

# Общие проблемы развития науки и техники

## АРХИМЕД И ГЕНЕЗИС ТЕХНИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Б. И. КОЗЛОВ [Ленинград]

Исследованию жизни и творчества Архимеда посвящено много работ советских и зарубежных авторов; неоднократно издавались и комментировались дошедшие до нас тексты и фрагменты его сочинений [1, 2]. Тем не менее реконструкция биографии ученого, анализ его теоретических работ и технического творчества — проблема, далекая от завершения. Основные трудности связаны с тем, что до нашего времени дошли очень скудные и малонадежные сведения о жизни великого эллина и лишь часть его трудов. С другой стороны, до сих пор жизнь и творчество Архимеда изучались главным образом в рамках гражданской истории, истории математики, наконец, истории естествознания. По мере развития историко-научных исследований и становления современной концепции технических наук [3] использование комплексного анализа теоретической и технической деятельности Архимеда для оценки ее роли в генезисе научно-технического знания приобретает все большее значение. В работе предпринята попытка показать (на основе уже известных фактов), что достижения Архимеда в области рациональной и технической (прикладной) механики представляют собой первую в истории теоретическую систему научно-технического знания, которая завершает развитие предпосылок технических теорий и в свою очередь создает предпосылки первой гипотетико-дедуктивной теоретической системы естествознания — «математической физики» Ньютона.

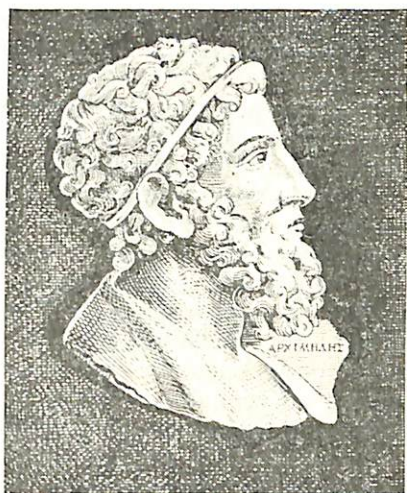
Не противоречит ли такой подход традиционным, хорошо обоснованным взглядам на творчество Архимеда как на деятельность математика и физика, не ведет ли такая попытка к пересмотру уже сложившихся в данной области представлений? Задача предприняемого историко-научного и методологического анализа — не переоценка, а дополнение существующих представлений об Архимеде. Есть основания полагать, что результаты его теоретической деятельности в области геометрии, статики и гидростатики, астрономии могут быть поняты и адекватно реконструированы только с учетом того, что прежде всего Архимед был механиком, причем, механиком в античном понимании этого слова<sup>1</sup>. И хотя предметом его теоретического анализа часто были обобщенные и естественные свойства тел, физика Архимеда существенно отличается и от физики древних, и от классической, развитой впоследствии в трудах Ньютона. Здесь мы сталкиваемся с методологической проблемой исследования исторического формирования и развития сложного предмета, каким является научное знание об искусственных материальных средствах человеческого существования и деятельности.

Исследуя возникновение и раннюю историю физического эксперимента как основы научного естествознания, А. В. Ахутин отмечает: «Техника становится подлинной экспериментальной лабораторией, если

<sup>1</sup> О генезисе и развитии самого понятия «механика» см. [4, с. 6].



только находится то понятие, которое обладает как конструктивно-технической предметностью, так и теоретической всеобщностью, причем сразу и в области техники и в области физики. И в случае относительно простой техники древней Греции и Рима эта связь обнаруживается легче и непосредственное, чем, например, в Новое время» [5, с. 100]. Используемые Архимедом понятия рычага, центра тяжести, равновесия и другие оказываются как раз такими — общими «как для человеческого ремесла, так и для „ремесла“ природы» [5, с. 98] понятиями. Причина этой общности — в специфике технического знания, охватывающего как природные, так и искусственно создаваемые свойства технических средств. Об этой особенности технического знания писал еще Декарт: «Несомненно, что все правила механики принадлежат физике; поэтому все искусственные предметы тем самым суть предметы естественные» [6, с. 539]. Но признание за ремесленной (технической) практикой также и физико-теоретического значения не завершает методологического анализа связи естественного и технического знания. Необходимо сделать еще один шаг — признать относительно самостоятельный статус научного знания об искусственных материальных средствах, которое «функционирует как внутри существенных процессов природы, так и внутри человеческой практики» [5, с. 98]. Этот особый статус научно-технического знания, собственно, определен [7], но он рассматривается в литературе главным образом на современном материале, еще недостаточно подтвержден историко-научными исследованиями и потому признается не всеми исследователями науки.



Архимед (ок. 287—212 гг. до н. э.)

Конечно, научно-техническое знание может, а в ряде случаев и должно рассматриваться в физико-математическом или чисто техническом аспектах. Надо только учитывать, что такой подход есть исследовательская абстракция, искусственное выделение одной из сторон сложного целостного предмета, изучаемого в комплексе науковедением [8]. Абсолютизация физической составляющей научно-технического знания может привести к его «исчезновению» из поля зрения исследователя, к сведению истории науки к истории физики, естествознания. Именно с таким явлением мы и сталкиваемся в ряде современных работ, посвященных генезису и истории науки в целом, но оставляющих за пределами внимания ее научно-техническую составляющую<sup>2</sup>. Историко-методологический анализ трудов Архимеда может способствовать восполнению этого пробела.

Задачи теоретических исследований Архимеда вытекали из актуальных проблем технической деятельности, прежде всего из современного ему «искусства механики», только начавшего выходить на уровень рефлексии и применения математического аппарата. Конечной целью механики Архимеда было объяснение не мира вообще, а сравнительно ограниченного класса механических свойств тел и явлений, обнаруживаемых в процессе технической деятельности. Геометрические исследо-

<sup>2</sup> См., например, [9, 10] и др. Заметим, что возможны абсолютизация и технической составляющей научно-технического знания, сведение истории техники к истории технических средств как предметов материальной культуры без должного учета овеществленного в них научного знания.



вания свойств абстрактных фигур и тел не были для него самоцелью, как, по-видимому, для Евклида, — они были ориентированы на интересы практики, на применение практического технического и естественного знания при решении научно-технических задач.

