

ДЖОЭЛЬ
МОКИР

РЫЧАГ БОГАТСТВА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ
КРЕАТИВНОСТЬ
И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
ПРОГРЕСС

Центр
исследований
и инноваций



Joel Mokyr

The Lever of Riches

Technological Creativity and
Economic Progress

OXFORD UNIVERSITY PRESS

1990

Джоэль Мокир

Рычаг богатства

Технологическая креативность
и экономический прогресс

Перевод с английского

НИКОЛАЯ ЭДЕЛЬМАНА

Под научной редакцией

ТАТЬЯНЫ ДРОБЫШЕВСКОЙ

и АРТЕМА СМИРНОВА

УДК 339.9

ББК 65.5

М74

Мокир, Дж.

М74 Рычаг богатства. Технологическая креативность и экономический прогресс / пер. с англ. Н. Эдельмана; под науч. ред. Т. Дробышевской, А. Смирнова. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2014. — 504 с.

ISBN 978-5-93255-395-4

Почему одни страны креативнее других и почему некоторые необычайно инновационные общества — вроде Древнего Китая или Британии времен промышленной революции — впали в застой? В своей книге известный экономический историк Джоэль Мокир предлагает краткий обзор ключевых изобретений и инноваций, которые преобразовали общество со времен Древней Греции и Рима, позволяющий увидеть удивительные вещи: Античность, например, почти не имела новых технологий, относительно отсталое общество средневековой Европы изобиловало изобретениями, а эпоха между Реформацией и промышленной революцией была эпохой медленного технического прогресса, несмотря на бурные события, связанные с великими географическими открытиями и научной революцией. Мокир рассматривает длинный перечень факторов, оказывавших влияние на технологическую креативность, включая такие аспекты, как роль государства, воздействие науки, а также религии, политики и даже питания. Он ставит под сомнение такие часто упоминаемые факторы, как побочные выгоды войны, обширные запасы полезных ископаемых, продолжительность жизни и стоимость рабочей силы.

УДК 339.9

ББК 65.5

© Издательство Института Гайдара, 2014

Copyright © 1990 by Oxford University Press, Inc.

Первое издание книги *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress* впервые было опубликовано на английском языке в 1990 г. Настоящий перевод публикуется по договоренности с Oxford University Press.

ISBN 978-5-93255-395-4

Оглавление

Предисловие · 9

ЧАСТЬ I. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Глава 1. Введение · 17

ЧАСТЬ II. ХРОНИКА

Глава 2. Античная эпоха · 43

Глава 3. Средние века · 60

Глава 4. Ренессанс и не только: техника в 1500–1750 гг. · 97

Глава 5. Годы чудес. Промышленная революция
(1750–1830) · 133

Энергетика · 137; Металлургия · 150; Текстильная
промышленность · 155; Прогресс в прочих отрас-
лях · 165

Глава 6. Поздние годы XIX века: 1830–1914 · 180

Металлургия · 184; Химическая промышленность · 189;
Электричество · 195; Транспорт · 200; Производ-
ственные технологии · 214; Сельское хозяйство
и пищевая промышленность · 218; Прочие секторы · 223

ЧАСТЬ III. АНАЛИЗ И СОПОСТАВЛЕНИЯ

Глава 7. Возможные причины технического прогресса · 237

Ожидаемая продолжительность жизни · 244; Пита-
ние · 246; Готовность к риску · 248; Географическое
окружение · 250; Зависимость от пути развития · 256;
Стоимость рабочей силы · 260; Наука и техника · 263;
Религия · 268; Коллективные ценности · 273; Инсти-
туты и права собственности · 278; Сопротивление
инновациям · 281; Политика и государство · 283;

Война · 289; Открытость для новой информации · 295; Демографические факторы · 300

Глава 8. Античная и средневековая техника · 305

Глава 9. Китай и Европа · 331

Глава 10. Промышленная революция: Великобритания и Европа · 375

Глава 11. Эволюция и динамика технических изменений · 426

Глава 12. Эпилог · 471

Библиография · 477

*Памяти моей матери,
которая всего достигла
сама*

Предисловие

КНИГА, которую вы держите в руках, посвящена технологической креативности. С какой стати историк экономики понадобилось братья за такую тему? Говоря о технологиях, мы имеем в виду способы создания полезных и приносящих удовольствие товаров и услуг, то есть производство. Разница между богатыми и бедными странами состоит не в том, как выразился Эрнест Хемингуэй, что у богатых больше денег, чем у бедных, а в том, что богатые страны производят больше товаров и услуг. Это удается им, в частности, благодаря обладанию более совершенными технологиями, то есть более передовыми способностями управлять и манипулировать природой и людьми в производственных целях. Если Запад в целом живет более комфортабельно и даже роскошно по сравнению с той вопиющей бедностью, которая по-прежнему преобладает в большинстве стран Азии и Африки, то в большой степени он обязан этим своим технологиям. Как выразился один автор, мы должны «воздать должное тем мелким, повседневным, прагматичным, честным усовершенствованиям простых технологий... происходившим в Европе... которые капля за каплей смоят большинство несчастий современного мира» (Jones, 1981, p. 69). Западное технологическое превосходство имеет глубокие исторические корни, и мы сможем его понять — если это вообще возможно — лишь в ходе анализа, охватывающего столетия и даже тысячелетия. Строго говоря, дело не сводилось к одним технологиям: важную роль сыграло также

развитие права, торговли, государственного управления и институтов. Тем не менее, как мы попытаемся показать, в основе возвышения западного мира лежала все-таки технологическая креативность. Именно она стала для него рычагом богатства.

Как изменяются технологии? Так же, как в науке и искусстве, источником этих изменений служит людская креативность — этот редкий и таинственный феномен, который позволяет людям выдумывать и делать то, что до них никто не выдумывал и не делал. Разумеется, технологическая креативность сильно отличается от креативности в науке и искусстве. Во многом она носит более приземленный характер, будучи порождением таких не слишком возвышенных сторон личности, как изворотливость и алчность. Тем не менее, подобно науке и искусству, она время от времени является плодом вдохновения, удачи, прозорливости, гениальности и необъяснимого людского стремления пройти там, где никто еще не ходил. Несмотря на то что солидная доля изобретений сегодня создается в научно-исследовательских лабораториях усилиями холодного и расчетливого разума инженеров в белых халатах, надетых поверх строгих костюмов, в значительной степени технологическая креативность, сделавшая наш экономический мир таким, какой он есть, проистекала из других источников. Я постараюсь описать эту креативность, а затем и объяснить ее. Однако эта задача никогда не сможет быть доведена до полного завершения. Рано или поздно нам все равно останется лишь благоговейно застыть перед тайной человеческого гения. Прорывы, совершившиеся в мозгах Монгольфье или Вестингауза, так же недоступны никаким «объяснениям», как невозможно объяснить, что творилось в голове у Бетховена, когда он создавал «Героическую симфонию». Экономисты и историки в равной мере осознают существование глубоких различий между *homo economicus* и *homo creativus*. Первый старается извлечь максимальную выгоду из того, что дала ему природа. Второй восстает против дикта-

та природы. Технологическая креативность, как и любая другая креативность, представляет собой восстание. Без нее все мы до сих пор вели бы отвратительное и недолгое существование, полное трудов, тягот и неудобств.

Всегда приятно выразить признательность многочисленным друзьям и коллегам, без которых эта книга была бы невозможна и которые в каком-то смысле ответственны за множество выраженных в ней аргументов и мнений. Впрочем, поскольку на титульном листе фигурирует лишь мое имя, то я один должен нести вину за любые ошибки и заблуждения и держать ответ перед неверно понятыми и неточно процитированными.

Начало данному проекту было положено много лет назад, когда мой бывший коллега Ф. Майкл Шерер пришел ко мне в кабинет на экономическом факультете Северо-Западного университета и предложил написать «небольшую монографию» по истории технического прогресса, работа над которой, по его словам, заняла бы у меня не больше нескольких летних месяцев. Я не купился на его посулы, но все же дал обещание, потребовавшее провести много долгих вечеров в библиотеках и за пишущей машинкой. Таким образом, семена настоящей книги были посеяны Майклом, и, хотя доводить ее до завершения пришлось мне, он оказывал мне всяческую помощь и поддержку в течение всей дальнейшей работы. Могу лишь надеяться на то, что читатели не поставят ему в вину ничего из того, о чем идет речь в этой книге.

В интеллектуальном плане меня вдохновляли всевозможные источники, многие из которых я уже не в состоянии вспомнить. Четырнадцать лет преподавая экономическую историю, неизбежно впитываешь огромное количество различных сведений, забывая о том, откуда они взялись. Впрочем, это не относится к ряду книг, к которым я снова и снова обращался в поисках идей, вдохновения и информации. Эти книги — «Освобожденный Прометей» Дэвида Ландеса (David Landes, *Unbound Prometheus*), «Религия и технология Средневековья»

Линна Уайта (Lynn White, *Medieval Religion and Technology*), «Европейское чудо» Эрика Джонса (Eric Jones, *European Miracle*), «История механических изобретений» Эбботта Пейсона Ашера (Abbott Payson Usher, *History of Mechanical Inventions*) и «Поворотные моменты западной техники» Дональда Кардуэлла (Donald Cardwell, *Turning Points in Western Technology*).

Мне хотелось бы упомянуть тех моих коллег по Северо-Западному университету, которые не только читали рукопись в ее многочисленных полусырых вариантах, снабжая меня множеством добрых советов и напутствий, но и дарили мне дружбу и эмоциональную поддержку, без которых немногие могут обойтись. Это Луис Кейн, Чарльз Каломирис, Карл де Швейниц, Джек Голдстоун, Дэвид Халл, Джонатан Р.Т. Хьюз и Сара Маза. Ценный вклад также внесли многие из моих аспирантов, на которых сваливались последовательные версии рукописи; в частности, особую благодарность хочу выразить Кэтрин Андерсон, Авнеру Грейфу, Полу Хаку, Линн Кислинг, Джону Наю, Гэбриэлу Сенсенхреннеру, Яну Шиману, Ричарду Составу и Марте Уильямс. Наконец-то я начал понимать, сколько правды содержалось в знаменитом изречении рабби Акивы о том, что многое он узнал от своих учителей, еще больше — от своих коллег, но больше всего — от своих учеников.

