

В.Г. Горохов

От простого к сложному: от классического естествознания к техническим наукам

Проблема соотношения простого и сложного пронизывает всю историю человечества, в особенности историю философии и науки. Древнегреческие философы искали основания данного нам в ощущениях сложного мира в простых рациональных конструкциях, сводя их к атомам, как Демокрит, гомеомериям, как Анаксагор, апейрону, как Анаксимандр. Но проблема эта касалась не только мира природного, естественного, но и мира искусственного. Именно из этого убеждения свести сложное к простому сформировалась античная теория «простых машин», изложение которой мы находим у Аристотеля, Архимеда и, наконец, Герона Александрийского. Именно эти авторы оказали влияние на представление о машинах в эпоху Возрождения и в Новое время. Их наследие начинает обсуждаться на разные лады тогдашними мастерами, инженерами, конструкторами машин, которыми, правда, руководили уже иные, чем раньше практические задачи. Машины становятся достаточно сложными и их расчет требует построения моделей, но знания, полученные на этих моделях, не всегда просто и автоматически применяются при переходе к иным размерам и реальным конструкциям.

Теория «простых машин» у Галилея как средство объяснения и оценки работы сложных машин

Герон Александрийский перечисляет пять таких простых механизмов: ворот, рычаг, блок, клин и винт. Они становятся элементарными строительными блоками всех сложных машин. Вторая книга его «Механики» «посвящена классификации, описанию, действию и практическому применению пяти “простых машин”... В ней содержатся отрывки из ранних произведений Архимеда: “Книги опор” и “Книги о рычаге”... Далее следует описание механизмов, в которых в разных сочетаниях комбинируются “простые машины” (кроме клина)»¹.

Общий принцип их работы Герон видит в круге: «Мы можем рассматривать линию BE как весы, которые могут вращаться около точки подвеса A . Это доказал Архимед в своей книге “О равновесии”... Отсюда ясно, что можно большую величину малой силой»² (см. рис. 1–6). «Таким образом, опираясь на извлечения из Архимеда и применяя геометрические приемы, Герон следует принципам геометрической статики» и с этой точки зрения объясняет принцип действия простых машин³.

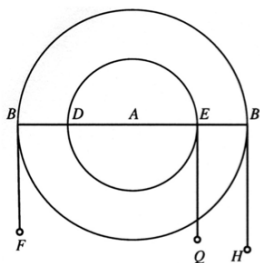


Рис. 1

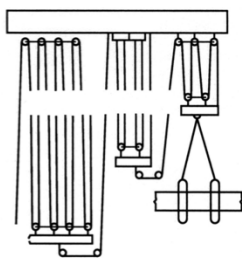


Рис. 2

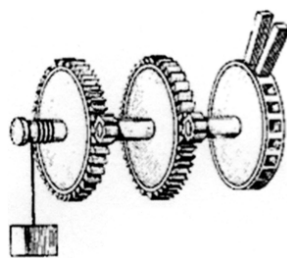


Рис. 3

¹ Рожанская М.М. «Механика» Герона. С. 121 (<http://www.sno.pro1.ru/lib/prlan/11.htm>).

² Герон. Механика. Кн. II // Архимед. Соч. М., 1962. С. 68.

³ Левина И.С., Рожанская М.М. У истоков механики машин // Исследования по истории механики. М., 1983. С. 105–107.

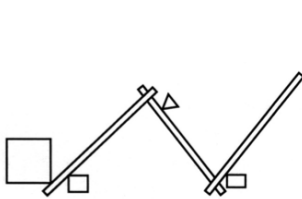


Рис. 4

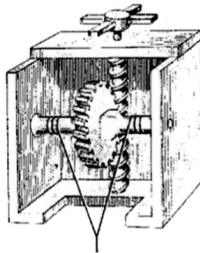


Рис. 5

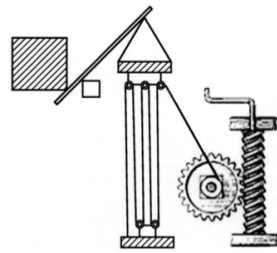


Рис. 6

Герон Александрийский рассматривает 2 типа комбинаций: «1) комбинации однородных “простых машин” – сочетания по несколько блоков, воротов и рычагов (рис. 2–4); 2) комбинации неоднородных “простых машин” – сочетания ворот-винт, блок-рычаг-ворот-винт (рис. 5, 6). Сопровождая описания этих комбинаций числовыми примерами, он на каждом из них демонстрирует “золотое правило механики”»⁴.

В теории рычага Герон развивает идеи Архимеда. «В форме вопросов и ответов он рассматривает 17 задач, в которых разбирается действие “простых машин”. В конце второй книги рассматриваются “задачи древних”... и практические задачи на определение центра тяжести. В третьей книге описаны различные устройства для поднятия тяжестей и виды процессов как комбинаций “простых машин”. “Существует, – говорит он, – всего пять потенций, при помощи которых заданный груз передвигается заданной силой: ворот, рычаг, полиспаст, клин, винт”... Герон приводит подробное описание каждой из них по определенному плану: название, материал, из которого изготавливают соответствующую машину – “потенцию”, способ изготовления, форма, соотношение ее частей, “действующая причина”, т. е. принцип ее действия и, наконец, теоретические соображения о расчете сил при работе машины. Герона прежде всего интересует “причина, действующая в каждом употребляемом движении”, то есть, “причина, по которой каждая из этих машин поднимает большие тяжести при помощи малой силы... иначе говоря, общий принцип работ всех описанных машин...” Герон так формулирует основной закон работы машины:

⁴ Левина И.С., Рожанская М.М. У истоков механики машин. С. 106, 107.