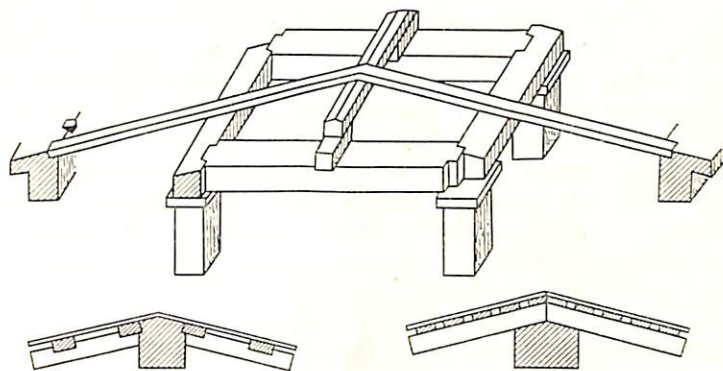
Но каковы были те реальные проблемы, обобщенным решением которых стали теоретические труды Архимеда?

В технической практике IV—III вв. до н. э. существовали три главные проблемы, для решения которых был необходим теоретический анализ известных древним технических устройств и способов их применения: во-первых, центральная механическая проблема античности — проблема выигрыша в силе за счет применения технических устройств (или в другой формулировке — проблема перемещения заданного груза на определенное расстояние с помощью данной силы); во-вторых, задача об условиях равновесия тел, находящихся под воздействием сил; в-третьих, задача о распределении тяжести тел между опорами.

Актуальность первой из этих проблем в IV—III вв. до н. э. определялась быстрым ростом социально-экономической потребности в механической работе при принципиальной ограниченности энергетических ресурсов. Основным источником механической энергии в условиях рабовладельческой экономики был, конечно, труд рабов. Масштабы применения рабского труда в античном хозяйстве были огромны<sup>3</sup>. Казалось, нет таких производственных и технических задач, которые нельзя было бы решить за счет массированного применения дешевого труда рабов в рамках его простой кооперации. Однако этот путь имел по крайней мере два ограничения. Во-первых, число рабов прямо зависело от состояния работорговли и, следовательно, от результатов захватнических войн. Любые, даже временные, затруднения с поставкой «живой силы», как и часто возникавшие восстания рабов, были способны вызвать падение объемов материального производства. Если для крупных рабовладельческих государств эта проблема, как правило, не стояла особенно остро, то для небольших государств — полисов она нередко оказывалась серьезной. Во-вторых, по мере развития торговых отношений и материального производства, сопровождавшегося ростом сложности технических задач, на рабовладельческой экономике все более сказывались низкая эффективность малоквалифицированного рабского труда и невысокое качество его результатов. Широкое использование подневольного труда прямо противоречило техническому прогрессу. Поскольку массированное использование рабского труда оказывалось не всегда доступным и к тому же всегда малоэффективным способом решения сложных технических задач, обеспечивающих выигрыш становилась потребность в экономящих труд, обеспечивающих выигрыш в силе и улучшающих качество продукции средства деятельности. В результате вопреки общему, характерному для рабовладельческого строя застою технической мысли в эпоху эллинизма для решения практических задач водоподъема, перемещения грузов и т. п. все шире применялись технические устройства: шадуфы, ворота, блоки, рычаги и т. п. Использовались и повышающие производительность труда и его качества средства обработки материалов: примитивные токарный, сверлильный, гончарный и ткацкий станки, металлургическое оборудование [13, 14]. Практическое знание о технических устройствах обеспечивало их изготовление и применение, но не объясняло принцип их действия, причины эффективности. Единственным путем развития техники оставалась ее медленная эволюция, основанная на случайных находках.

<sup>3</sup> Как сообщает Афиней, в конце IV в. до н. э. в Афинах было 20 тыс. свободных граждан, 10 тыс. метеков и 400 тыс. рабов. (подробнее см. [11]). Современные исследователи считают данные Афиней преувеличенным, полагая, что рабов было не более 100 тыс. [12].





Конструкция крыши арсенала в Пирее (ширина перекрытия более 18 м)

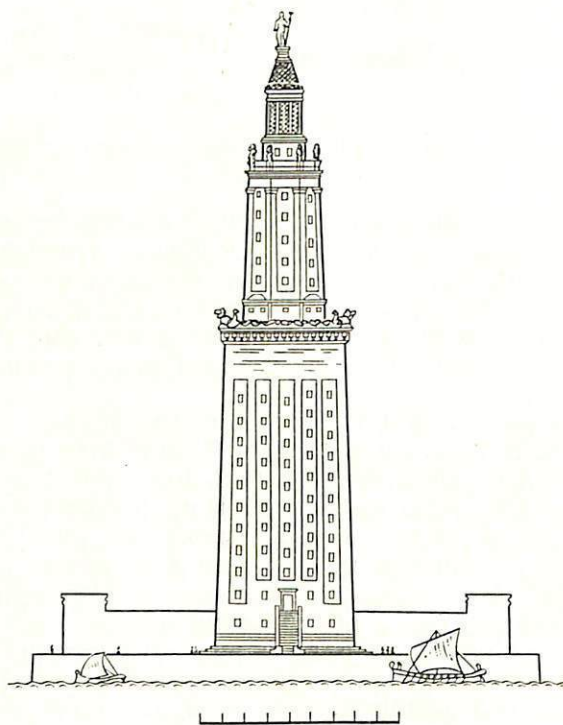
Такой путь не соответствовал нараставшей потребности в эффективных средствах технической деятельности. Особенно отрицательно сказывались низкие эвристические возможности технического знания практического типа на развитии тех областей практики, где возникали актуальные для общества сложные технические задачи новых классов, в принципе нерешаемые за счет увеличения числа работающих и простой кооперации их труда.

Возможно, впервые стали возникать такие задачи в строительстве. Известно, что еще в VI в. до н. э. на о. Самос был прорыт подземный водовод длиной более километра. Туннель под горой Кастро сооружался под руководством Евполина из Мегары и пробивался сразу с двух сторон. Это выдающееся достижение античной маркшейдерии было бы невозможным без применения математики и геодезических технических устройств [14, 15]. По-видимому, практическое происхождение имела знаменитая делосская задача об удвоении объема кубического жертвенника, сыгравшая большую роль в развитии теории конических сечений, теории пропорциональных величин и истории научного приборостроения [1, с. 47]. Не позднее VI в. до н. э. начали применяться методы расчета пропорций статуй и храмов. Но воистину критическая ситуация сложилась в строительстве при переходе от сырцово-деревянных сооружений к каменным портикам, храмам и жилищам. Выдвинутые фронтоны, большие, опирающиеся на множество колонн перекрытия требовали расчета распределения тяжести балок между опорами.