За пределами Северо-Западного университета в наибольшей степени я, как всегда, обязан Кормаку О'Града, чьи почти легендарные терпение и мудрость уже в течение многих лет служат для меня незаменимым источником поддержки. Неудобно даже сказать, сколько прочих друзей ознакомилось с рукописью и сколько они нашли в ней ошибок и упущений, порой критикуя ее совершенно не по делу; так, громче всего меня упрекали в том, что я написал книгу совсем не так, как ее написали бы они сами. В этот список следует включить Роберта Аллена, Уильяма Баумола, Ройвена Бреннера, Джулию Бернс, Пола Э. Дэвида, Яна де Вриса, Стефано Феноальтеа, Джорджа Грантэма, К. Ника Харли, Дэна Хедрика,

Эрика Джонса, Уильяма Макнейла, Дональда Маккло-ски, Уильяма Н. Паркера, Ричарда Состака, Эндрю Уот-сона, К. Уайта и Бинга Вонга. Первоначальный вариант моей книги обсуждался на конференции Объединенной группы Университета Калифорнии по экономической истории в октябре 1988 г., где я получил много ценных идей, хотя не все из них мне удалось использовать.

Мой ассистент Эрик Лехендер в течение трех лет преданно помогал мне обчищать полки библиотек Северо-Западного университета, а также внес свой вклад в возрастание спроса на услуги сотрудников межбиблиотечного абонементов. Г-жа Барбара Карни отредактировала рукопись со своей обычной вдумчивостью и компетентностью. Г-н Герберт Эддисон из *Oxford University Press* щедро поделился своим знанием книг и издательского дела на последних этапах подготовки книги к печати. Помощь и поддержку в течение многих лет мне оказывали секретари экономического факультета Северо-Западного университета — г-жа Энджи Кэмпбелл, г-жа Энн Рот и г-жа Флоренс Стайн. Особую благодарность хочу выразить г-ну Джеку Рипчеку из *Princeton University Press*.

Моя жена Маргалит была рядом со мной всегда, когда я в ней нуждался, а мои дочери Наама и Бетси были рядом даже и тогда, когда я прекрасно мог без них обойтись.

Дж. М.
 Эванстон, Иллинойс
 Январь 1990

Часть I
*Экономический рост
и технический
прогресс*

ГЛАВА 1

Введение

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ рост, происходивший в прежние эпохи, принципиальным образом сказывается на материальных аспектах нашего существования: о том, какой уровень жизни ожидает новорожденного младенца, наилучшим образом позволяет судить место его рождения. Качество жизни, на которое может рассчитывать средний человек, родившийся, скажем, в сельском Камеруне или в городах Явы, имеет очень мало общего с качеством жизни, которое уготовано родившемуся в Гринвиче (штат Коннектикут) или в норвежской столице Осло. Об этом различии позволяет судить несколько искусственный экономический показатель, известный как национальный доход или валовой национальный продукт на душу населения. Текущий уровень этой величины определяется ее прежними значениями. В экономике история — это судьба.

Таким образом, называя ту или иную страну богатой, мы имеем в виду, что в прошлом она испытывала экономический рост. Описывая все, это утверждение в то же время ничего не объясняет. Причины экономического роста — почему одни общества богатеют, а другие остаются бедными — обсуждаются экономистами, социологами, историками и философами уже не первое столетие. Настоящая книга представляет собой еще одну попытку дать ответ на этот вопрос из вопросов. В центре нашего внимания будет находиться то, что я считаю ключевым ингредиентом экономического роста: технологическая креативность. Мы рассмотрим аргумен-

тацию о причинах экономического прогресса, о росте уровня жизни, об улучшении питания, одежды, жилищных условий и здоровья, а также о сокращении жизненных трудов и тягот, голода и болезней. Технический прогресс являлся одной из самых могущественных сил в истории, обеспечив общество тем, что экономисты называют «бесплатным завтраком», то есть ростом выработки, несоизмеримым с издержками и усилиями, потребовавшимися для его осуществления.

Такое представление о технических изменениях несовместимо с одной из самых распространенных полуправд, вбиваемых экономистами своим ученикам — а именно с избитым афоризмом о том, что бесплатных завтраков в природе не бывает. Цель настоящей книги — в том, чтобы донести до читателя важнейший контр-пример к этому заявлению¹. Экономическая история дает нам множество примеров бесплатных завтраков, а также (куда более распространенных) очень дешевых завтраков. В то же время мы сталкиваемся с бесконечными случаями очень дорогих завтраков, которые оказываются несъедобными, а порой и вовсе смертоносными. Иными словами, технические изменения в первую очередь связаны с тем, о чем экономисты говорят как о сдвиге кривой производственных возможностей, то есть с увеличением производственного потенциала экономики. Однако общества на протяжении

1. См. аналогичное заявление, нечастое для экономистов: Kamien and Schwartz (1982, p. 216). Кэмиен и Шварц тоже рассматривают технические изменения как «трюк», позволяющий получить «и то и другое» в знаменитой ситуации выбора из двух альтернатив, описанной Сэмюэльсоном. Эти авторы проводят анализ главным образом с точки зрения современного рынка с его систематическими научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами. Макклоски (McCloskey, 1981, p. 117) указывает, что промышленная революция должна была стать «горьким разочарованием для ученых, воспевающих нищету», и называет догму об отсутствии бесплатных завтраков «забавной чепухой».

большей части своей истории находились не *на* кривой, где они полностью эксплуатировали свои ресурсы, а в той или иной точке внутри этой границы, из-за расточительности и неэффективности имея более низкий уровень жизни по сравнению с тем, какой наблюдался бы в случае эффективного использования имеющихся ресурсов. Вследствие войн, дискриминации, безработицы, суеверий, посягательств на торговлю и экономическую свободу, злоупотребления ресурсами и многих других видов людской расточительности лишь небольшая доля потенциально доступных ресурсов использовалась для производства благ, обладающих экономической полезностью. Сокращая расточительство, общество могло бы повысить свой уровень жизни без увеличения объемов труда и прочих необходимых ресурсов. Хотя такое повышение тоже может рассматриваться как одна из разновидностей бесплатного завтрака, оно не входит в круг рассматриваемых нами предметов. Вместо него мы изучим собственно сдвиг кривой производственных возможностей, то есть повышение производственного потенциала экономики, так как именно он чаще всего отождествляется с экономическим ростом.

Не всякий экономический рост обязательно связан с технологиями. Грубо говоря, экономический рост может наблюдаться в результате четырех отдельных процессов:

1. *Инвестиции* (увеличение объемов капитала). Производительность труда, а вместе с ней и средний уровень жизни, зависят от количества и качества инструментов и оборудования, находящихся в распоряжении у среднего трудящегося (или, как говорят экономисты, от капиталовооруженности). В тех случаях, когда накопление капитала опережает рост численности рабочей силы, вследствие чего на долю каждого трудящегося приходится все больше капитала, будет происходить экономический рост; иными словами, будет возрастать

величина выработки на одного трудящегося. Мы можем называть такое явление соловианским ростом, по имени Роберта Солоу, заложившего основы современной теории экономического роста. На первый взгляд экономический рост такого типа не приносит бесплатных завтраков. Возможность для инвестиций создается путем накопления; а накапливать по определению означает воздерживаться от потребления в данный момент времени с тем, чтобы увеличить потребление в будущем. Соответственно, за все будущие выгоды придется расплачиваться готовностью к пониженному потреблению в настоящем, что само по себе нежелательно и потому затратно.

2. *Коммерческая экспансия.* В рамках углубленного курса по микроэкономике принято показывать, что расширение обмена товарами, услугами, трудом или капиталом может быть выгодно для всех участвующих сторон. Абстрагируясь от издержек трансакций, торговля и добровольный обмен между двумя сторонами, прежде изолированными друг от друга, — будь то индивиды, деревни, регионы, страны или континенты, — приводят к росту дохода у обоих партнеров. Это повышение дохода, известное как торговая выгода, представляет собой хороший пример бесплатного завтрака. Торговля, как еще в 1776 г. указывал Адам Смит, влечет за собой возрастание богатства народов. Механизм экономического роста, описанный Смитом, основывался на идее о том, что более глубокое разделение труда ведет к росту производительности вследствие специализации и адаптации навыков к решаемым задачам. Экономический рост, вызванный расширением торговли, можно назвать смитианским ростом (по примеру Parker, 1984)².

2. Выражение не совсем удачное, поскольку Адам Смит выделял прибыль от торговли, полученную за счет разделения труда, спе-

Торговля возникает там, где снижаются трансакционные издержки (то есть издержки, связанные с обменом либо покупкой и продажей товаров и услуг на рынке) или совершенствуются и тщательнее соблюдаются права собственности. Однако вовсе не такой тип бесплатных завтраков будет интересовать нас в первую очередь.

3. *Эффект масштаба или размера.* Иногда утверждается, что рост населения сам по себе может привести к повышению дохода на душу населения (см., например: Simon, 1977; Boserup, 1981). Очевидно, что если разделение труда влечет за собой рост процветания, то в случае очень маленькой численности населения одно лишь ее возрастание делает возможной специализацию и, соответственно, увеличение производительности. Более того, по крайней мере в известных пределах можно сказать, что некоторые фиксированные издержки и расходы на объекты инфраструктуры — такие как дороги, школы, учреждения по надзору за соблюдением прав собственности и т. д. — становятся эффективными лишь в случае относительно многочисленного населения (North, 1981). В тех случаях, когда само по себе расширение масштабов экономики вследствие простого роста численности ее субъектов вызывает увеличение производственного потенциала, приходящегося на душу населения, людям покажется, что они получают бесплатный завтрак. Впрочем, непрерывный рост населения приведет к возрастанию давления на прочие ресурсы, объемы которых не увеличиваются (зем-

циализации и соответствующего прироста производительности. Стандартная выгода в модели торговли, предложенной Давидом Рикардо, основывается на сравнительных преимуществах и не зависит от специализации в понимании Смита. Последний подчеркивал, что спрос ограничивает специализацию, в то время как модель Рикардо не зависит от размеров рынка.