“Если при пользовании машиной требуется увеличение силы, то в результате происходит замедление, ибо чем менее движущая сила по отношению к движимой тяжести, тем больше потребуется и времени; таким образом, сила к силе и время ко времени находятся в том же самом обратном отношении”... Исходя из этого принципа Герон объясняет действие уже не «простых машин», а их комбинаций, к описанию которых он переходит далее. Он рассматривает два типа таких комбинаций: 1) комбинации однородных машин – сочетания по несколько блоков, ворот и рычагов. 2) комбинации неоднородных машин – сочетания ворот-винт, блок-рычаг и т. д. Сопровождая описание этих механизмов числовыми примерами, он на каждом из них демонстрирует “золотое правило механики”. В “Механических проблемах” описывается всего три “простые машины”: рычаг, клин, ворот. У Герона – все пять...»⁵.

Галилей добавляет к ним еще наклонную плоскость. Эти простые машины становятся теперь теоретическими конструктами, из которых составляются более сложные конструкции (см. рис. 7).

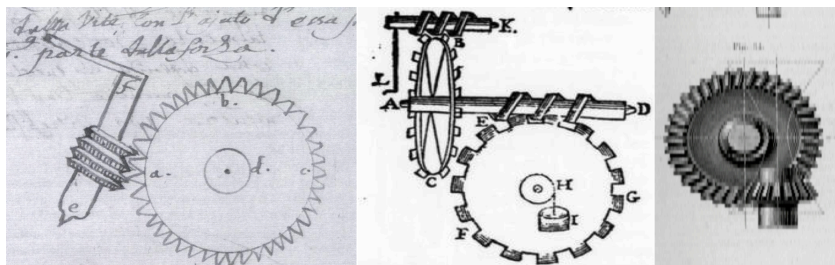


Рис. 7. Чертеж Галилея: соединение колеса, винта и ворота в более сложную машину – бесконечный винт, или червяк (слева и в середине)⁶. Для сравнения справа дано изображение подобной системы передачи движения в механизме в «Теоретической кинематике» германского инженера Франца Рело⁷.

⁵ Рожанская М.М. «Механика» Герона. С. 122–123.

⁶ Valleriani M. Galileo Engineer. Springer, 2010. P. 107, 110, 126; http://archimedes.mpiwg-berlin.mpg.de/cgi-bin/toc/toc.cgi?step=thumb&dir=galil_mecha_047_fr_1634 (Galilei, Galileo *Les mécaniques* 1634 P. 104).

⁷ Lehrbuch der Kinematik, V. 2 // Die praktischen Beziehungen Kinematik zu Geometrie und Mechanik: Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens / von F.Reuleaux...; Mit einem Atlas und Zahlreichen in den Text Eingedruckten Holzstichen. Braunschweig, 1875. S. 85.

Одним из наиболее характерных примеров является маятник. Еще до развития Галилеем физической теории качания маятника его применяют в некоторых машинах, например, в механической приводной пиле с тяжелым якорным маятником, как его описывает французский инженер Жак Бессон (Jacques Besson) в своем труде «Театр инструментов и машин» (*Theatrum instrumentorum et machinarum*), опубликованном в 1578 г. (см. рис. 8).

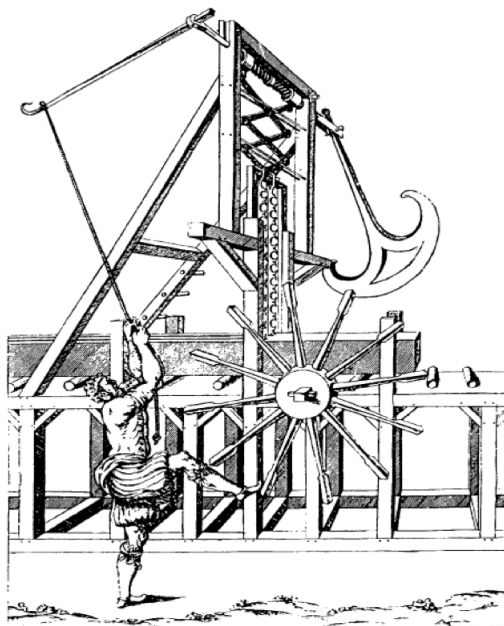


Рис. 8. Пильный станок с тяжелым якорным маятником (Jacques Besson. *Theatrum instrumentorum et machinarum*, 1578)⁸.

Но у Галилея маятник – это не просто инструмент для приведения в движение машинного механизма, а идеализированный объект естественнонаучной теории – математический маятник (см. рис. 9), с помощью которого он открыл закон колебания маятника – независимость периода колебания при малых амплитудах (изохро-

⁸ Lefevre W. Galileo Engineer: Art and Modern Science // *Science in Context*. Vol. 14, Issue S1. June 2001. P. 11–27; p. 21, Fig. 1.