В V—IV вв. до н. э. ускорилось развитие военно-технических средств. С формированием профессиональных наемных армий греческие полисы были вынуждены все больше полагаться не столько на свои войска милиционного типа, сколько на крепость стен и башен. Даже гордая Спарта, долгое время не имевшая оборонительных сооружений, в конце концов возвела их. Но соответственно совершенствовались и технические средства осады. Известные еще в Древнем Египте и Вавилоне тараны были усовершенствованы в Карфагене и с успехом разрушали любые стены, коль скоро осаждающим удавалось до них добраться. Осада Тира (332 г. до н. э.), Кипрского Саламина (306 г. до н. э.), Родоса (305—304 гг. до н. э.) и других городов продемонстрировала растущее превосходство средств осады над средствами защиты. В поиске новых технических решений после нашествия обладавших наиболее совершенными осадными средствами карфагенян на сицилийские города Дионисий (ок. 432—367 гг. до н. э.) собирает сведущих специалистов для разработки военных машин, способных защитить стены Сиракуз<sup>4</sup>. (Диодор,

<sup>4</sup> Есть основания полагать, что именно в Сиракузах около 400 г. до н. э. были изобретены первые метательные орудия типа катапульт.

XIV, 54). Основным тактическим приемом обороны стало удержание осаждающих на удалении от стен, чтобы они не могли воспользоваться передвижными башнями — гелеполами, «танками» античности — «черепаха» и другими военными машинами (Диодор, XX, 91, 2—6). Средством решения этой жизненно важной не только для Сиракуз, но и для большинства эллинистических городов задачи стала античная «артиллерия» — метательные орудия, поражавшие не только воинов, но и технику противника тяжелыми стрелами и камнями на достаточно боль-



Маяк на о. Фарос у Александрии (реконструкция Тирша)

ших (200—300 м) дистанциях. Но для создания и применения таких военно-технических средств (военных машин) «в крупном масштабе»<sup>5</sup> нужны были уже не просто практические навыки и технические рецепты, достаточные для постройки примитивных таранов, а основанные на понимании принципа действия и знании математики методы расчета деталей катапульт, полибол, онагров, баллист и др. С развитием военных машин была связана и потребность в расчете условий равновесия тел под воздействием силы, т. е. в решении механической задачи, выдвинутой впервые еще раньше в связи с развитием несоизмерительных устройств, и в частности рычажных весов.

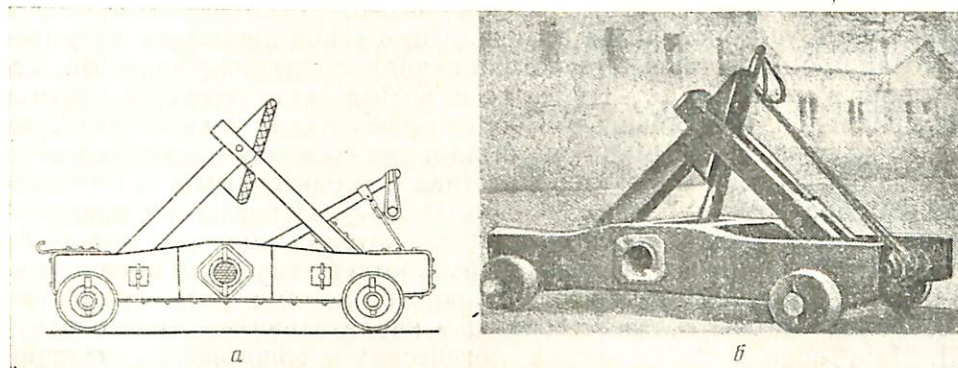
Ряд практических задач, не решавшихся на основе одного только накопленного опыта и здравого смысла, возник в кораблестроении (в интересах торговли и военного дела необходимо было увеличивать тоннаж и мореходность судов), а также в ирригации, горном деле и других отраслях технической деятельности.

Если не все, то очень многие механические задачи IV—III вв. до н. э. так или иначе сводились к математическому расчету плечей рычага, по-

<sup>5</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е. Т. 29, с. 154.



ложения центра тяжести и условий равновесия тел, т. е. к фундаментальным проблемам теории античной механики, как раз и находившимся в поле зрения Архимеда. Однако было бы преувеличением утверждать, что ему принадлежит первая теоретическая интерпретация механических задач. Практическое значение и теоретический аспект принципа рычага были известны древним достаточно давно, во всяком случае задолго до Архимеда. Но не так просто было объяснить этот принцип, даже сформулировать его. И умея выделить рычаг в конструкции пяти простых «машин»<sup>6</sup>, обеспечивавших выигрыш в силе, античные механики не могли установить закон рычага. Для этого надо было выйти за пределы непосредственного опыта технической деятельности, подняться на уровень обобщения эмпирических данных, на уровень эмпирической теории.



Онагр (военная машина эпохи эллинизма): а — схема; б — модель

По мнению П. П. Гайдено, в теоретической деятельности VI—III вв. до н. э. формируются три научные программы, на много столетий определившие дальнейшее развитие науки: атомистическая, математическая и континуалистская. На основе континуалистской программы Аристотеля, по представлениям П. П. Гайдено, была создана первая физическая теория — физика перипатетической школы [10, с. 14]. Однако одновременно с этими программами, возможно, под их влиянием, но скорее всего в значительной мере независимо от них в античную эпоху развивалась также программа научно-технических исследований, основанных на непосредственной связи теоретического формально-математического аппарата с технической деятельностью. Истоки этой научной программы, не зафиксированной до сих пор в литературе, можно усмотреть еще в деятельности Фалеса (ок. 625—547 гг. до н. э.) и особенно его ученика Анаксимандра (610—ок. 540 гг. до н. э.). В полной мере ее характерные черты проявились, по-видимому, в творчестве математика, механика, изобретателя и государственного деятеля Архита из Тарента, современника и друга Платона (427—347 гг. до н. э.). Диоген Лаэртский пишет о том, что именно Архит первым отошел от наглядных методов исследования технических устройств и привлек к анализу античных «машин» математический аппарат, а также применил для изучения движения механизмов геометрические чертежи<sup>7</sup> (Диоген Лаэртский, VIII, 4, 83). Успешно соче-

<sup>6</sup> Пять простых «машин» древности: рычаг, ворот, блок, клин, винт.