ля и прочие естественные ресурсы) или увеличиваются не так быстро, и экономика перейдет от режима роста к режиму снижения отдачи. При возникновении такого эффекта перенаселенности дальнейший рост населения вызывает интенсификацию производства, сопровождающуюся снижением среднего дохода. Сокращение отдачи все еще возможно скомпенсировать другими факторами, вследствие чего рост населения может сопровождаться экономическим ростом. Но в подобных случаях было бы некорректно утверждать, что рост населения является причиной экономического роста.

4. *Рост объемов знаний*, включая как собственно технический прогресс, так и трансформацию институтов. Опять же по примеру Паркера назовем процессы этого типа шумпетерианским ростом, по имени Йозефа А. Шумпетера, который будет неоднократно упомянут в нашей книге. Паркер (Parke, 1984, p.191) определяет шумпетерианский рост как «капиталистическую экспансию, опирающуюся на непрерывные, хотя и скачкообразные, технические изменения и инновации, и финансируемую за счет расширения кредита». Собственно, в нашей книге речь и пойдет именно о технических изменениях и инновациях. Под техническим прогрессом я имею в виду любые изменения в использовании информации, задействованной в производственном процессе, которые влекут за собой повышение эффективности, приводя либо к сохранению прежних объемов производства при сокращении требуемых ресурсов (то есть к снижению издержек), либо к производству усовершенствованных или новых видов продукции. Однако, в отличие от Паркера, я полагаю, что мы не должны сводить шумпетерианский рост только лишь к случаю капиталистической экспансии, финансируемой за счет кредита. Технический

прогресс, начавшийся за много веков до появления капитализма и кредитов, вполне может пережить капитализм на такой же или еще более длительный срок.

Выражение «использование информации» было выбрано мной не случайно: как мы увидим, экономический рост в значительной степени основывается на применении уже имеющейся информации, а не на приобретении совершенно новых знаний (Rosenberg, 1982, p. 143). После того как уже все сказано и сделано, с точки зрения экономического роста фактически неважно, возрастает ли доход благодаря тому, что в производственном процессе используется совершенно новая информация — даже если мы сумеем сойтись во мнениях относительно того, что именно понимается под словом «новая», — или благодаря тому, что существующая информация оказалась в распоряжении новых пользователей.

Распределение технических изменений по историческим эпохам носит неравномерный и даже судорожный характер. Некоторые недолгие промежутки в истории отдельных наций — таких как Великобритания в 1760–1800 гг. или США после 1945 г. — исключительно обильны техническими изменениями. Но за такими всплесками нередко следуют периоды, во время которых технический прогресс выдыхается. Почему так происходит? Несмотря на то что этот вопрос широко освещался экономистами, социологами и историками, они так и не смогли прийти к однозначному объяснению. Как выразился один историк экономики (Thomson, 1984, p. 243), «технические изменения похожи на Бога. О них много говорят, им поклоняются, их отрицают, но никто не понимает, что это такое». И подобное непонимание небеспричинно. История техники настолько многогранна, что почти каждому взятому из нее примеру можно противопоставить контрпример. Поиск эмпирических закономерностей в этой колоссальной гряде информации — не поддающейся количественным оцен-

кам и нередко недостоверной и неполной — дело неблагодарное. Однако без такого поиска кропотливая работа историков техники будет выглядеть бессмысленной, а роль техники в истории нашей экономики останется невыясненной.

В тех случаях, когда расширяется ресурсная основа экономики, перед обществом открываются две возможности: либо повышать уровень жизни, либо, по знаменитому выражению Г. Уэллса, «растратить дары природы на бессмысленное преумножение заурядного бытия». В современную эпоху экономический рост происходил *вопреки* росту численности населения. До этого, как неустанно указывали Мальтус и классики политэкономии, рост численности населения неумолимо поглощал плоды роста производительности, и в долгосрочном плане уровень жизни, насколько он поддается вычислению, изменялся очень слабо. Поэтому в отдельных случаях было бы разумно определять экономический рост как повышение совокупного дохода, а не дохода на душу населения. Этот подход предложен в работе Джонса (Jones 1988).

Современными экономистами создана обширная литература по техническим изменениям³. Во всех трудах, посвященных экономическому росту, признается существование «остатка» — той части экономического роста, которая не может быть объяснена приращением капитала или труда и потому должна в известном смысле рассматриваться как бесплатный завтрак. Технические изменения представляются естественной кандидатурой для объяснения этого остатка и порой даже просто уравниваются с ним. Такая литература, впрочем, не достигла особых успехов при объяснении того, почему одни общества технологически более креативны, чем другие. Обычно она не опирается ни на историю экономики, рассматривая главным образом период после 1945 г.,

3. См. недавние обзоры: Thirtle and Ruttan (1987); Baldwin and Scott (1987); Coombs et al. (1987); Wyatt (1986).

ни на историю техники. Такого историка техники, как Эбботт П. Ашер, чаще цитируют в связи с его интересным, но спекулятивным применением гештальт-психологии к изобретательству, нежели с его колоссальными знаниями о том, как развивалась техника с течением времени (см., например: Thirtle and Ruttan, 1987, p. 2–5). Как правило, подход экономистов к объяснению технических изменений основывается на рассмотрении отношений между показателями спроса и предложения, научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, а также ростом производительности. При этом технология неявно понимается как фактор производства — правда, обладающий весьма своеобразными чертами — который производится и продается на рынке научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Анализ такого рынка иногда может быть полезен при описании периода после 1945 г. (Jewkes, Sawers, and Stillerman, 1969; Langrish et al., 1972). Впрочем, очевидно, что такие рамки совершенно не годятся при попытках объяснить распространение ветряных мельниц в средневековой Европе, изобретение чугунного литья в Китае времен династии Хань или переход к интенсивному сельскому хозяйству в Великобритании XVII в. Развитие техники, происходившее на протяжении большинства исторических эпох, едва ли можно рассматривать как следствие упорядоченного научно-исследовательского и опытно-конструкторского процесса. Оно лишь в самой минимальной степени сопровождалось планированием и точным вычислением выгод и издержек. Как же в таком случае его объяснить?

Как только экономист выходит за пределы безопасной сферы традиционной микроэкономики и начинает учитывать неэкономические факторы, он нередко открывает для себя, что исторические события безнадежно сверхдетерминированы, то есть каждый феномен можно объяснить множеством правдоподобных способов. Как правило, теории технических изменений, основанные на географических, политических, религиозных,

военных и научных факторах, легко сочинить и сложно опровергнуть. Многие из этих объяснений вполне разумны. Но насколько они корректны? Ставить вопрос таким образом, пожалуй, не слишком полезно; скорее следовало бы задаться вопросом о том, почему такие объяснения получают широкое распространение. Сумеет ли мы найти достаточно доказательств, подтверждающих, что та или иная теория опирается на факты, а не на одну лишь логику? Ниже мы постараемся следовать такой методологии.

Подвергая рассмотрению шумпетерианский рост, я не собираюсь принижать значение других видов экономического роста. Технические изменения, не сопровождающиеся другими формами экономического роста, происходят редко. Четыре упомянутых разновидности экономического роста подпитывают друг друга различными сложными способами. Например, согласно распространенному представлению о технических изменениях, в большинстве своем они находят воплощение в новых средствах производства, и потому при отсутствии накопления капитала технические изменения будут медленными. В той степени, в какой эта точка зрения верна, соловианский рост и шумпетерианский рост идут рука об руку. Кроме того, шумпетерианский рост может повлечь за собой смитианский рост, что происходило, например, тогда, когда технический прогресс в судоходстве привел к повышению прибыли от торговли благодаря снижению стоимости перевозок. Для того чтобы не слишком усложнять картину, мы ограничимся изучением собственно технических изменений, рассматривая иные формы экономического роста лишь постольку, поскольку они непосредственно связаны с развитием техники.

Исследуя технические изменения, мы неизбежно оказываемся в промежутке между совокупным и индивидуальным уровнями анализа. Сам по себе экономический рост по определению является агрегированным процессом, изобретательством, и освоением его результатов

обычно занимаются мелкие экономические единицы (индивиды и предприятия). Соответственно, историк экономики приходит к макроосновам технологической креативности, то есть вынужден отвечать на вопросы о том, какие виды социального окружения побуждают индивидов к новаторству, какие стимулы и институты создают экономику, поощряющую технологическую креативность. Последняя анализируется главным образом в качестве социального, а не индивидуального феномена. Иными словами, меня интересует вопрос не о том, почему одни личности более креативны, чем другие, а о том, почему существовали и существуют такие общества, в которых насчитывается больше креативных индивидов, чем в других обществах. Именно этот вопрос лежит в основе загадки из загадок: почему экономический рост (по крайней мере рост шумпетерианского типа) в одних обществах происходит, а в других — нет?

Как выразился Хертье (Heertje, 1983, p. 46), не исключено, что технические изменения невозможно объяснить. Думаю, под этим он имел в виду, что стандартная экономическая теория, которая, в конце концов, имеет дело с рациональным выбором, осуществляющимся в заданных пределах, сталкивается с дилеммой, когда речь заходит о технологической креативности. Технические изменения включают атаку индивида на ограничения, всеми прочими воспринимающиеся как данность. Методология экономики в целом основана на идее о том, что экономические агенты стремятся достичь максимальных результатов в условиях данных ограничений, но по определению никак не могут изменить сами эти ограничения. Соответственно, экономические исследования в сфере технических изменений по большей части оказываются посвящены вторичным вопросам — например, способствовала ли конкретная технология относительной экономии труда или капитала, или какое влияние циклические колебания спроса оказывали на темп выдачи патентов.