низм). Хотя и инженеры этого времени уже дают образцы «нового способа мышления, который культивируется со времени эпохи Возрождения: математические принципы могли применяться для разработки новых машин и новых технических достижений»⁹. В своем трактате «Беседы и математические доказательства» Галилей использует математический маятник для объяснения самых различных физических явлений, связанных с движением: даже если оба шара – свинцовый и пробковый – «начнут свой путь в одно и то же время, однако пробковый, будучи отклонен в сторону на тридцать градусов, должен будет проходить дугу в шестьдесят градусов, а свинцовый, отведенный только на два градуса, – дугу в четыре градуса? Не окажется ли в таком случае скорость пробки большею? А опыт показывает, что так и произойдет. Заметьте себе следующее: если мы отведем свинцовый маятник на пятьдесят градусов от отвеса и отпустим его на свободу, то он, перейдя за отвес, пройдет дугу также приблизительно в пятьдесят градусов, и всего опишет дугу почти в сто градусов; возвратившись, он второй раз опишет дугу несколько меньшую, и так далее, пока после большого числа качаний не придет в состояние покоя. Каждое из таких качаний происходит в одинаковый промежуток времени, будь дуга в девяносто градусов или же в пятьдесят, двадцать, десять или четыре. Отсюда как следствие вытекает, что скорость движения постоянно уменьшается, так как тело в одинаковые промежутки времени проходит последовательно дугу все меньшего и меньшего размера. Подобное же и даже совершенно такое же явление происходит и с пробкою, подвешенной к нити одинаковой длины, с тою лишь разницей, что она приходит в состояние покоя после меньшего числа качаний, так как благодаря своей легкости она меньше приспособлена к преодолению сопротивления воздуха; при этом все качания – большие и малые – происходят в одинаковые промежутки времени, и притом в промежутки, равные времени качания свинцового маятника. Совершенно правильно, что если свинец проходит дугу в пятьдесят градусов, а пробка не проходит и в десять, то пробка движется медленнее; но может случиться и наоборот: пробка пройдет дугу в пятьдесят градусов, а свинец – дугу в десять или шесть градусов; таким образом, может оказаться, что в

⁹ *Brashear R. Jacques Besson and his Theater of Instruments and Machines. 1999* (<http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/HST/Besson/besson-introduction.htm>).

разное время то свинец движется быстрее, то пробка. Но если те же тела проходят в равные промежутки времени дуги одинаковой длины, то можно с уверенностью сказать, что и скорость их движения одинакова. ...Другой вопрос касается маятников и распадается на две части, а именно: во-первых, действительно ли все маятники – большие, средние и совсем маленькие – совершают колебания в совершенно одинаковые промежутки времени, и, во-вторых, какое отношение существует между временем качания тел, подвешенных к нитям различной длины?»¹⁰.

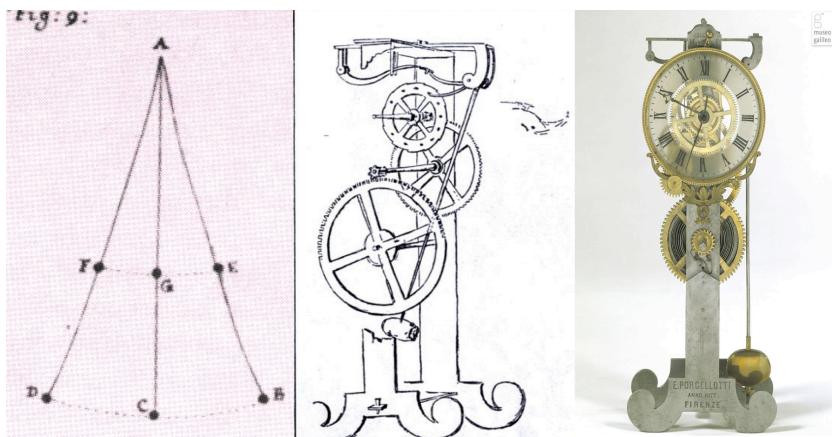


Рис. 9. Слева – идеализированная модель гравитационного маятника (рисунок Галилея), справа – часы с маятником Галилея на рисунке В.Вивиани¹¹ и маятниковые часы из музея Галилея во Флоренции (поздняя реконструкция)¹².

Точно так же и наклонная плоскость для Галилея – это не только «простая машина» – искусственный объект, приспособленный для экспериментальной деятельности, но прежде всего

¹⁰ Галилео Галилей. Беседы и математические доказательства. Т. 2: Механика. О телах, пребывающих в воде. Беседы и математические доказательства // Галилео Галилей. Избр. тр. Т. 2. М., 1964 (<http://www.wunderkind-school.ru/liteartura/7-literatura/13-galileo-galilei-izbrannyye-trudy-tom-2.html?showall=1>).

¹¹ Le opere di Galileo Galilei [The Works of Galileo Galilei, National Edition]. Florence: Barbera, v. XIX ed. A.Favaro, 20 vols. (Firenze, 1890–1909) (<http://nplit.ru/books/item/f00/s00/z0000062/st016.shtml>).

¹² Museo Galileo. A Guide to the Treasures of the Collection. Firenze, 2010. P. 43.

абстрактный объект научной теории, используемый для проведения математических доказательств (объект оперирования), и в то же время – репрезентант специально подготовленного естественного объекта, на котором можно наблюдать физические процессы, не встречающиеся в «чистом виде» в природе. Исследуя качение бронзового шарика по специально отполированной наклонной плоскости, Галилей делает вывод, относящийся к сфере естественнонаучной теории: скорости, приобретенные падающим или катящимся по наклонной плоскости телом, зависят от ее высоты, а не от наклона (рис. 10).