<sup>7</sup> Архит был также изобретателем: он построил деревянного голубя, летавшего с помощью противовеса и пневматического устройства; создал механическое устройство (по-видимому, графопостроитель) для решения задачи об удвоении куба. Научно-технический подход к решению математических задач противоречил установкам Платона, осуждавшего «низведение» теоретических идей до уровня «низкой» практики.



тал в своей деятельности теоретические исследования и технические изобретения также ученик Архита — один из величайших математиков древности Евдокс (ок. 408—355 гг. до н. э.). Научно-технический подход к математическим проблемам не был чужд и многим другим математикам — предшественникам и современникам Архимеда<sup>8</sup>. В IV—III вв. до н. э. развивается и полуремесленная традиция изготовления различного рода хитроумных механизмов (в том числе развлекательных технических устройств — автоматов), восходящая еще к Древнему Египту. В эпоху Архимеда это направление, несомненно, повлиявшее на прогресс технологии, было представлено удивительным мастерством Ктесибия, жившего в Александрии.

Общая картина социально-технических потребностей, реальной технической деятельности и научно-технического творчества на рубеже IV и III вв. до н. э. оказывается, таким образом, достаточно разнообразной. Потребность в теоретическом осмыслении опыта создания и применения технических устройств была велика. Мимо такой проблемы, разумеется, не могли пройти античные теоретики перипатетической школы. Ведь если ситуация в механике IV—III вв. до н. э. была критической с точки зрения практиков, нуждавшихся в более эффективных технических средствах, то не менее проблемной она была и для философов, взявших на себя миссию объяснения мира. Перипатетики с характерным для них качественным способом мышления склонны были усматривать в опыте применения «машин» некое новое «качество», которым только и можно было объяснить причины выигрыша в силе. Соответственно ставились задачи, во-первых, выделить это качество и, во-вторых, объяснить его причины — постановка, вполне соответствовавшая квалитативизму Аристотеля [16, 17]. На уровне метафизических, логических и общезначимых концепций аристотелевское учение о качествах, противостоявшее количественному подходу к механическим способам объяснения причин явлений, возобладало. Однако на уровне теоретических моделей технических устройств, где качества выступают, по Аристотелю, как конкретные самостоятельные действующие силы, его концепция обнаруживала свою ограниченность. Дошедший до нашего времени первый теоретический труд о технике — «Механические проблемы» [17] демонстрирует это со всей очевидностью. В названной работе принцип действия простых «машин» правильно сводится к принципу рычага, действие которого объясняется весьма загадочными «особыми свойствами (качествами) круга». Объяснение, как видим, вполне в духе квалитативизма. Но что оно могло дать реальной технической деятельности? Такие представления нельзя было положить в основу расчета конкретных конструкций. Практическая бесплодность технической теории такого рода должна была быть ясной и в IV—III вв. до н. э. Проблема теоретического анализа и объяснения принципа действия технических средств, таким образом, хотя и была поставлена перипатетиками, однако, не была ими решена. Квалитативистский подход к обоснованию технического знания был впервые преодолен на теоретическом уровне в трудах Архимеда.

Роль Архимеда в дискредитации аристотелевского квалитативизма рациональной механики, а вслед за тем и в объяснении физической картины мира была ясна всем ученым, активно боровшимся с традицией перипатетиков в ее схоластической средневековой интерпретации. И хотя позже заслуги великого сицилийца в данной области как бы померкли в ярком свете трудов Галилея, Декарта и Ньютона, сам факт первой в истории систематической теоретико-математической разработки Архимедом механических проблем и ныне достоин самой высокой

<sup>8</sup> К сожалению, развитие этой традиции на стыке теоретической и технической деятельности античности изучено еще недостаточно. Между тем здесь мы находим один из истоков научного приборостроения, математических методов расчета военных машин и других технических устройств.



оценки<sup>9</sup>. Вместе с тем нельзя умалять и роль предшественников Архимеда, не только выдвинувших саму задачу теоретического анализа принципов механики, но и создавших необходимые предпосылки ее решения. Помимо первых попыток теоретизации механики важнейшей предпосылкой теории Архимеда была созданная Евклидом первая в истории гипотетико-дедуктивная теоретическая система математического знания, изложенная им в знаменитых «Началах». Архимеду же принадлежат решающие, принципиально важные шаги в развитии теоретических представлений о технических средствах: во-первых, выход на следующий уровень абстракции, дальнейшее развитие теоретизации предмета механики, выразившееся в отвлечении от конкретных особенностей рассматриваемых механизмов и осмыслении обобщенных внутренних функциональных связей как теоретических конструктов; во-вторых, построение по классическому образцу Евклида систематизированных, логически (математически) обоснованных и теоретически интерпретированных научных знаний о механических свойствах искусственных материальных средств человеческого существования и деятельности — первой в истории теоретической системы раннего научно-технического знания<sup>10</sup>.

Теоретическим работам Архимеда присущи высокий уровень систематизации и логическая структура. Его сочинения, как правило, начинаются определениями и абстрактными постулатами, вводящими теоретические понятия, специфические для данной теории. Эмпирическая интерпретация вводимых абстрактных понятий, их связь с конкретным материалом наблюдений и экспериментов даются в работах Архимеда не всегда в явном виде. В целом трудам Архимеда присущи унифицированный, специализированный язык, включающий новые, введенные им самим понятия, типовые способы обоснования и доказательств предложений теоретической системы, последовательное развитие теории, новые фрагменты которой опираются на ранее полученные результаты, и т. п. Все эти характеристики свидетельствуют о том, что логическим эталоном зарождающейся системы Архимеда служило ранее сформировавшееся, более развитое теоретическое знание в области математики. Важна здесь не только схожесть логического построения теории Архимеда и математики Гиппарха и Евклида, но и общность принципов и правил логического вывода, по которым они построены<sup>11</sup>.