Еще Фрэнсис Бэкон говорил о различных видах технического прогресса. Согласно Бэкону, изобретения делятся на две категории: зависящие от общего состояния знаний и потому возможные только при наличии соответствующей научной и информационной основы и чисто эмпирические изобретения, которые могли быть сделаны в любой момент истории. Однако на практике провести это различие бывает непросто. Некоторые на первый взгляд эмпирические изобретения в реальности опирались на мелкие изменения в понимании и восприятии изобретателем своего физического окружения или на появление ключевого материала или компонента, благодаря которому изобретение становилось практичным. Так, Кардуэлл (Cardwell, 1968) указывает, что Бэкон ошибался, считая, что книгопечатание с разборным шрифтом вполне могли изобрести древние греки: в реальности оно основывалось на средневековых достижениях в металлургии. Тем не менее очевидно, что во многих случаях действительно не имеется никаких серьезных причин для того, чтобы данное изобретение было сделано в конкретный момент времени, а не столетиями ранее. Напрашивается заманчивый ответ о том, что все дело в отсутствии соответствующей осознанной потребности или спроса, но также возможно и то, что конкретная инновация прежде просто никому не приходила в голову. В эту категорию можно занести ряд очень полезных и простых средневековых изобретений — таких как тачка или стремя.

У экономистов, исследующих технические изменения, существует богатая традиция проводить различие между изобретениями и инновациями. Шумпетер указывает, что изобретения не всегда сопряжены с инновациями и что именно инновации приносят в капитализм элемент динамики. Согласно этой логике изобретения сами по себе малоинтересны для экономистов. Раттен (Ruttan, 1971, p. 83) предложил отказаться от концепции изобретения и рассматривать его просто как «институционально определенное подмножество тех-

нических инноваций». Опять же, такое различие не всегда бывает полезно. На стадии воплощения изобретение обычно совершенствуется, отлаживается и модифицируется таким образом, что эти мелкие изменения сами по себе становятся изобретениями. Проникновение инноваций в другие экономики также зачастую требует адаптации к местным условиям и в большинстве случаев влечет за собой дальнейший прирост производительности вследствие обучения в процессе работы.

Но прежде чем делать поспешный вывод о том, что изобретения не представляют большого интереса для экономической истории технических изменений, вероятно, было бы полезно уделить этому вопросу чуть больше внимания. Изобретение следует определять как приращение общего множества технических знаний в конкретном обществе, представляющего собой объединение всех множеств технических знаний отдельных индивидов⁴. Можно утверждать, что сама по себе концепция такого множества не содержит в себе смысла, однако в ее отсутствие обесмысливается также почти вся история культуры и интеллектуальной мысли. Более существенно то, что это множество можно объявить несущественным. Те новые знания, которые нигде не применяются, никак не изменяют экономического благосостояния, в то время как шумпетерианский экономический рост главным образом обеспечивается применением *старых* знаний. Выражаясь несколько по-иному, можно сказать, что в каждый конкретный момент времени существует большой разрыв между *средними* и *передовыми* технологиями; сокращение этого разрыва посредством распространения самых передовых технологий, применяемых производителями, обеспечива-

4. Строго говоря, общество, для которого определяется это множество, должно включать в себя все человечество. Но в том случае, когда оно разделено на изолированные части, вероятно, имеет смысл несколько ограничить это множество с тем, чтобы можно было говорить о независимых изобретениях.

ет технический прогресс при отсутствии изобретений. Также техническим прогрессом при отсутствии изобретений является проникновение технологий из развитых стран и регионов в отсталые. Однако не следует делать из этого необоснованный вывод о том, что изобретения не должны занимать центрального места в дискуссиях о связи между развитием техники и экономическим ростом. Любое обсуждение разрыва между средними и передовыми технологиями будет бессмысленным до тех пор, пока мы не получим некое представление о том, откуда вообще берутся передовые технологии. Без дальнейшего расширения имеющихся знаний распространение технологий и сокращение вышеупомянутого разрыва будут сопровождаться снижением отдачи и в конце концов останутся. Таким образом, на нас ложится обязанность рассмотреть те случаи, когда этот процесс не прекратился, и задаться вопросом о том, что было тому причиной.

Иными словами, ключевая предпосылка нашей книги сводится к тому, что изобретения и инновации взаимно дополняют друг друга. В краткосрочном плане такая взаимодополняемость не идеальна; одно вполне возможно без другого. Однако в долгосрочном плане технологически креативные общества должны проявлять как изобретательность, так и новаторство. Без изобретений инновации в конце концов затормозятся и прекратятся, ввергнув общество в состояние застоя. Без инноваций изобретатели не будут иметь точки приложения сил и серьезных экономических стимулов для того, чтобы развивать новые идеи. В третьей части книги будет указано, что такая взаимодополняемость является одной из причин, по которым столь редки технологически креативные общества. Она невозможна без одновременного соблюдения множества различных условий. Изобретения зависят от факторов, определяющих индивидуальное поведение, так как изобретатель в конечном счете одинок в своих попытках создать нечто работоспособное. С другой стороны, инновации

требуют взаимодействия с другими индивидами, зависят от институтов и рынков и потому носят в первую очередь социальный и экономический характер.

Ни один простой ответ на вопрос о том, почему технологическая креативность присуща далеко не всем обществам, никогда не удовлетворит всех до единого. «Простой и всеобъемлющий всеобщий закон эволюции, — писал Гершенкрон (Gerschenkron, 1967, p. 448), — лежит по другую сторону линии, отделяющей серьезные исследования от поверхностных фантазий». Однако мы явно в состоянии сказать нечто большее, помимо простой констатации того, что «всё имеет значение», или выявления самых заметных различий между креативными и некреативными обществами и поиска соответствующих причинно-следственных связей. Корреляция не означает наличия причинности. Ирландский католицизм, центральноафриканский климат, зависимость Юго-Восточной Азии от риса — все эти факторы ошибочно объявлялись причинами отсутствия технологической креативности в данных обществах. Экономический анализ поможет нам установить значение одних факторов, усомниться в роли других факторов и разработать методы оценки факторов, неоднозначных с точки зрения теории.

Таким образом, для того чтобы понять, где и почему наблюдается технологическая креативность, мы должны проводить различие между двумя основными компонентами последовательности «изобретение-инновация». Первым из этих компонентов является то, что технические проблемы влекут за собой борьбу между разумом и материей, то есть связаны с контролем над физической окружающей средой. Как говорится, природа скупно раскрывает свои секреты. Извлечение из нее этих секретов и их последующее использование для получения материальной выгоды составляют сущность любого технологического прорыва. Итог определяется отвагой и хитроумием изобретателя, ограничениями, присутствующими имеющимся у него инструментам и материа-

лам, и сопротивлением законов природы воле изобретателя. Второй компонент носит социальный характер. Для того чтобы внедрить новую технологию, изобретатель должен взаимодействовать со своим окружением, состоящим из конкурентов, клиентов, поставщиков, представителей власти, соседей, быть может, священников. Общество становится технологически креативным при соблюдении трех условий. Во-первых, оно должно иметь кадры изобретательных и предприимчивых новаторов, способных и готовых бросить вызов физическому окружению ради улучшения своей жизни. Какие-либо инновации маловероятны в недоедающем, суеверном или чрезмерно традиционалистском обществе. Во-вторых, экономические и социальные институты должны поощрять потенциальных новаторов, создавая для них нужную структуру стимулов. Отчасти такие стимулы являются экономическими; технологическая креативность более вероятна в том случае, если новатор может рассчитывать разбогатеть. Впрочем, неэкономические стимулы тоже могут сыграть свою роль. Общество может награждать удачливых новаторов орденами, нобелевскими премиями или неосвязаемыми символами престижа. В-третьих, инновации требуют разнообразия и терпимости. В каждом обществе существуют стабилизирующие силы, охраняющие статус-кво. Некоторые из этих сил защищают устоявшиеся кровные интересы, которые могут пострадать в случае внедрения инноваций, а другие просто действуют по принципу «не раскачивайте лодку». Технологической креативности приходится преодолевать эти силы.

Работа по экономической истории технических изменений будет неизбежно содержать даты, имена и географические названия. По самой своей природе рассказ о технологической креативности невозможен без упоминаний о том, кто первый пришел к той или иной идее и кто внес принципиальные исправления и усовершенствования, без которых эта идея не работала. Однако в последние десятилетия историки экономики избега-

ли подобной тематики. Как спрашивает Дэвид (David, 1987): не сводится ли история техники всего лишь к непрерывному накоплению мелких, почти не ощутимых изменений, создаваемых трудом множества почти анонимных людей? Некоторые историки утверждают, что почти все изобретения являются результатом «технического дрейфа» (выражение из Jones, 1981, p. 68), складываясь в основном из мелких, постепенных, анонимных усовершенствований (Rosenberg, 1982, pp. 62–70). В качестве реакции на героические теории изобретательства, приписывающие любые усовершенствования гениальности отдельных личностей, теория дрейфа приобрела заслуженное влияние. Но не слишком ли далеко мы заходим в другую сторону, не придавая значения важным изобретениям, сделанным немногими ключевыми фигурами? Некоторые изобретения — такие как печатный станок, ветряная мельница, часы с гирями — противоречат постепенной модели технического прогресса. В истории всегда происходили — и, вероятно, всегда будут происходить — отдельные крупные технические изменения, ошеломлявшие мир и заставлявшие его поскорее заполучить или сымитировать новинку. Действительно, современные исследования показывают, что сокращение издержек в основном осуществляется благодаря мелким, незаметным, постепенно накапливающимся усовершенствованиям. Но что именно при этом совершенствуется? За появлением практически каждого крупного изобретения следовал процесс обучения, в ходе которого снижались производственные издержки, связанные с использованием новой технологии; но для того чтобы эти издержки снижались, новинку сперва следует изобрести. Взрослый человек, весящий около 150 фунтов, с момента рождения набрал примерно 95% своего веса — следует ли из этого, что зачатие не сыграло никакой роли в его жизни?