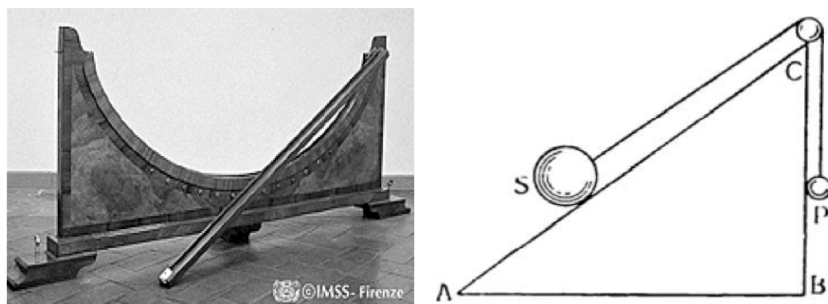


Рис. 10. Наклонная плоскость¹³.

Сам Галилей не занимался постройкой и конструированием машин. Он принадлежал к тем экспертам, кто контролировал качество и осуществлял оценку машин и их проектов. И главным в такой оценке было определить, является представленная модель той или иной машины действительно выполнимой при переходе к реальной конструкции. Новая наука Галилея в частности давала возможность помочь мастерам – разработчикам и строителям различного рода машин – решать эти проблемы, получать ответы об их надежности и работоспособности еще до постройки и испытания самой машины. Для анализа сложных машин Галилей обязательно переходит к их геометрическому представлению для объяснения принципа работы машины (см., например, на рис. 11).

¹³ Макет эксперимента, изготовленный в XVIII в., выставлен в музее Галилея во Флоренции (*Museo Galileo. A Guide to the Treasures of the Collection*. Firenze, 2010. P. 45).

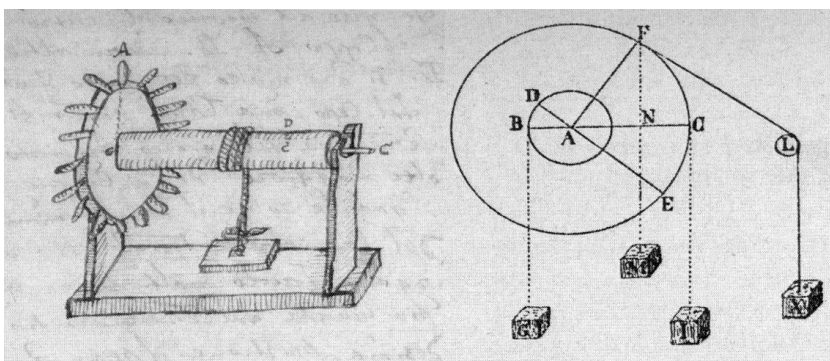


Рис. 11. Слева – практическое описание оси колеса, а справа – его геометрическое представление и объяснение данные Галилеем¹⁴.

Поэтому он начинает свой трактат по механике следующим призывом, в котором сформулирована его программа теоретического анализа механических орудий: «чрезвычайно важно рассмотреть их в общем и уяснить себе, каковы те выгоды, которые получают от этих орудий», поскольку «механики часто заблуждаются, желая применить машины ко многим действиям, невозможным по самой своей природе, а в результате и сами оказываются обманутыми и в равной степени обманывают тех, кто исходил в своих надеждах из их обещаний»¹⁵. Одной из наиболее обсуждаемых в то время технических задач была проблема создания вечного двигателя – *perpetuum mobile*. Многие твердо верили тогда, что искусные инженеры – механики и гидравлики – способны «перехитрить» или даже «перебороть» саму природу. Такие мастера-инженеры, ангажированные для реализации крупных проектов, вроде проекта изменения русла рек, действительно ощущали себя на переднем крае битвы с природой. Поэтому неудивительно, что Великий герцог Тосканский Франческо I Медичи выбрал для своего знаменитого парка Пратолино, разбитого рядом с его одноименной виллой вблизи Флоренции, совершенно неудобное место с одной только

¹⁴ *Valleriani M.* Galileo Engineer. P. 101.

¹⁵ *Галилео Галилей.* Механика // *Галилео Галилей.* Избр. тр.: В 2 т. Т. 2 (<http://www.wunderkind-school.ru/liteartura/7-literatura/13-galileo-galilej-izbrannyetrudy-tom-2.html?showall=1>).

целью продемонстрировать свою власть над природой¹⁶. Это убеждение выливалось тогда в своего рода социальное движение, стремившееся упрочить положение инженеров в обществе в противовес тем, кто занимался «естественной философией» и утверждал, что природа доминирует над техникой. Галилей формулирует третью позицию в вопросе соотношения науки и техники, которая становится фактически определяющей в новом естествознании, – «законы природы и законы механики принадлежат к одной и той же области явлений»¹⁷.