Если рассматривать работы Архимеда, сведения о которых дошли до нас, с точки зрения их научно-технического содержания не по отдельности, а в целом, то, несмотря на многочисленные лакуны, почти все они выстраиваются в достаточно стройную систему, обнаруживающую общность конечной цели и историческую последовательность развития этапов и методов ее достижения. Уже первые теоретические исследования (считается, что их результаты изложены в «Книге опор»,

<sup>9</sup> Это мнение не тривиально, как можно было бы подумать. Наряду с признанием выдающейся роли Архимеда известны и другие мнения о его вкладе в историю науки. Так, П. Таннери писал о трудах Архимеда, которые «достигли, по всей вероятности, значительной высоты, но проивзвести настоящую оценку которых мы не в состоянии» вследствие их неполноты [18, с. 329]. Уже в наше время Дж. Сартон, прослеживая истоки современного научного знания, пишет об Евклиде, разбирает работы Паппа, но так и не раскрывает роли Архимеда [19].

<sup>10</sup> Мы называем созданную главным образом Архимедом рациональную механику древних ранним научно-техническим знанием, поскольку оно существенно отлично от классической теоретической системы научно-технического знания, каким оно стало после Галилея и Ньютона.

<sup>11</sup> О том, насколько важно было это единство для Архимеда, мы теперь знаем по найденному в 1906 г. тексту «Эфода» [1]. Но Архимед не был одинок в стремлении следовать образцу Евклида. «Идеал евклидовских „Начал“ оказал огромное влияние на историю математических и даже эмпирических наук», — отмечает И. П. Меркулов, исследуя общие принципы функционирования логической структуры науки как системы знания [20, с. 172].



дошедшей до нас фрагментарно и, по-видимому, в искаженном виде) привели Архимеда к определению центра тяжести, понятие о котором, как показывает И. Н. Веселовский, было сформулировано «на основании чисто практических исследований распределения давления груза между поддерживающими его опорами» [1, с. 16]. Практические истоки и значение теоретических представлений о центре тяжести тел различной формы и о распределении веса абстрактной балки между опорами для реальной строительной практики, действительно, не вызывают сомнений. И эти первые теоретические обобщения эмпирического знания, и более поздние разработки абстрактных методов определения площадей и объемов геометрических фигур и тел логически представляют собой экспозицию основных результатов, полученных Архимедом в области теории рычага, центра тяжести и равновесия тел, своего рода подготовительный материал к изложению им основ античной рациональной механики — теории статики и гидростатики. Иными словами, работы Архимеда в их историческом развитии предстают как логическое развертывание системы гипотетико-дедуктивных теорий центра тяжести, рычага, равновесия геометрических фигур и тел, моделирующих реальные технические устройства. Исследуемые в связи с этим обобщенные свойства геометрически интерпретированных фигур и тел, а также воздействующие на них абстрактные силы могут рассматриваться и как природные. Поэтому результаты ранних научно-технических исследований имеют также и физико-теоретическое значение. В ходе исследований Архимед существенно развил современный ему математический аппарат. Это говорит не только о выдающихся математических способностях создателя статики, но и о принадлежности раннего научно-технического знания к области точных наук.

Физико-математические аспекты отдельных сочинений Архимеда, взятые вне связи с техническими приложениями и остальными работами, могут стать основой односторонней оценки всего его творчества в целом как преимущественно математического. Однако техническая обусловленность и ориентация механических проблем, решавшихся Архимедом впервые теоретически, системно, с применением развитого понятия и математического аппарата, достаточно ясны. Интересно в этом отношении сопоставить теоретические работы Архимеда с приписываемыми ему или безусловно сделанными им техническими изобретениями.

Считается, что в период пребывания в Египте Архимед изобрел эффективное водоподъемное устройство — кохлею, или Архимедову спираль (Диодор, 1, 34). В этой связи нельзя не вспомнить, что во второй половине III в. до н. э. им была написана теоретическая работа «О спирали». И Архимедова спираль, и простой винт — устройства, требовавшие при изготовлении расчета, метод которого сообщает Папп, ссылающийся на работы Архимеда как на теоретическое основание практической механики. С применением винта древние связывают еще один эпизод из жизни Архимеда. Речь идет о спуске на воду корабля «Сиракузянка». Разбирая ряд свидетельств, И. Н. Веселовский приходит к выводу, что доверия заслуживает только Плутарх, сообщающий о том, что Архимед при этом воспользовался не винтом, а полиспастом [1, с. 17]. Заметим, однако, что в принципе Архимед мог воспользоваться не просто винтом, но зубчатым редуктором — червячной парой в сочетании с системой зубчатых колес. Такой редуктор описан Героном и Паппом<sup>12</sup>. Таким образом, версия об изобретении и применении Архимедом силового винтового механизма, основанного на принципе винта (спирали), не кажется невероятной.

<sup>12</sup> Герон дал расчет винтового механизма для подъема груза 226 т силой ~130 кг. Папп, сообщая об этом, приводит расчет редуктора с передаточным числом 40 : 1. Подробнее см. [21].



Особого внимания заслуживают свидетельства об изобретении (усовершенствовании) Архимедом разнообразных военных машин, в том числе метательных орудий, поражавших римлян при осаде Сиракуз в 213—212 гг. до н. э. на различных дистанциях. Последнее казалось очевидцам особенно удивительным. Но, как мы понимаем, это было вполне доступно механику, владевшему методами расчета торсионных метательных машин, основанными на теории пропорциональных величин: дистанция поражения прямо зависела от объема силовых тяжей, которые выполнялись из жил животных или из волос. Источники упоминают также о технических устройствах, зацеплявших корабли Марцелла, поднимавших их над водой и топивших. Эта часть описания и сегодня кажется фантастической. Но следует учесть, что для потопления древних, большей частью беспалубных, к тому же перегруженных вооружением и войсками судов вовсе не нужны были титанические усилия. Это хорошо понимал Архимед, умевший рассчитывать и условия равновесия плавающих тел, и их поведение при отклонениях от положения равновесия: достаточные теоретические основания для таких расчетов содержатся в его трактате «О плавающих телах». Архимед умел рассчитывать и силы, необходимые для перемещения заданного груза посредством рычага, и плечи рычагов, необходимые для реализации такого перемещения. Воплощение этих теоретических знаний в конструкциях технических устройств было вполне в рамках возможностей античной технологии.

Архимед, безусловно, использовал математические и астрономические знания при создании научного прибора для измерения видимого диаметра Солнца, установленного им, кстати говоря, с поразительной точностью [1, с. 358, 598]. Но более других своих изобретений Архимед ценил «небесные сферы» — сложный механизм, демонстрировавший в динамике обращение планет, Солнца и Луны вокруг Земли. Этим прибором восхищался видевший его в действии Цицерон (О государстве. I, XIV, 21). Научно-технический характер знаний, потребовавшихся для создания этого прибора, его связь с античной астрономией и не дошедшими до нас астрономическими работами самого Архимеда не вызывают сомнений.