При обсуждении различий между мелкими изобретениями, в совокупности оказывающими решающее воздействие на экономический рост, и крупными тех-

ническими прорывами было бы полезно провести аналогию между историей техники и современной теорией эволюции, чем мы займемся в главе 11. Некоторые биологи проводят различие между микромутациями — мелкими изменениями существующих видов и их облика — и макромутациями, в результате которых создаются новые виды. Это различие может дать нам полезную аналогию. Мы будем определять микроизобретения как небольшие, постепенные шаги в сторону совершенствования, адаптации и упрощения уже используемых технологий, снижения издержек, оптимизации форм и функций, повышения надежности и экономии энергии и сырья. С другой стороны, макроизобретения — это такие изобретения, в которых используются новые идеи, не имеющие четких прецедентов и возникшие более-менее с нуля. В смысле численности микроизобретения делаются намного чаще, и именно они обеспечивают основной прирост производительности. Впрочем, макроизобретения занимают столь же важное место в истории техники.

Принципиальной чертой технического прогресса является то, что макроизобретения и микроизобретения не заменяют, а дополняют друг друга. При отсутствии последующих микроизобретений большинство макроизобретений окончили бы свои дни экспонатами в кунсткамерах или набросками в блокнотах. Действительно, бывает так, что автор усовершенствования, позволившего довести до ума то или иное эпохальное изобретение, отбирает всю славу у его непосредственного творца — именно так произошло с паровой машиной, пневматической шиной и велосипедом. Однако если бы не существовало радикальных новшеств, непрерывный процесс совершенствования и оптимизации известных технологий сопровождался бы постепенным снижением отдачи и со временем прекратился бы. Микроизобретения более-менее объяснимы с точки зрения стандартных экономических концепций. Они представляют собой результат поисков и изобретательской ра-

боты и зависят от цен и стимулов. Обучение в процессе работы и использования повышает экономическую эффективность и коррелирует с такими экономическими переменными, как объем производства и уровень занятости. С другой стороны, макроизобретения как будто бы не подчиняются очевидным законам, не обязательно являются ответом на стимулы и в большинстве своем не поддаются попыткам увязать их с экзогенными экономическими переменными. Многие из них появились на свет в результате гениальных озарений, удачи или интуиции. Соответственно, в истории техники сохраняется компонент необъясненного, который невозможно истолковать в чисто экономических терминах. Иными словами, удача и вдохновение тоже важны и потому все зависит от конкретной личности. Исследователи, сомневающиеся в ее значении, нередко отталкиваются от аксиомы о заменимости: если бы автором данного изобретения не был X, им стал бы Y — этот вывод обычно делается на примере многочисленных одновременных изобретений. Но хотя такая закономерность верна в отношении некоторых изобретений, включая телефон и лампу накаливания, того же самого нельзя сказать в отношении множества других важных инноваций.

Если и существует такая сфера, в которой преобладает сверхупрошенная детерминистическая точка зрения, утверждающая, что результаты всегда определяются немолимыми силами, подчиняющими себе индивидов — такими, как законы спроса и предложения или классовая борьба, — то этой сферой является экономическая история техники. Спрашивать, почему крупные прорывы важнее, чем маргинальные улучшения, — все равно что спрашивать, кто выигрывает сражение, генералы или солдаты. Подобно тому, как в военной истории мы прибегаем к таким условностям, как «Наполеон в 1806 г. разбил прусскую армию под Йеной», так же мы можем говорить и о том, что конкретное изобретение было сделано тогда-то или тогда-то. Из подобных заявлений не следует, что приростом производительности в ре-

зультате применения данного изобретения мы обязаны исключительно его непосредственному изобретателю, так же, как из заявления о победе Наполеона над пруссаками не следует, что он в одиночку разгромил всю их армию. Просто нам удобно выстраивать нарратив вокруг конкретного события.

Различие между микро- и макроизобретениями полезно потому, что, как подчеркивают историки техники, в этой литературе рискованно употреблять слово «*первый*». Многие технические прорывы имеют историю, начавшуюся задолго до того, как произошло событие, обычно считающееся данным изобретением, и почти все макроизобретения требовали последующих усовершенствований, без которых оставались неработоспособными. Однако во многих случаях одно-два конкретных события *действительно* сыграли решающую роль. Без таких прорывов технический прогресс в конце концов остановился бы. В работе Ашера (Usher, 1954, p. 64) подчеркивается значение «искусства интуиции», и хотя Ашер утверждает, что нет ни одного индивида, без которого не могла бы обойтись история техники, в то же время он признает, что процесс ее развития задавался индивидуальными свойствами и различиями.

В настоящем исследовании мы будем вынуждены ограничиться небольшим числом примеров, взятых, в первую очередь, из экономической истории Запада. Прежде чем перейти в третьей части книги к обсуждению вопроса о том, почему одним обществам была присуща креативность, а другим — нет, необходимо дать обзор фактов. Авторы работ об экономических аспектах технического прогресса слишком часто рассматривают эту тему в отрыве от конкретного исторического материала или прибегают к искусственным построениям, вырывая из контекста те события и факты, которые соответствуют авторской интерпретации. Стремление к обобщениям можно сдерживать путем более широкого освещения основных тенденций в истории техники. Соответственно, во второй части мы вкратце рассмотрим

важнейшие технические достижения последних двух с половиной тысячелетий. Подобное начинание выглядит абсурдно амбициозным: изданная в конце 1950-х гг. 5-томная «История техники» под редакцией Чарльза Сингера и др. содержит 4000 страниц текста и тем не менее обычно считается неполной. Поэтому мы затронем лишь самые важные инновации в ограниченном числе областей, оставляя за рамками рассмотрения доисторический период и раннюю древность, а также эпоху после 1914 г. Но и промежуток между 500 г. до н. э. и 1914 г. настолько богат свидетельствами и фактами, что нам удастся лишь отделить несколько крошек с поверхности глубокого и мощного пласта. В стремлении как-то совладать с изобилием материала я был вынужден в целом игнорировать сферы гражданского строительства, архитектуры, медицины и военной техники, уделяя внимание лишь тем достижениям, которые зримо влияли на уровень жизни.

По итогам исторического обзора мы проведем анализ различий между креативными и некреативными экономикami. В главе 7 будет рассмотрен ряд объяснений, ссылающихся на всевозможные факторы — от питания до религии, от институтов до ценностей и менталитетов. С целью оценить значение этих факторов, в главах 8, 9 и 10 на их основе мы сделаем три сопоставления, сравнив античное общество со средневековым Западом, Китай с Европой после 1400 г. и Великобританию в период промышленной революции с остальной Европой и с Великобританией в эпоху ее постепенного упадка как мирового лидера в технологиях — то есть противопоставим технически динамичные общества тем обществам, которые не обладали такой динамикой.

Четвертая часть книги будет посвящена динамике технических изменений. Конкретно — мы зададимся вопросом о том, происходят ли технические изменения рывками и скачками, или же этот процесс носит непрерывный и постепенный характер. Для того чтобы ответить на этот вопрос, мы проведем аналогию между

техническим прогрессом и биологической эволюцией, а также попытаемся применить к анализу техники концепцию периодически нарушаемого равновесия.

История технического развития открыта для обвинений в излишнем оптимизме, в том, что ее принято излагать как историю прогресса, усовершенствований, неудержимого движения от бедности к богатству и процветанию. Но думаю, что с учетом разницы между уровнем жизни на Западе в наши дни и тремя веками ранее подобные обвинения не выдерживают критики. Э. Г. Карр (Carr, 1961) рассказывает, что царь Николай I издал указ, которым запрещал использовать слово «прогресс» в своей империи, и едко добавляет, что западные историки с сильным запозданием последовали примеру царя. Едва ли кто станет всерьез спорить с тем, что история использования людьми своей способности манипулировать законами природы с целью решения экономических задач носит однонаправленный характер и заслуживает названия «прогресс». Если абстрагироваться от того, как техническое развитие влияло на такие внеэкономические понятия, как свобода и братская любовь, то с точки зрения экономиста, судящего об истории сквозь призму вековой борьбы с бедностью и тяготами, технические изменения достойны слова «прогресс». Разумеется, если технические изменения со временем приведут к физическому уничтожению нашей планеты, выжившие вряд ли захотят называть историю техники «прогрессом». Однако до тех пор я считаю себя вправе пользоваться этим термином — не в телеологическом смысле движения к четко обозначенной цели, а в более ограниченном смысле направленности. Если ту же самую корзину товаров можно производить по более низкой цене — при условии, что она точно измерена и включает такие социальные издержки, как ущерб, наносимый окружающей среде, — то термин «прогресс» окажется здесь вполне уместен.

И все же ключевой посыл нашей книги будет не столь однозначно оптимистичным. История дает нам относи-

тельно мало примеров технически прогрессивных обществ. Наш собственный мир представляет в этом плане хотя и не единственное, но все же исключение. По большому счету, силы, противодействовавшие техническому прогрессу, обычно брали верх над силами, желавшими изменений. Поэтому исследование технического прогресса — это исследование исключений, тех случаев, когда в результате редкого стечения обстоятельств нарушалась нормальная тенденция обществ к сползанию в застою и равновесие. Беспрецедентным процветанием, доступным в наши дни для значительной доли человечества, мы в гораздо большей степени обязаны случайным факторам, чем обычно думают. Более того, технический прогресс похож на хрупкое и уязвимое растение, живущее лишь в подходящем окружении и климате и вдобавок почти всегда недолговечное. Он чрезвычайно сильно зависит от социальных и экономических условий и легко может быть остановлен посредством относительно мелких внешних изменений. Если история техники и преподносит нам какой-то урок, то он состоит в том, что шумпетерианский рост, как и прочие виды экономического роста, не стоит и не следует воспринимать как данность.