Обсуждению проблемы вечного движения и возможности создания вечного двигателя отдал дань и Леонардо да Винчи. Он планировал написать специальный трактат о машинах и много внимания уделяет наброскам конструкций различных машин и их частей. «Фактически часто трудно провести четкое разделение между его общей работой с такими механическими компонентами и его исследованиями устройств вечного движения». Леонардо выделяет две основные категории таких машин – вращающиеся механические системы и гидравлические системы – и подробно исследует их функционирование. В некоторых местах своих записок он выступает против тех, кто пытается строить такие машины. «Текст и чертежи показывают, что все такие системы [в конце концов] останавливаются, что является элегантным аргументом против идеи вечного движения машин». Сам он, по-видимому, не строит таких машин, но много времени уделяет анализу такого рода конструкций на чертежах. Однако «в некоторых местах Леонардо да Винчи выражает даже твердую уверенность в возможности получения вечного движения». При этом он придерживается синтетического подхода, т. е. пытается «соединить вместе существующие машин-

¹⁶ Создатель парка и виллы – флорентийский Бернардо Буонталенти (1536–1608) был архитектором, паркостроителем и инженером. Его мастерскую, возможно, посетил в молодые годы Галилей, чтобы набраться практических технических знаний в области гидравлики. Буонталенти сделал пометку «искусство заменит собой природу» в комментарии к одной из работ Доминико Мелини (Domenico Mellini. *Discorso*. Fiorenza, 1583 (http://archimedes.mpiwg-berlin.mpg.de/cgi-bin/toc/toc.cgi?step=thumb&dir=melli_disco_033_it_1583), где тот критикует создателей вечного двигателя, поскольку «искусство дочь природы» и поэтому абсолютно невозможно, чтобы «искусство могло создать нечто большее, чем природа» (см.: *Valleriani M. Galileo Engineer*. P. 197, 201–202).

¹⁷ *Valleriani M. Galileo Engineer*. P. 197, 200–203.

ные компоненты, чтобы составить радикально отличные машины» для получения такого рода движения. «Многие чертежи машин вечного движения, сделанные Леонардо да Винчи, содержат те же самые компоненты, что и разработанные им обычные машины. Ему кажется, что эту проблему в целом нужно решать скорее практическим путем. Вероятно, он считал, что, правильно комбинируя колеса, зубчатые передачи, насосы, воздуходувные мехи, водяные колеса и винты Архимеда, можно создать машину, которая будет двигаться за счет своей собственной энергии»¹⁸. Однако обсуждение этой проблематики отрывало инженеров от повседневной рутинной реальности, приучало их не только мыслить практически, но и рассуждать теоретически на моделях и чертежах.

Галилей в сущности идет тем же путем (см. чертежи машин на рис. 12, сделанные Галилеем и Леонардо).

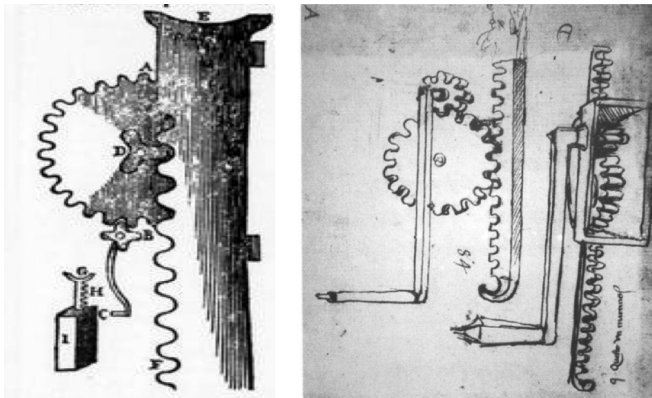


Рис. 12. Слева чертеж механизма для преобразования вращательного движения в поступательное, сделанный Галилео Галилеем¹⁹, а справа – Леонардо да Винчи²⁰. Эта машина состоит из кривошипа, понижающей передачи и стержня с зубцами, который движется вверх и вниз.

¹⁸ Olshin B.B. Leonardo da Vinci's investigations of perpetual motion // ICON. Journal of the International Committee for the History of Technology. 2009. Vol. 15. P. 1–39; 4, 9–10; 34; 29; 27.

¹⁹ Galilei Galileo. *Les mécaniques*, 1634. P. 103 (http://archimedes.mpiwg-berlin.mpg.de/cgi-bin/toc/toc.cgi?step=thumb&dir=galil_mecha_047_fr_1634).

²⁰ Cianchi M. Leonardo da Vinci's Machines. Florenz: Becocci Editore, 1984. P. 76.

Однако Галилей в отличие от Леонардо стремится свести сложные и даже простые машины к еще более простым и общим геометрическим моделям и схемам. Такой универсальной объяснительной моделью для всех машин становится у него наклонная плоскость (см. рис. 13).

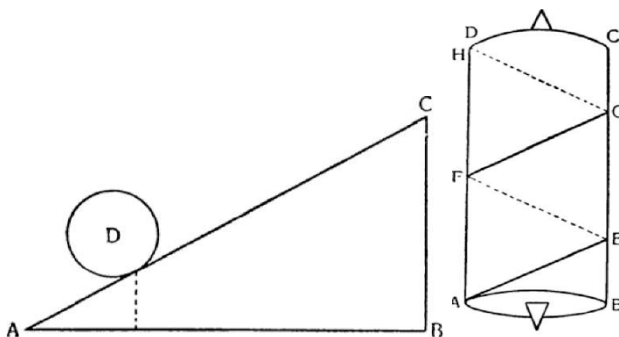


Рис. 13. Геометрическое представление наклонной плоскости как идеализированного объекта новой науки, позволяет дать объяснение работы винта с помощью этой теоретической модели²¹.