Для оценки вклада Архимеда в развитие науки важна и его экспериментальная деятельность. Помимо изложенного им самим знаменитого «механического метода» доказательства математических теорем [1, с. 298], представляющего собой не что иное, как мысленный научный эксперимент, теоретически обоснованный в более ранних работах, сохранились сведения об экспериментальном исследовании Архимедом явления преломления лучей при переходе из одной среды в другую, а также о предложенных им экспериментальных способах определения объема тел неправильной формы и плотностей тел<sup>13</sup>.

Память об Архимеде уже во времена Римской империи превратилась в легенду. Даже могила его была утеряна; хотя ее видел еще Цицерон в бытность свою на Сицилии, в окрестностях Сиракуз. На ослаблении интереса к научно-техническим достижениям Архимеда сказались и изменения общей политической обстановки в связи с развитием римской экспансии, и замедление технического прогресса в социально-экономических условиях возникшего крупнейшего рабовладельческого государства. Раннее научно-техническое знание сформировалось в рамках эллинистической культуры как ее элемент. Если искусственные материальные средства деятельности могли, пусть медленно, но все же эволюцио-

<sup>13</sup> Экспериментальное происхождение методов определения плотностей тел и закона Архимеда так или иначе отражают также популярные легенды о короне царя Гиерона и о ванне Архимеда. Подробнее см. [1].



нирывать в значительной мере независимо от развития логики, математики, искусства и других форм духовной культуры, накапливая собственный опыт и отбирая лучшие, случайно найденные решения, то научное знание о технических средствах развивалось только общими для всей духовной культуры путями — в ее контексте и совместно с ней — и имело общую с ней судьбу. Деградирует, а затем и прекращает свое существование породившая феномен Архимеда и разгромленная фанатиками-христианами александрийская научная школа. Закрывается по велению императора и без того уже утративший прежний блеск афинский Ликей. Последний свет научно-технической деятельности александрийцев донесли до нас труды Герона Александрийского и Паппа Александрийского, дошедшие до нашего времени во фрагментах и переложениях [22, 23]. Для нас эти труды особенно интересны тем, что в них мы встречаем первые (если не считать архимедова «Эфода» попытки рефлексии раннего научно-технического знания.

Так, Папп считал своим долгом в предисловии к книге о механике прояснить «принадлежащее механической науке место и описать ее подразделения». Помимо общей оценки роли и места механики в античном знании он вслед за Героном указывает на тесную связь ее рациональной (теоретической) и ремесленной (прикладной, технической) частей: «Причины и законы всего этого, — писал Папп, подробно перечислив разделы технической механики, — известны со времени Архимеда из Сиракуз, потому что он раньше всех, о коих у нас до сих пор сохранились воспоминания, изучал каждый предмет со свойственной ему необыкновенной ясностью ума» (VIII, 3).

Не разбирая подробно взглядов Герона и Паппа на механику и роль теории в ней, заметим, что методологические разделы их трудов (конечно, мы называем их так с позиций современных представлений о науке) логически завершают формирование раннего научно-технического знания как относительно самостоятельной теоретической системы, ядром которой стали работы Архимеда. Но переход от раннего научно-технического знания к его зрелой форме, непосредственно предшествовавшей генезису технических наук, завершился только тогда, когда, потеряв своей практической ориентации, научно-техническое знание определило свое место в более широкой системе науки и обрело свои общие основания в теоретическом естествознании — физике. Это произошло спустя почти 2000 лет, в конце XVII в., с возникновением теоретической системы физики, изложенной впервые в фундаментальном труде Ньютона «Математические основы натуральной философии» (первое издание — 1686 г.)<sup>14</sup> [26].

В отличие от рациональной механики Архимеда, Герона и Паппа, теоретически объяснявшей непосредственно наблюдаемые явления технической практики, Ньютон ставил перед собой цель «нахождения истинных движений тел по причинам, их производящим, и по разностям кажущихся движений и, наоборот, нахождение по истинным или кажущимся движениям их причин и проявлений» [26, с. 35] в общем виде, независимо от того, имеем ли мы дело с искусственными (как в научно-техническом знании) или с природными (как в физике) телами и силами. Тем самым он совершил следующий после Архимеда и александрийцев шаг в идеализации предмета рациональной механики, расширив представления о телах и силах, воздействующих на эти тела, до пределов универсальной теоретической абстракции. Сам Ньютон хорошо понимал и ограниченность механики древних, и то, чем ей обязан,

<sup>14</sup> Мы не рассматриваем здесь заслуживающий особого анализа вопрос о роли научно-технического творчества Галилея и его непосредственных предшественников и последователей в становлении классической механики и науки в целом. Подробнее об этом см. [24, 25].



и, наконец, то, какое место в исходных посылках его собственной теории должны занимать современные научно-техническое знание и техническая практика<sup>15</sup>. В «Предисловии автора» к первому изданию «Начал» он ссылается на рациональную механику древних как на исходную позицию своих теоретических построений. Обнаруживая знакомство с трудами Паппа, он пишет: «Древними эта часть Механики была разработана лишь в виде учения о пяти машинах, применяемых в ремеслах, при этом даже тяжесть (так как это не есть усилие, производимое руками) рассматривается ими не как сила, а лишь как грузы, приводимые в движение сказанными машинами. Мы же, рассуждая не о ремеслах, а об учении о природе и, следовательно, не об усилиях, производимых руками, а о силах природы, будем главным образом заниматься тем, что относится к тяжести, легкости, силе упругости, сопротивлению жидкостей и тому подобным притягательным или напирющим силам. Поэтому и сочинение это нами предлагается как математические основания физики. Вся трудность физики, как будет видно, и состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам изъяснить остальные движения» [26, с. 2].

