, уважение и почет, которым он был окружен в России. Фридрих Прусский тоже платил ученым своей Берлинской академии, ни мало и не всегда, так как ему обычно не хватало денег даже на армию. А кроме того, на правах просвещенного короля он оставлял за собой право издеваться над учеными, например над Эйлером, который, по словам короля, неправильно подсчитал количество воды, нужное для функционирования фонтана в дворцовом саду. Не получали постоянного жалованья и французские академики, но иногда «премировались» за свои труды. А кроме того (и это, пожалуй, самое важное), предчувствие необходимости перемен, дух приближающейся революции, который вдохновлял Вольтера и энциклопедистов и все передовое французское общество, побуждал к интенсивной деятельности. В Англии промышленная революция нашла свое материальное отражение в создании новых машин; во Франции, социально-экономические условия которой на много лет задержали революционный взрыв в средствах производства, интенсивная научная деятельность и своеобразное французское «свободомыслие» явились адекватным отражением революционного перелома в хозяйственной и общественной жизни страны.

В Англии знаменитая «бескровная» революция, стоившая многих тысяч жизней, начиная с короля Карла I и кончая множеством его безымянных подданных, его сторонников и сторонников парламента, своевременно облегчила капиталистическое развитие страны. Английская академия наук — Королевское общество — было основано почти одновременно с Академией наук в Париже. Согласно уставу, денег ученым не платили, а наоборот, члены Королевского общества должны были делать в его казну взносы сами, чтобы обеспечить выполнение экспериментов. Это создавало трудности в научной работе.

Нельзя сказать, чтобы научный взрыв, вызванный событиями научной революции, а затем промышленного переворота, ощущался в Англии слабее, чем в других европейских странах. Скорее наоборот! Но для развития науки нужны деньги, и это понял Петр I, который еще до организации Петербургской академии позаботился о том, чтобы академики были «удостаточены» жильем и питанием. Его завещание в этом отношении выполнил А. Д. Меншиков, за которым числилось много грехов и прегрешений, по Петербургскую академию наук он открыл так, как того желал Петр.

Малые возможности, которые имело Лондонское Королевское общество для развития наук, но могло не вызвать реакции: таковой было, например, «Лунное общество», одним из членов которого являлся Уатт.

10

«Лунное общество» было организовано около 1776 г. Одним из его организаторов был доктор Вильям Смол (1734—1775) — профессор математики и естествознания в Вильямсбурге (Виргиния, США). По возвращении в Англию он сумел собрать вокруг себя группу очень разных людей, среди которых были Уатт и его компаньон Мэтью Боултон. На протяжении почти четверти столетия «Лунное общество» было одним из важнейших (если не самым важным) центров развития научной мысли в Англии. Его сочлены находились в научной связи с учеными Франции, США и многих европейских стран и составили нечто вроде академии наук.

Однако эта «академия» отличалась от всех других своей индустриальной направленностью. Ее можно было бы назвать академией технических наук, если бы технические науки к тому времени были бы разработаны. В «Лунное общество» входили наиболее видные изобретатели, механики, ученые, а также фабриканты. Руководителем и ведущим сочленом общества был доктор Эразм Дарвин (1731—1802) — сельский врач с очень большими и разносторонними интересами, в идеях которого можно было найти многое из того, что впоследствии развил его знаменитый внук Чарльз Дарвин (1809—1892). Он организовал, в частности, Ботанический сад в Личфилде и Философское общество в Дерби. Он был но лишен и технических познаний. Уатт обсуждал с ним некоторые свои идеи, и сам он предложил несколько интересных механизмов.

С «Лунным обществом» были связаны и некоторые английские художники, в особенности те, которые интересовались воспроизведением мельниц и иных технических объектов. Промышленная революция оказала влияние не только на технику, но и на искусство, и в течение второй половины XVIII в. ряд художников посвящали свои работы технике. И это не только в Англии: во Франции, в Швеции, в Италии художники тоже начинают интересоваться техникой. Интерес этот в определенной степени явился возрождением старых интересов, когда художнику приходилось быть не только живописцем или скульптором, но и архитектором и инженером. Теперь, когда эти профессии

разделились, вновь появляется старая тяга — нечто вроде рецидива атавизма. Поэтому классицизм в искусстве, который возникает во второй половине века и определяет искусство конца XVIII — начала XIX в., логически обусловлен именно началом слияния искусства и техники, но уже на новой научной основе.

Еще одно направление техники, связанное с механикой машин, зародилось в самом конце XVIII в. в США. Здесь наука развивалась по европейскому образцу, однако носила явный облик провинциализма. В 1743 г. было основано Американское философское общество, но работало оно плохо, и Франклин жаловался, что его сочлены были «очень ленивые джентльмены, которые не хотели принимать на себя никакой ответственности». В 1780 г. была создана Американская академия наук и искусств в Бостоне — одна из важнейших современных нам американских научных организаций.

Но в Америке зародилась автоматизация производства, у истоков которой стоял выдающийся изобретатель и механик Оливер Ивнс (1756—1819). Сын фермера и внук мельника, он был таким же бродячим механиком по сооружению и ремонту мельниц, как и его коллеги в Европе. Поэтому первое его изобретение тоже относилось к технике мельничного дела: это была автоматическая мельница. Если в обычной мельнице вода и ветер приводили в движение лишь жернова, а все прочие операции выполнялись вручную, то Ивнс поставил конвейеры на все операции и создал таким образом непрерывный автоматический процесс. Одновременно другой изобретатель, Эли Уитни, повторил изобретение взаимозаменяемости деталей (сделанное впервые в середине XVIII в. на Тульском оружейном заводе). Эти два изобретения оказали важное влияние на развитие машиностроения в США.

Такой была совокупность знаний по теоретической и практической механике, которую XIX в. унаследовал от века предшествующего. Едва ли можно недооценивать это наследство: XIX в. получил созданную уже аналитическую механику, получил много сведений по части строительства и машин и ряд решенных прикладных задач.

Но прикладной механики создано не было. Эту нелегкую задачу предстояло выполнить следующему столетию.

Источник: Механика и физика второй половины XVIII в. — М.: Наука, 1978. — 200с.