Часть II
Хроника

Античная эпоха

В ПЛОТЬ до недавнего времени считалось общепризнанным, что античные цивилизации (греческая, эллинистическая и римская) не достигли больших успехов в технологическом плане (Finley, 1965, 1973; Hodges, 1970; Lee, 1973). Но как указывали в последние годы некоторые критики, такое суждение чрезмерно сурово (K. D. White, 1984). Во-первых, в античную эпоху был осуществлен ряд важных технологических прорывов, масштабы которых, скорее всего, недооцениваются историками вследствие скудости литературных и археологических свидетельств. Во-вторых, представление о том, что можно не только восхищаться научными знаниями как таковыми, но и применять их для решения конкретных задач, несомненно, уже существовало в те годы, получив особенно широкое распространение среди эллинистических механиков. В-третьих, как подчеркивается в работе Финли (Finley, 1973, p. 147), в определенном смысле суровое суждение об античных обществах представляет собой попытку навязать нашу собственную систему ценностей обществу, не заинтересованному в экономическом росте. «До тех пор пока имелась возможность вести приемлемый образ жизни, что бы под ним ни понималось, на первом месте стояли иные ценности». В тех сферах, которые имели для них наибольшее значение, греки и римляне добились колоссальных результатов. Чиполла (Cipolla, 1980, p. 168) к этому добавляет, что наша собственная цивилизация механистична по своей природе и потому мы в значительной

степени склонны отождествлять технологии с машинами, в то время как античная цивилизация была ориентирована на другие виды технологий. Ряд важных технологических достижений античной цивилизации принадлежит к тем аспектам технологии, которые носят нефизический характер: так, деньги, алфавит, стенография и геометрия связаны скорее со сферой информационных процессов, нежели со сферой физического производства. И даже достижения в физической сфере по большей части относились к строительству и архитектуре, а не к механическим устройствам. Тем не менее наша оценка античных обществ отражает в себе инстинктивное разочарование цивилизацией, отмеченной такими триумфами в литературе, науке, математике, медицине и в области политической организации¹. Даже в таких немеханических сферах технологии, как химия и сельское хозяйство, достижения античного мира кажутся менее значительными по сравнению с его предполагаемым потенциалом.

Технический прогресс в античном мире — особенно в римскую эпоху — обслуживал в первую очередь не частный, а общественный сектор. Римские вожди приобретали популярность и политическое влияние, осуществляя удачные общественные проекты. История Рима — и в первую очередь Римской империи — позволяет оценить значение таких людей, как Агриппа и Аполлодор, которые помогали своим покровителям (соответственно Августу и Траяну) в проведении масштабных общественных работ. Столицы цивилизованной Европы в 1800 г. не имели таких мощных улиц, канализации,

1. Напротив, на ранний период железного века (с 1100 по 500 гг. до н. э.), помимо освоения производства железа, приходятся также изобретение большинства плотницких инструментов (токарного станка, пилы, гвоздей), ножниц, косы, топора, кирки и лопаты, создание ручной мельницы (для размол зерна и руды) и усовершенствования в конструкции кораблей и повозок.

водопровода и пожарной охраны, какими мог похвастаться Рим в 1000 г. Однако за сельское хозяйство, производство и услуги отвечал главным образом частный сектор, достижения в котором были малочисленными и медленно внедрялись. Главными сферами, в которых прославились греки и римляне, являлись гражданское строительство, архитектура и гидравлика. Водопроводы для доставки свежей воды и ливневая канализация появляются в Греции уже в первые века античной эпохи². Римская империя, располагавшая колоссальными ресурсами, подняла строительство в общественном секторе до недостижимых высот, несмотря на то что в большинстве ее строительных достижений, включая дороги и акведуки, использовались существовавшие технологии. Первый римский водопровод был сооружен Аппием Клавдием в 312 г. до н. э., а к I–II вв. н. э. Рим уже имел беспрецедентно сложную систему водоснабжения³. Также на высоком уровне находились канализация и вывоз отходов. И в жилых домах, и в банях применялось центральное отопление. Описывая городскую уклон римских технологий, Ходжес (Hodges, 1970, p. 197) приходит к выводу о том, что «римский город был более интересен масштабами их применения, нежели их прогрессивностью».

2. Первый из подобных крупных проектов, Самосский акведук, был построен Эвпалином из Мегары около 600 г. до н. э. Он подавал воду из озера в город по туннелю длиной примерно в милю и диаметром в 8 футов.

3. К тому моменту, когда смотрителем водопровода стал Фронтин (сочинения которого написаны в 97–104 гг.), многие дома в Риме имели горячее и холодное водоснабжение. Такое хитроумное изобретение, как свинцовые трубы, позволяло экономить дефицитный строительный материал, но вполне могло оказывать серьезное негативное воздействие на здоровье населения. Интересно, что римские авторы вполне осознавали проблему отравления свинцом, но к их предупреждениям не прислушивались и угроза свинцового отравления была вновь осознана лишь в эпоху Бенджамина Франклина (K. D. White, 1984, p. 164–165).

Не меньшее внимание в Риме уделялось инфраструктуре сухопутного транспорта: дороги и мосты, построенные римлянами, по праву вызывают восхищение в качестве одного из их величайших достижений. Успехи в этой сфере главным образом опирались на изобретение цемента, которое Форбс (Forbes, 1958b, p. 73) называет «единственным великим открытием, которое можно приписать римлянам»⁴. Экономическое значение римских дорог не следует преувеличивать. До позднего Средневековья дожили те из них, которые были заброшены, в то время как большинство дорог Галлии в условиях плотного движения и отсутствия ремонта пришло в негодность. Римские дороги строились в военных целях, и их использование населением для торговых перевозок носило случайный характер (Leighton, 1972, p. 48–60). Власти поздней империи накладывали строгие ограничения на вес грузов, допущенных к перевозке, и в отсутствие таких усовершенствований, как конская упряжь, подковы и телеги, экономическое значение дорог, вероятно, сводилось к транспортировке легких и ценных грузов. Римские дороги имели крутые уклоны, не создававшие особых проблем при передвижении пехоты и перемещении легких грузов, но сильно осложнявшие коммерческие перевозки⁵. При строительстве мостов и акведуков римляне использовали революционную технологию бетонных арок и опор, принимавших

4. Эта репутация является не вполне заслуженной, поскольку цемент использовался еще в Малой Азии до того, как стал известен в Риме. Однако римляне достигли таких успехов в его применении и так строго контролировали его качество, что вполне могли считаться авторами этой технологии. Характерной особенностью римского строительства было использование водостойкого цемента, в наши дни известного как «пуццолан» — он изготовлялся из вулканического пепла, добывавшегося под Неаполем.

5. Затраты на перевозку товаров по суше оставались примерно в 20 раз выше, чем стоимость их транспортировки морем (Greene, 1986, p. 40).

на себя тяжесть постройки. Некоторые из этих акведуков — например, знаменитый Пон-дю-Гар под Нимом — уцелели. Другие — такие как деревянный мост на рамных опорах, за десять дней наведенный войсками Юлия Цезаря через Рейн (в 55 г. до н. э.) — известны нам лишь по описаниям.

Кроме того, техническая изобретательность обеспечивала прогресс в таком секторе общественной сферы, как сооружение военных машин. Военная техника в целом не является предметом нашего рассмотрения, однако следует отметить, что и греческие, и римские военные технологии представляли собой одну из немногих областей успешного сотрудничества между наукой и практикой⁶. Как ни странно, римляне не внесли особых усовершенствований в греческие и эллинистические военные машины, хотя широко их применяли и делали их все более крупными и мощными.

В отношении того, что мы сегодня называем машинами, вклад античного мира, особенно эллинистической цивилизации, заключался в полном осознании значения таких механических элементов, как рычаг, клин и винт, а также различных элементов трансмиссии — храповика, шкива, шестерни и кулачка. Однако они находили применение главным образом в военных машинах и хитрых игрушках, обычно строившихся ради забавы, а не с какой-либо практической целью. Многие из этих идей были забыты на тысячелетия. Возможно, самым блестящим античным изобретателем и инженером, чьи работы дошли до нас, был Герон Александрийский, живший примерно в конце I в. (Landels, 1978, p. 201). В число устройств, приписываемых Герону, вхо-

6. Широко известна история о том, как Архимед помогал строить боевые машины в тщетной попытке защитить свои родные Сиракузы от римской армии (Nascker, 1968). Другими инженерами, внесшими важные усовершенствования в конструкцию катапульт, были Ктесибий (III в. до н. э.) и Филон Византийский (около 180 г. до н. э.).

дят эолипил — практичная паровая машина, применявшаяся для открывания храмовых дверей, — торговый автомат (для продажи святой воды в храме) и диоптра — прибор, аналогичный современному теодолиту, используемому в геодезии и строительстве, и состоявший из угломерного инструмента, совмещенного с уровнем. Большинство изобретений Герона в лучшем случае предназначалось для развлечения. То же самое можно сказать о жившем в III в. до н. э. Ктесибии, которого иногда называют александрийским Эдисоном. Считается, что Ктесибий изобрел гидравлический орган, металлические пружины, водяные часы и поршневой насос.

Новый свет на технические достижения эллинизма позволяет пролить недавнее открытие знаменитого Антикитерского механизма, найденного среди груза корабля, затонувшего неподалеку от Крита. Этот механизм представляет собой чрезвычайно сложное устройство для астрономических вычислений, созданное в I в. до н. э. Дерек Прайс, осуществивший его реконструкцию, призвал историков к «полному пересмотру наших представлений о древнегреческой технике. Люди, построившие его, могли сконструировать едва ли не любое механическое устройство, какое только могло им понадобиться» (Price, 1975, p. 48). Пожалуй, это чересчур смелое утверждение. В реальности Антикитерский механизм доказывает лишь то, что эллинистические народы обладали более широкими навыками использования зубчатых колес и прикладной геометрии, чем ранее считалось возможным, и то, что их астролябии (изобретенные во II в. до н. э.) являлись механически сложными устройствами. Как демонстрирует Антикитерский механизм, античная цивилизация была в состоянии строить хитроумные астрономические приборы и умела сооружать намного более сложные зубчатые механизмы, чем прежде полагали. Тем не менее этот механизм был не более чем приспособлением, позволявшим воспроизводить движение Луны, Солнца и планет в научных и, вероятно, астрологических целях. Насколько

мы можем судить, он не приносил непосредственной экономической пользы, а по мнению одного исследователя Античности, та специфическая область конструирования, которая позволила создать Антикитерский механизм, лежала в стороне от магистрального русла изобретений той эпохи и не оказала на него заметного влияния (Brumbaugh, 1966, p. 98)⁷. Судя по этому открытию античная цивилизация обладала интеллектуальным потенциалом для сооружения сложных технических устройств. Другой вопрос, почему этот потенциал столь слабо использовался в целях экономического прогресса. К теме техники в греко-римском мире мы еще вернемся в третьей части.