Исследуя природу винта, Галилей рассматривает «треугольник АСВ, в котором линия АВ горизонтальная, ВС – перпендикуляр к ней, а АС – наклонная плоскость, по которой движущееся тело тащат силой настолько меньшей, чем оно само, насколько линия ВС короче, чем линия СА. Но поднять тот же самый груз на ту же самую плоскость АС, когда треугольник остается неподвижным, а груз D перемещается в направлении С, это то же, что передвинуть треугольник в направлении Н, не сдвигая самого груза с перпендикуляра АЕ потому, что когда треугольник займет положение FН, движущееся тело поднимется на высоту АJ. И вот, наконец: *формой и первоначальной сущностью винта и является именно такой треугольник АСВ, который, проталкиваемый вперед, проникает под тяжелое тело, которое нужно поднять, и поднимает его, как говорится, себе на голову. Таково первоначальное происхождение винта и, кто бы ни был его изобретатель, он, рассмотрев, каким образом треугольник АСВ, продвигаясь вперед, поднимает груз D,*

²¹ Галилео Галилей. Механика // Галилео Галилей. Избр. тр.: В 2 т. Т. 2.

смог сделать из какого-то твердого материала подобное этому треугольнику орудие, которое, будучи подталкиваемо, поднимало бы предложенный груз; но *поразмыслив потом, как сделать такую машину небольшой и придать ей удобную форму*, он взял тот же самый треугольник и обернул его вокруг цилиндра $ABCD$ таким образом, чтобы высота этого треугольника, т. е. линия CB , стала высотой цилиндра, а восходящая плоскость образовала бы на этом цилиндре спираль, обозначенную как линия $AEFGH$, которую в просторечии называют червем винта; в этом варианте и родилось орудие, которое греки называли *сослеа*, а мы называем винтом, и которое, вращаясь, попадает своим червем под груз и легко его поднимает. А поскольку мы уже доказали, что на *наклонной плоскости* сила и груз так относятся, как высота этой плоскости к длине самой плоскости, то понятно, что сила винта $ABCD$ увеличивается в том отношении, в каком длина всего червя $AEFGH$ превосходит высоту CB ; из этого становится понятно, как, делая винт с более частыми спиралями, удастся сделать его ловчее, ибо он образуется плоскостью менее наклонной, длина которой в большей пропорции превосходит высоту. Нам остается разве только обратить еще внимание на то, что, желая узнать силу винта, вовсе не обязательно измерять длину всего винта и длину всего цилиндра, а достаточно определить, сколько раз расстояние между двумя смежными пределами уложится в одном обороте того же червя; так, например, сколько раз расстояние AF уложится в длине оборота AEF , поскольку это то же самое отношение, какое имеет вся длина CB к длине всего червя. Насколько понятно все то, что мы до сих пор объясняли относительно природы этого орудия, настолько же, я совершенно не сомневаюсь в этом, будут понятны и все другие обстоятельства: как, например, почему вместо того, чтобы заставить груз подниматься на винте, к последнему для удобства приспособили гайку с выдолбленной спиралью, входя в которую болт, т. е. червяк винта, будучи повернутым вокруг оси, перемещает и поднимает гайку вместе с прикрепленным к ней грузом» (курсив мой. – *В.Г.*)²².

Опираясь на геометрию, Галилей дает уроки военным инженерам и одновременно учит их пользоваться измерительными «математическими инструментами». Таким образом уже тогда ин-

²² *Галилео Галилей. Механика.*

женерное образование, как и теперь, служит стимулом для теоретической систематизации практических знаний. Однако круг геометрических знаний четко определен и в его основе лежит евклидова геометрия, учение о сфере Архимеда, теория перспективы, развитая художниками эпохи Возрождения, геодезия и арифметика (см. схему на рис. 14)²³.

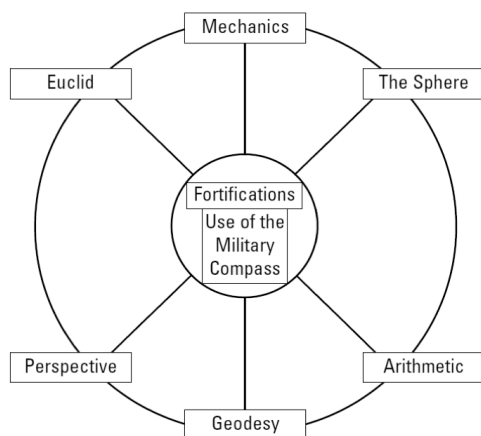


Рис. 14. Курс, преподаваемый Галилеем военным инженерам (по краям круга преподаваемые дисциплины: перспектива, Евклид, механика, «Сфера» Архимеда, арифметика, геодезия); в середине: фортификация и использование военного компаса, изобретенного и изготовленного самим Галилеем²⁴.

От редукции сложного к простому в естествознании к сложности технической науки

К концу XVIII – началу XIX столетия ситуация изменяется: появляется такое огромное количество сложных машин (в том числе астрономических, математических и физических аппаратов и

²³ Valleriani M. A view on Galileo's *Recordi Authografi*: Galileo practitioner in Padua // *Largo campo di filosofare : Eurosymposium Galileo 2001*, eds.: Montesinos, José; Solís, Carlos. La Orotava: Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 2001. P. 281–291; 289.

²⁴ Ibid. P. 289.

инструментов)²⁵, требующих к тому же точных расчетов, что теории «простых машин» становится недостаточно ни для их представления, ни для описания их функционирования. Недостаточно было уже и евклидовой геометрии для графического представления машин. Важный шаг от чистой математики в сторону ее приложения к описанию конкретных машин сделал в своей начертательной геометрии Гаспар Монж.