Но откуда берет Ньютон эти «явления движения»? Обычно полагают, что источник знаний о них — многочисленные наблюдения и эксперименты, о которых сообщает он сам. Важно, однако, каков характер этих наблюдений и экспериментов, какие именно факты Ньютон анализирует, на что ссылается. Все наблюдения и эксперименты, упоминаемые им, будь то опыты с маятником или мысленные эксперименты и наблюдения за поведением камня в праще, летящего ядра или корабля, идущего под парусами, суть целенаправленная и теоретически осмысливаемая практическая деятельность с техническими средствами, реализующая уже известное и порождающая новое знание. И уже это не непосредственно эмпирическое, а полученное из него новое, теоретически осмысленное знание становится у Ньютона исходным для дальнейших обобщений и построения физической теории. В более сложных случаях Ньютон использует и более сложные эксперименты, включает в исходные посылки в качестве «явных принципов» ранее научно-техническое знание<sup>16</sup>. Так, для обоснования законов движения он привлекает статику — рациональную механику древних в ее применении к простым «машинам», т. е. в виде «учения о машинах». Обосновывая второе следствие третьего закона движения, Ньютон рассматривает колесо с подвешенными грузами, т. е. проводит мысленный эксперимент, широко используемый древними, в частности Архимедом. Формулируя само следствие, Ньютон пишет: «Как это сложение, так и разложение беспрестанно подтверждается в учении о машинах» [26, с. 40]. Далее он заключает: «Применение этого следствия весьма широкое, и благодаря этому широкому применению справедливость его постоянно обнаруживается, ибо от вышесказанного зависит все учение о машинах... Пользуясь этим же следствием, легко выводить соотношения между усилиями в машинах, составленных из колес, барабанов, ворот, рычагов, блоков, натянутых канатов и других механизмов, и весами грузов, поднимаемых или прямо, или наклонно» [26, с. 42]. Из этого ясно, что Ньютон хорошо понимал практическое значение полученных физических законов для технической механики и видел их обобщающую по отношению к учению о машинах функцию. «Распознав» в реальных силах, действующих в конкретных технических устройствах мысленно пред-

<sup>15</sup> О роли практики в теоретической деятельности Ньютона см. [27].

<sup>16</sup> «Понять труды Ньютона, не зная античной науки, невозможно. Интегральное исчисление Ньютона можно понять только как развитие архимедовых методов для определения площадей и объемов. История механики как точной науки начинается только с установления закона рычага, определения направленного вверх давления воды и нахождения центра тяжести у Архимеда» [15, с. 10].



ставляемые всеобщие силы природы, Ньютон включил рациональную механику древних в систему высоких абстракций, широких теоретических обобщений. После этого не могла не произойти и происходит на самом деле внутренняя перестройка всего корпуса знаний о механических свойствах физических тел, включая искусственные материальные средства деятельности. Породившее «математическую физику» раннее научно-техническое знание теряет свой прежний статус теоретической вершины механики, превратившись в частную, дедуктивно выводимую из абстрактной физики техническую теорию.

При всех различиях в степени обобщения фактического материала «математическая физика» Ньютона и статика Архимеда образуют нерархически организованное целое, взаимно дополняют друг друга и обеспечивают прогресс научно-технического знания. Теоретическая механика, заложившая основы фундаментального для множества других естественно-научных и технических дисциплин учения о динамике, начала свой триумфальный путь. Этот процесс происходит на протяжении всего XVIII в., захватывая даже XIX в., и завершается построением той основанной на фундаментальной физике теоретической системы, с которой мы имеем дело и сегодня, обращаясь к так называемым точным наукам.

Для историка науки представляет интерес то, что, исходя из научно-технического знания как из предпосылки, общенаучная теория Ньютона затем становится его собственным основанием. Это оказывается возможным потому, что в этих двух случаях перед нами два существенно различных, разделенных временем проявления одного исторически развивающегося феномена. Предпосылкой теоретической физики стало раннее научно-техническое знание, в качестве же частной специфической теоретической системы (имеющей вместе с тем общетехническое значение) по отношению к физике выступает зрелое научно-техническое знание. Несомненно, более общая, чем научно-техническое знание, теоретическая физика принадлежит естествознанию. Но вместе с тем в определенном смысле она может быть включена в систему научно-технического знания как ее фундаментальное ядро. С позиций такой системы определенные области теоретического естествознания выступают как ее собственный элемент, выполняющий внутрисистемные функции выработки новых научных знаний о естественных свойствах веществ и явлений, используемых потом в процессе создания и применения технических средств. Двойственный характер научно-технического знания, необходимость его естественно-научного обоснования, а также относительно самостоятельный характер абстрактной теоретической деятельности привели к тому, что со временем логическая структура теоретической механики как бы подменила в сознании некоторых исследователей ее историческую структуру. Возникла иллюзия, будто первым сформировалось фундаментальное естествознание, естественно-научная теория, и только потом они были использованы в интересах эмпирической технической деятельности, что и привело к формированию прикладных технических наук. «Производству теоретического техникзнания дали толчок естественно-научные теоретические исследования,— пишет, например, Б. С. Украинцев.— С момента своего появления теоретическое техникзнание было синтетическим, поскольку технику невозможно было создать путем непосредственного приложения абстрактной теории механического движения точек и т. д., предварительно не „очеловечив“ ее, не ограничив теми реальными случаями механического движения, которые своей упорядоченностью и целенаправленностью приводят к заранее строго определенным результатам». И далее: «Первые технические науки были вынуждены опираться только на теорию естественных наук и внешне походили на „прикладное естествознание“» [28, с. 90, 92]. На самом деле, как мы видим, естественно-научному подходу к ис-



следованию законов механического движения, осуществленному Ньютоном, дали толчок возникшие как обобщение и объяснение технической практики «учение о машинах», рациональная механика древних, ранее научно-техническое знание — статика и гидростатика Архимеда. Опора на естественно-научную теорию потребовалась научно-техническому знанию на достаточно высоком уровне его развития, и именно эта потребность стала одним из важнейших факторов и генезиса естественно-научного знания и всего последующего развития естественно-научных (физических) теоретических исследований. Вывод немаловажный для истории естественных и технических наук.

В заключение отметим, что специфика и единство теорий Архимеда и Ньютона в рамках общей научной программы механики (независимо от того, трактовать ли ее только как научно-техническую или шире — как естественно-научную теоретическую систему) хорошо иллюстрируют развиваемое в ряде работ советских науковедов положение о «преemptивности научного прогресса и специфичности, нетождественности принципиальной новизны каждого этапа» [29]. В этом аспекте история возникновения и становления научно-технического знания представляет собой веский аргумент в пользу марксистской концепции диалектического единства преemptивности и дискретности в развитии науки.