Одной из тех сфер, в которую эллинистическая и римская цивилизации внесли долговечный вклад, являлись водоподъемные устройства и насосы. В Античности широко использовались насосы всевозможных конструкций — для ирригации, осушения шахт, тушения пожаров и откачки воды из корабельных трюмов. Поршневые насосы, известные римлянам и применявшиеся ими, имели серьезный недостаток: их приходилось погружать в воду, что затрудняло их установку и эксплуатацию. Но такое очевидное дополнение к поршневому насосу, как всасывающий насос, было изобретено лишь в XV в. (Oleson, 1984; Landels, 1978, ch. 3). Строительство водоподъемных устройств привело к ряду достижений в механике — таких как изобретение трансмиссии (шестерни, кулачки и цепи). Однако выявляемые позитивные экстерналии, создававшиеся водоподъемными механизмами в других отраслях, немногочисленны, а некоторые важные приспособления —

7. Некоторые исследователи, включая Прайса и Кардуэлла, считают, что побочным результатом использования астрономических инструментов стало случайное изобретение часов, позволившее измерять время. Эта теория убедительно опровергается в Landes (1983, p. 54–57).

например, кривошип или маховик — остались неизвестны в античном мире.

Прогресс в частном секторе — включая сельское хозяйство, текстильное производство и применение энергии и материалов — за период с 500 г. до н. э. до 500 г. н. э. был весьма скромным. Новые идеи не то чтобы совершенно отсутствовали, но их распространение и применение носило спорадический и замедленный характер. С чисто экономической точки зрения наиболее важным техническим прорывом являлось открытие принципа рычага, приписываемое Архимеду. Из сочетания рычага с принципом спирали родился винт, который использовался как деталь зубчатых передач, крепежное и прижимное приспособление. Эти устройства объединяет известный древним инженерам закон о том, что малое усилие, приложенное издали, по своему воздействию равносильно большому усилию, приложенному вблизи. Винный пресс, основанный на этом принципе, впервые упомянут около 70 г. Плинием, считавшим, что его изобрели греки веком раньше. Еще одно изобретение — сложный блок — позволяло строить краны для подъема тяжелых грузов. В какой степени этими инновациями мы обязаны непосредственно Архимеду, неясно: вполне вероятно, что здесь, как и во многих других случаях, теория следовала за практикой, а не наоборот⁸.

В металлургии и горнорудном деле главными достижениями являлось использование колес с черпаками и Архимедова винта. Греки разработали более передовые методы отделения руды от пустой породы, но по большому счету в этой области после 300 г. до н. э. не появилось никаких заметных новшеств. Процесс производства железа в Греции и Риме был медленным и позволял выпускать продукцию неодинакового, а следовательно, низкого качества. Из руды путем нагрева в дом-

8. Примеры использования блоков встречаются и в более ранние эпохи. По-видимому, подобное устройство было известно уже ассирийцам в VIII в. до н. э.

нице выжигали углерод, а затем, удаляя оставшиеся загрязнения, получали мягкое малоуглеродистое железо. Главной проблемой, стоявшей перед древними металлургами, была невозможность достичь температуры плавления железа. Губчатые, тестообразные чушки, выходявшие у античных кузнецов, следовало подвергать ковке и новому нагреву, чтобы сделать металл более-менее пригодным для применения. Самая качественная, булатная, сталь (вуц) поступала из Индии, хотя металлурги Запада тоже умели производить сталь низкого качества (Barraclough, 1984, vol. 1, p. 19). Вероятно, кузнечные мехи были в ходу уже в IV в., но чугун оставался неизвестен, потому что кузнецы так и не научились получать достаточно высокие температуры. В этом отношении античный мир и раннее Средневековье отставали от Китая, где искусство чугунного литья появилось еще в III в. до н.э. Насколько мы можем судить, греки и римляне не достигли особого прогресса в металлургии, несмотря на широкое использование железа. Свидетельства о достижениях в этой сфере спорны и относятся главным образом к Восточной Европе и Великобритании, будучи нетипичными для средиземноморского мира, находившегося под властью Рима (Tylecote, 1976, p. 53). Максимум что можно сказать о Римской империи — то, что в ней шло распространение передовых технологий, а также, возможно, строились чуть более крупные печи и внедрялись некоторые другие мелкие усовершенствования.

Достижения в области судоходства тоже были скромными. Мореплавание имело принципиальное значение для средиземноморских экономик в античное время, когда главным источником процветания являлась торговля, то есть экономический рост смитианского типа. Возможность для этого роста создавалась специализацией и сложными сетями межрегиональной торговли, опиравшимися на колонизацию, а впоследствии — на политический контроль со стороны Рима и его юридическую систему. Античные торговые корабли несли лишь

один прямой парус, в дополнение к которому иногда поднимались небольшие марсели. Миф о том, что античные корабли не могли ходить против ветра, к настоящему времени успешно разоблачен (Casson, 1971, p. 273–274; K. D. White, 1984, p. 144). Даже корабли с прямым парусом могли перемещаться навстречу ветру, хотя они были предназначены главным образом для движения по ветру и, вероятно, не могли ходить против ветра круче, чем «на один пункт», то есть под углом не более чем в 79° . Самый удобный способ маневрировать против ветра — использовать косые паруса (то есть расположенные параллельно килю). Историки в течение многих лет были убеждены, что греки и римляне не знали других парусов, кроме прямых. Однако Кэссон утверждает, что античной цивилизации было известно не менее трех разновидностей косых парусов: гафельный парус, треугольный латинский и четырехугольный латинский парус. У нас есть убедительные свидетельства существования этих парусов, но ясно также, что они не могли использоваться на крупных торговых кораблях, вследствие чего преобладающим типом оставались примитивные прямые паруса. Предполагается, что распространению косоугольного парусного вооружения могли препятствовать нехватка подходящих деревьев для более высоких мачт, меньшая скорость кораблей с косыми парусами при движении по ветру и проблемы с переустановкой парусов при движении галсами (зигзагообразный курс, позволяющий судну идти против ветра). Считается, что управлять судном с помощью весел было трудно, хотя такой авторитет, как Кэссон (Casson, 1971, p. 224), не согласен с этим, а римляне достигли здесь некоторого прогресса, используя шарнирное устройство, несколько облегчавшее маневрирование.

Достижения в сельском хозяйстве носили главным образом местный характер. Орудия и приемы, применявшиеся в римские времена, демонстрируют большое разнообразие при адаптации примитивных приемов средиземноморского сельского хозяйства к местным

условиям. Изобретения, направленные на экономию труда, были немногочисленными. Уайт (K. D. White, 1984, p. 58) заключает, что «техническое развитие римского сельского хозяйства происходило повсеместно, однако инновации оставались редкими». Мы знаем, что римляне разводили крупный рогатый скот в том числе ради удобрений, но проблема кормов для скота так и не получила удовлетворительного решения. Успехи римлян в сфере гидравлики отчасти применялись при осушении и ирригации земель, однако их вклад бледнеет на фоне грандиозных ирригационных работ, проводившихся двумя тысячелетиями ранее в Египте и Месопотамии.

Все новшества, внедрявшиеся в сельском хозяйстве, приходили из-за пределов средиземноморского региона. Галлы и другие кельтские народы совершенствовали приспособления для жатвы, и у нас есть несколько знаменитых, но сомнительных описаний примитивных жаток и молотилок. Однако нет никаких свидетельств о том, что эти устройства широко применялись или способствовали серьезному росту производительности⁹. Деревянные бочки — одно из важнейших практических изобретений того времени, — были неизвестны грекам и стали для римского мира «подарком северных народов» (Forbes, 1956b, p. 136). Около 370 г. анонимный римский автор отмечал, что «хотя варварские народы не знают, как достичь славы и влияния посредством красноречия и службы, им отнюдь не чужды по-

9. Жатка, изобретенная галлами и называвшаяся *vallus*, по сути представляла собой повозку с укрепленными на ее передней кромке заостренными зубьями, срезавшими колосья. В последний раз она упоминается Палладием в V в., и ее последующее исчезновение может свидетельствовать о том, что она была не очень эффективной (K. D. White, 1967; 1969). В античную эпоху также были изобретены римский серп и длинная британская коса (K. D. White, 1984, p. 49–50). Однако римские серпы встречаются так редко, что их датировка долгое время ставилась под сомнение (Lynn White, 1972, p. 149).