Фактически начертательная геометрия давала инженерам математически точную систему графических изображений (математическую схему), позволяющую схематизировать пространственные структуры в виде плоскостного изображения, проводить на нем необходимые расчеты с помощью стандартизованных математических преобразований, а затем переносить полученные результаты на реальные условия. Такого рода задачи постоянно возникали и решались в инженерной практике в области архитектурного проектирования, строительства, геодезии и картографии. Монж попытался перенести этот математический инструмент в область проектирования машин и механизмов, дающий инженеру графический метод решения инженерных задач с помощью бесконечного множества преобразований плоских фигур, «способ на основании точного изображения определять формы тел и вывести все закономерности, вытекающие из их формы и их взаимного расположения»²⁶.

Чертежи и схемы для инженера становятся одновременно и средством связи, с одной стороны, с наукой, а с другой – с реальным миром технической практики. Однако потребовалась и другая наука – техническая наука, которая в отличие от естествознания призвана была выработать теоретические средства для анализа и синтеза машин во всей их сложности, используя одновременно последние достижения естествознания и математики.

²⁵ Уже в середине XVIII столетия в опубликованном немецким механиком Якобом Леопольдом (1674–1727) с 1724 по 1739 гг. трактате «Театр машин» (*Theatrum machinarum*) для эмпирического описания уже существовавших к тому времени машин с попыткой их систематизации потребовалось 10 томов. См.: *Leopold J. Teatri Machinarii, oder Schau-Platz der Heb-Zeuge oder Maschinen eine Last vorzubringen und zu erheben.* Leipzig, 1725; Reprint. Hannover: Th. Schäfer GmbH, 1982.

²⁶ Ibid. С. 13.

Машина становится одним из центральных общетехнических понятий начиная с XIX столетия, которое выражает наиболее типичную техническую систему. Перед новой наукой о машинах встали две основные задачи. Во-первых, необходимо было задать теоретическую классификацию всех существовавших тогда машин и даже прогнозировать появление новых, еще не реализованных на практике. Во-вторых, требовалось так расчленить сложные машины на части, чтобы получалось их однородное и иерархическое описание. С помощью старой теории «простых машин» это было сделать уже невозможно.

Первая задача решалась в контексте развития научного инженерного образования. В 1794 г. под руководством Гаспара Монжа в Париже учреждается первая такая школа – Парижская политехническая школа, по образцу которой строились многие инженерные учебные заведения России, Германии, Испании, Швеции, США. Именно они становятся форпостом развития технических наук и теоретической систематизации новых практических технических знаний. В этом смысле является показательной книга И.Ланца и А.Бетанкура «Курс построения машин»²⁷, которая представляет собой одну из первых попыток систематизации и объяснения всех основных машин того времени. В книге приводится обширная таблица элементарных машин. Но это уже не «простые машины» античной механики, т. к. их «основное назначение – не преобразование силы, а преобразование движения»²⁸. Свое завершение эта работа получила, однако, лишь в начале XX в. – в трудах российских ученых Добровольского и Артоболевского, которыми впервые было осуществлено проецирование теоретической модели на класс потенциально возможных механизмов. Законы структурного образования стали общими для всех механизмов и была создана единая общая их классификация. Кроме того, была проведена систематизация знаний и методов, в результате чего структурный и кинематический анализ механизмов одного и того же семейства и класса стало можно проводить аналогичными методами. «Проведенные исследования показывают, что современная техника ис-

²⁷ Lanz I., Bethancourt A. Essai sur la Composition des Machines. Paris, 1819 (англ. Пер.: Lanz M., Betancourt A. Analytical Essay of the Construction of Machines. London, 1920).

²⁸ Боголюбов А.Н. Гаспар Монж (1746–1818). М., 1978. С. 137.

пользует очень малое количество механизмов. Предлагаемый ...метод структурного анализа дает возможность обнаружить огромное число новых механизмов, до сих пор не применявшихся в технике. Эти новые виды механизмов могут быть рекомендованы к использованию на практике...»²⁹.

Вторая задача была связана с развитием теоретических средств анализа и синтеза сложных машин из стандартных компонентов, которую поставил своей целью немецкий инженер Франц Рело. Для этого он использовал достаточно развитую к этому времени графическую статику, опирающуюся на методы проективной геометрии («геометрии положения»). Однако если последняя имела дело с математическими идеальными объектами (прямая, плоскость и т. д.), то в графической статике с помощью геометрических методов решались физические и инженерные задачи. Мосты, строения и т. п. инженерные объекты представлялись в ней в виде геометрических фигур, например, многоугольника сил. Теоремы графической статики дают значительное число графических построений, очень просто решающих многие вопросы механики, зачастую гораздо проще аналитических методов, поскольку построение нескольких линий в ней заменяет целый ряд длинных и утонченных вычислений. На этой основе Рело строит особую «кинематическую» геометрию и с ее помощью проводит более детальное, чем его предшественники, расчленение машины на части, которое приобретает характер иерархического описания механизма. В своей книге «Теоретическая кинематика», опубликованной в 1975 г., Рело развивает представление о кинематической паре. Составляющие ее тела он называет элементами пары. С помощью двух таких элементов можно осуществить различные движения. Несколько кинематических пар образуют кинематическое звено, несколько звеньев – кинематическую цепь. Механизм является замкнутой кинематической цепью принужденного движения, одно из звеньев которой закреплено. Поэтому из одной цепи можно получить столько механизмов, сколько она имеет звеньев. Если же мы принудим одно из звеньев с помощью некоторой силы изменить первоначальное положение, то получим машину. Фр. Рело дает следующее определение машины совсем в духе Галилея: «Маши-

²⁹ Добровольский В.В., Артоболевский И.И. Структура и классификация механизмов. М.–Л., 1939. С. 65.