### Литература

1. *Архимед. Сочинения.* М.: Физматгиз, 1962.
2. *Heiberg J. L. Quaestiones Archimedeae.* Naupliae, 1879.
3. *Карпеев Э. П., Козлов Б. И., Неуймин Я. Г.* Некоторые вопросы истории технических наук. — *Вопр. ист. ест. и техн.*, 1981, № 4.
4. *Григорьян А. Т., Зубов В. П.* Очерки развития основных понятий механики. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
5. *Ахутин А. В.* История принципов физического эксперимента (от античности до XVII века). М.: Наука, 1976.
6. *Декарт Р.* Избранные произведения. М.: Госполитиздат, 1950.
7. *Чешев В. В.* Техническое знание как объект методологического анализа. Томск: Изд. Том. ун-та, 1981.
8. *Микулинский С. Р.* Еще раз о предмете и задачах науковедения. — *Вопр. философии*, 1982, № 7.
9. *Sarton G. A. A history of science.* Cambridge: Harvard Univ. Press, 1952.
10. *Гайденко П. П.* Эволюция понятия науки (становление и развитие первых научных программ). М.: Наука, 1980.
11. *Валлон А.* История рабства в античном мире. М.: Соцэкгиз, 1936.
12. *Доватур А. И.* Рабство в Аттике в VI—V вв. до н. э. Л.: Наука, 1980.
13. *Эллинистическая техника.* Под ред. акад. Толстого И. И. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1948.
14. *Дильс Г.* Античная техника. Гр. Ин-та ист. науки и техн. АН СССР. Переводы. Вып. 1. М.—Л.: ГТТИ—ОНТИ, 1934.
15. *Ван-дер-Варден.* Пробуждающаяся наука: математика Древнего Египта, Вавилона и Греции. М.: Физматгиз, 1959.
16. *Визгин В. П.* Генезис и структура квалитивизма Аристотеля. М.: Наука, 1982.
17. *Tannery P.* Sur problèmes mécaniques attribués à Aristote. — *Memoires scientifiques de P. Tannery*, T. III, Toulouse—Paris, 1915.
18. *Таннери П.* Первые шаги древнегреческой науки. Спб., 1902.
19. *Sarton Georg.* Ancient Science and modern Civilization. Lincoln Univ. of Nebraska — Press, 1954.
20. *Меркулов И. П.* Гипотетико-дедуктивная модель и развитие научного знания. М.: Наука, 1980.
21. *Бек Теодор.* Очерки истории машиностроения. Т. I. М.—Л.: ГТТИ, 1934.
22. *Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia.* 1899—1900.
23. *Pappi Alexandrini Collectionis quae supersunt.* Berolini, 1876—1878.
24. *Кузнецов Б. Г.* Галилей. М.: Наука, 1964.
25. *Ольшки Леонардо.* История научной литературы на новых языках. т. III. Галилей и его время. М.—Л.: ГТТИ, 1933.
26. *Ньютон Ис.* Математические начала натуральной философии. Изв. Никол. Морск. Академии. Кн. I. Пг., 1915. Кн. II Пг., 1916.
27. *Гессен Б. М.* Социально-экономические корни механики Ньютона. М.—Л.: ГТТИ—ОНТИ, 1934.



28. Украинцев Б. С. Связь естественных и общественных наук в техническом знании.— В кн.: Синтез современного научного знания. М.: Наука, 1973.
29. Микулинский С. Р. Современное состояние и теоретические проблемы истории естествознания как науки.— Вopr. философии, 1976, № 6.

## ARCHIMEDES AND GENESIS OF TECHNICAL KNOWLEDGE

В. И. KOZLOV

The reasons are given in the article that historically first system of the theoretical scientific knowledge about the surrounding world was early scientific technological knowledge presented by Archimedes work and ancient rational mechanics. This knowledge became one of the prerequisites of scientific theoretical system created by Newton. The principally important role of social and economic practice and culture of the society in the genesis of scientific theory is stressed.



## ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В. А. САКУН

Развитие техники имеет свои объективные закономерности. Чем глубже мы их познаем, тем надежнее будет прогнозирование техники будущего. Знание же техники будущего диктуется не просто любознательностью, а необходимостью. Чем раньше мы можем хотя бы в общих чертах представить себе машины будущего, тем больше возможностей вовремя накопить нужный задел, чтобы не быть застигнутыми врасплох, когда старый тип техники себя исчерпает, перестанет удовлетворять потребности общества.

Познание же объективных закономерностей развития техники возможно лишь в результате научного анализа ее истории.

Цель настоящей статьи — определение общих закономерностей развития мобильной сельскохозяйственной техники на примере почвообрабатывающих машин и анализ современного этапа ее развития.

Вся история развития общества тесно связана с историей развития орудий труда, и прежде всего сельскохозяйственных, так как с помощью последних создается первооснова жизни общества — сельскохозяйственные продукты.

Труд первых земледельцев был тяжелым и изнурительным, требовал больших физических усилий. Многие тысячелетия использовались лишь очень примитивные, грубые орудия труда. Однако на протяжении всего раннего периода истории сельского хозяйства совершенствовались, хотя и очень медленными темпами, сельскохозяйственные орудия, увеличивалась их эффективность. Переход от заостренной копательной палки к мотыге привел к значительному повышению производительности труда в земледелии.

«Чем меньше времени требуется обществу на производство пшеницы, скота и т. д., тем больше времени оно выигрывает для другого производства, материального или духовного», — писал К. Маркс [1, с. 117]. Именно «излишки» продуктов сельскохозяйственного производства сверх необходимой для прокормления непосредственных производителей, появившиеся в результате совершенствования орудий труда и повышения производительности труда, сделали возможным возникновение городов и развитие цивилизаций.

Крупным сдвигом в развитии земледелия стал переход от циклического воздействия на почву к непрерывному, т. е. от рыхления почвы путем удара заостренной копательной палкой к рыхлению путем ее волочения. Заостренная палка постепенно превращалась сначала в крючковатый ствол, затем в соху, а потом и в плуг.

На протяжении всего этого огромного периода единственной энергетической базой в земледелии оставалась мускульная сила человека. Применительно к ней создавались и в течение тысячелетий совершенствовались орудия труда. Однако совершенствование орудий труда на этой энергетической базе не могло привести к резкому повышению производительности труда, к существенному расширению продовольственной базы человечества. «Излишки» продуктов, которые позволяли бы