на – это соединение сопротивляющихся тел, устроенное так, чтобы принудить механические силы природы действовать для выполнения определенных движений»³⁰. Поскольку же все механизмы оказываются собранными из одного и того же набора типовых элементов, то остается задать лишь определенные процедуры их сборки и разборки из идеальных цепей, звеньев и пар элементов, т. е. синтеза и анализа. Кинематический анализ заключается в разложении существующих машин на составляющие их механизмы, цепи, звенья и пары элементов, т. е. в определении кинематического состава данной машины. Конечным результатом такого анализа является выделение кинематических пар элементов (предел членения). Кинематический синтез – это подбор кинематических пар, звеньев, цепей и механизмов, из которых нужно составить машину, производящую требуемое движение. Таким образом сложная техническая система может быть разложена на простые элементы, но при этом не сводится к простой системе.

Дальнейшее развитие этой технической теории шло по пути разработки все более обобщенной теоретической схемы, ее развертывания в соответствии с заданными принципами. Больше того теоретические принципы построения машин и механизмов диктуют технике и промышленности перестраиваться под потребности этой теоретической схемы и конструировать и тиражировать стандартные блоки и элементы, предназначенные для сборки различных конфигураций технических систем.

Итак с развитием технической науки положение меняется. Технические системы больше не рассматриваются как частный случай простых естественных систем и, кроме того, повсеместное развитие разных видов новой научной техники оказывает влияние и на развитие самой науки. В технике формируются новые области математики, которые затем расширяются на сферу естественных наук. Редукция сложных технических систем к простым абстрактным объектам естественнонаучных теорий оказывается недостаточной. Новая техника строится на основе разных, иногда даже альтернативных, естественнонаучных теорий. «Теоретическая механика концентрируется на том, чтобы строго и систематически описывать с помощью математических средств естественные процессы. Приложения, если таковые предлагаются, ей лишь поддер-

³⁰ Reuleux F. Theoretische Kinematik. Braunschweig, 1875. Bd. 1. S. 38.

живаются. Техническая же механика, напротив, всегда отталкивается от практических, технических проблем и пытается решать их любыми средствами...»³¹. В то же время прикладная или техническая механика, как отмечает Франц Рело, рассматривает машинную систему как любой природный объект с целью исследовать причинную зависимость явлений в этой системе, вырабатывая методы исследования движения различных систем, которые могут быть затем использованы в практике машиностроения. Однако в XIX столетии теоретическая механика стала отделена огромным пространством от самых простых и обыкновенных приложений, а получаемые из теории выводы оказались слишком несогласными с технической реальностью. Это было в первую очередь связано с тем, что инженерная практика продвигалась быстро вперед и требовалось теоретическое осмысление связанных с ней задач. Важно было приблизить теорию к практике, изменив сам характер теоретических идеализаций и схем. Например, в рациональной механике рассматриваются совершенно упругие и совершенно твердые тела, но ни те ни другие не существуют в природе и тем более в искусственных сооружениях – машинах. Техническая механика должна была восполнить образовавшийся пробел и соединить глубокие теоретические сведения с обширной практикой. «Теория механизмов является производной наукой и... ее главными источниками являются прикладная механика и математика. ...Лучше всего называть ее *форономией*. Но часто ее называют *кинематикой*. *Форономия*... является учением об измерении поступательного движения тел и причём любых тел... Можно точно такое же представление... распространить на движение космических явлений». Таким образом стало развиваться два направления: во-первых, механика как математическая наука и как физическая наука, как наука о природе, и, во-вторых, механика как теоретическая основа техники. *Форономия* по Рело – это «учение о геометрических способах представления движения» или «чистая кинематика». Машины же «представляют собой особый вид, активируемый с помощью вращающихся везде геометрических структур», которые есть ничто иное как «душа машины», «геометрическая абстракция

³¹ *Scriba C.J., Maurer B. Technik und Mathematik // Technik und Wissenschaft. Technik und Kultur. Bd. 2. S. 56.*

машины»³². Здесь опять налицо продолжение Галилеевой модели науки о машинах, основанной на математике. Но сложные машины больше не сводятся к простым машинам, а разлагаются на целостную совокупность стандартных частей (подсистем – кинематических звеньев и пар и составляющих их элементов), преобразующих движение, – единый механизм.

³² См.: *Reuleaux F.* Lehrbuch der Kinematik. Vol. 2. Die praktischen Beziehungen Kinematik zu Geometrie und Mechanik: Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens. Mit einem Atlas und Zahlreichen in den Text Eingedruckten Holzstichen. Braunschweig: F. Vieweg und Sohn, 1875. S. 59–60, 87, 88. При этом важно отметить, что сначала «кинематика возникла как прикладная наука: теоретическая кинематика выделилась в теоретической и аналитической механике позже» (*Боголюбов А.Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М., 1976. С. 147).