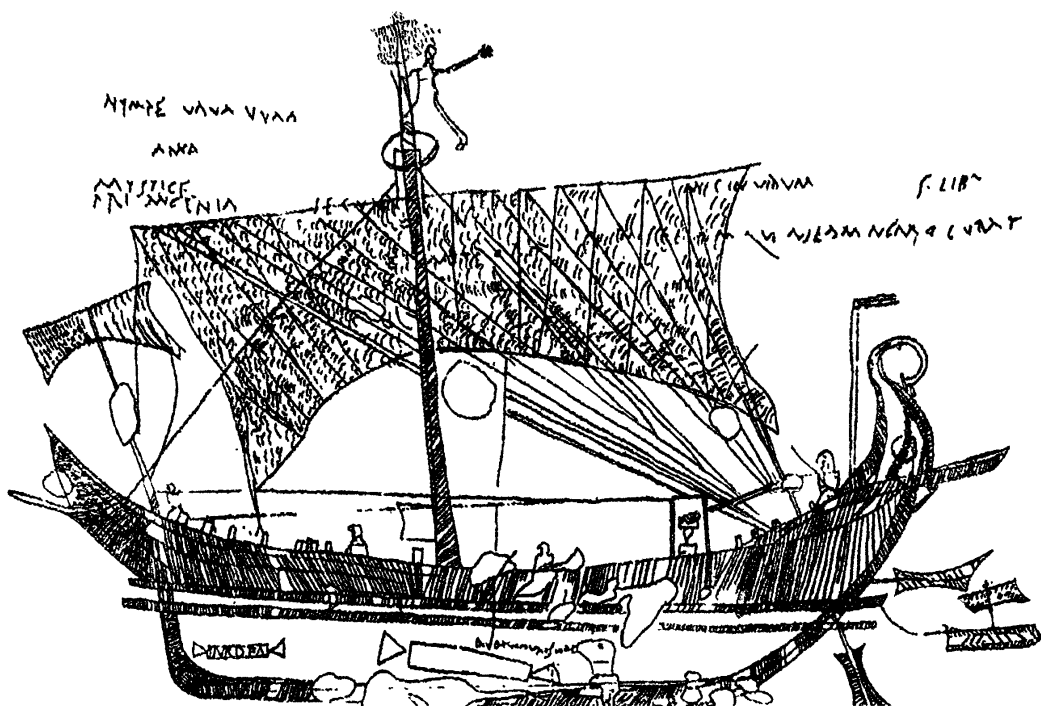


РИС. 1. Римский торговый корабль с прямым парусом (изображение на стене дома в Помпеях)

Источник: Maiuri 1958: Maiuri A., «Navalia pompeiana», Rendicoli della Accademia di Archeologia di Napoli 33, 7–34.

знания в механике и изобретательность, позволяющие получать помощь от природы» (цит. по: De Camp, 1960, р. 272). Кроме того, кельтским ремесленникам приписывали изобретение эмали, колеса со спицами, мыла, различных сельскохозяйственных усовершенствований и передовых методов обработки железа. Как показывают археологические свидетельства, в кельтских повозках использовались пеньки из твердой древесины в промежутке между втулкой и осью, облегчавшие вращение колеса наподобие шариковых подшипников (Cunliffe, 1979, р. 118).

Одним из самых знаменитых изобретений, сделанных в Римской империи, было водяное колесо. Норию — водоподъемное устройство, приводящееся в движение силой самого потока, — впервые описал еще Филон

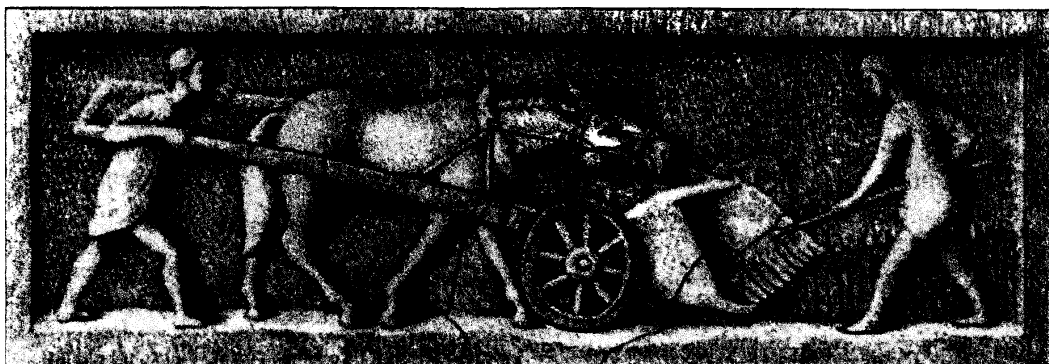


РИС. 2. Реконструкция жатки, известной как *vallus* и использовавшейся в Европе в поздний римский период

Источник: Реконструкция жатки типа I (*vallus*).
Н. Cüppers, взято из: K. D. White, *Greek and Roman Technology*, Cornell University Press.

Византийский в III в. до н. э. Однако нория — это не настоящее водяное колесо, да и подлинность соответствующего отрывка ставится под сомнение. Водяное колесо, вращающее жернова посредством зубчатой передачи, было описано римским инженером Витрувием, жившим во второй половине I в. до н. э. Существуют и более ранние упоминания, но в них не приводится никаких подробностей о конструкции этого механизма¹⁰. Вплоть до IV или V в. водяные колеса, очевидно, применялись лишь для помола муки, да и то не слишком ши-

10. Антипатр из Фессалоник в 85 г. до н. э. сочинил следующую эпиграмму:

«Бросайте работу, женщины, мелющие муку.

Можете спать допоздна, даже если венценосные петухи
возвестят зарю.

Деметра велела (речным) нимфам

Взять на себя ваш труд,

И те, прыгая вниз с вершины колеса,

Заставляют крутиться его ось и спицы,

Которые вращают тяжелый вогнутый нисарийский жернов».

(цит. по: Usher, 1954, p. 165).

роко. Возможно, причина заключалась в том, что Витрувиевы водяные колеса были подливными, а значит, не очень эффективными, хотя обычно более дешевыми в постройке и лучше приспособленными к средиземноморской топографии. Более эффективные наливные колеса, действующие за счет силы тяжести, а не импульса водяного потока, появились на Западе, возможно, еще в III в. (Reynolds, 1983, p. 26), а в середине V в. они уже точно использовались в Афинах (Blaine, 1976, p. 166).

Таким образом, при оценке античной техники важно не преувеличивать отсутствие достижений. Наши суждения в этой сфере могут быть односторонними, поскольку многие устройства, сделанные из дерева и кожи, не дошли до нас. Большинство античных авторов не уделяло большого внимания технике, что может быть само по себе многозначительно¹¹. Способна ли археология пролить дополнительный свет на эту проблему? Судя по недавним археологическим открытиям, водяные колеса были распространены шире, чем можно судить исходя из литературных источников (Wikander, 1985). Знаменитые корабли, извлеченные в 1929 г. из осушенного озера Неми, были оснащены парой поворотных платформ на роликах, имеющих сходство с современными подшипниками: ничего подобного в дальнейшем не появлялось вплоть до XVI в.¹² По словам Прайса, то, как

11. Даже Витрувий, самый оригинальный из античных авторов, затрагивавших вопросы механики, и прекрасно осознававший влияние изобретений на уровень жизни, рассматривает механические устройства лишь в последней из десяти книг своего труда «De Architectura», да и та почти наполовину посвящена описаниям военных машин. Более того, он добавляет: «Существует бесчисленное множество других механизмов, распространяться о которых нет нужды, ибо они встречаются на каждом шагу: это жернова, мехи, повозки, одноколки, токарные станки и тому подобное» (Vitruvius, Book X, ch. 1, #5; 1962, p. 279).

12. На этих кораблях также имелся насос с ковшовой цепью, конструкция которого, по мнению некоторых исследователей, включала маховик и ворот. Линн Уайт (Lynn White, 1962, p. 106) считает такую интерпретацию археологической фантазией.

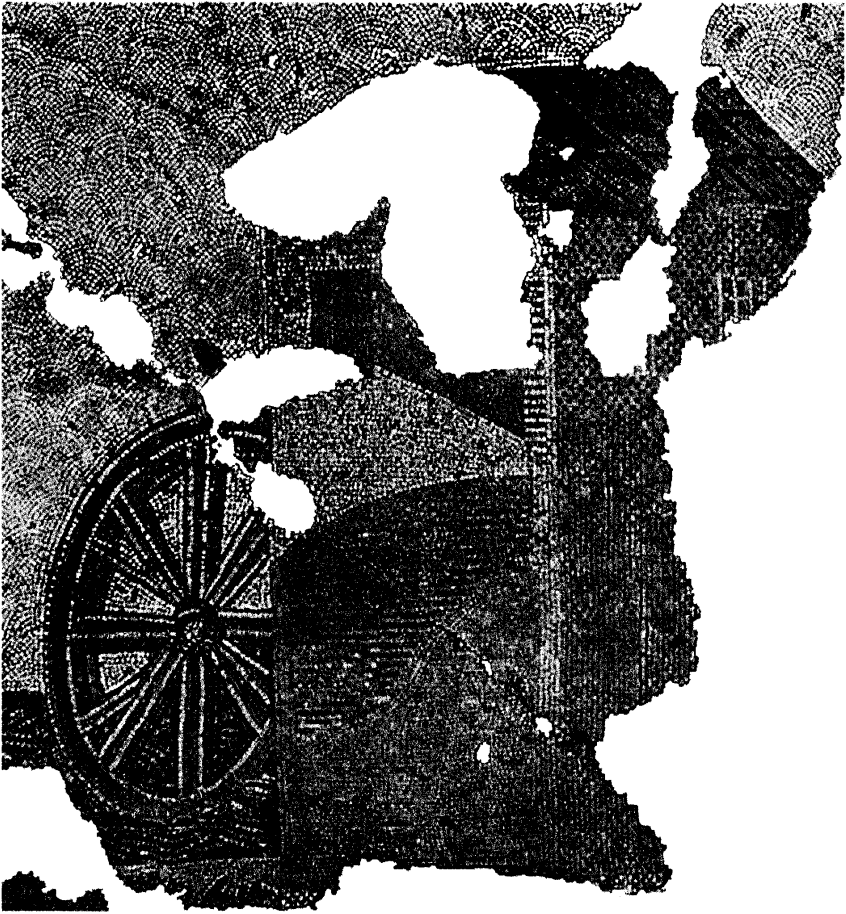


РИС. 3. Византийская мозаика с изображением водяного колеса, описанного у Витрувия
 Источник: Judith Newcomer, из Henry Hodges, Technology in the Ancient World, Penguin.

мы поступаем с древней цивилизацией, равнозначно попытке реконструировать современное общество на основе нескольких зданий и картин. «Техника тогда была, просто она не уцелела, в отличие от великих мраморных зданий... и постоянно копировавшихся литературных творений высокого уровня» (Price, 1975, p. 48). Тем не менее автор недавней работы (Greene, 1986, p. 170) резюмирует: «[римская] экономика не выказывала признаков прогресса или развития, а лишь интенсивнее использовала все то, что уже существовало у греков и в республиканском Риме». Более того, как указывает Финли (Fin-

ley, 1965, p. 29), существует и противоположный перекокс, связанный с тем, что появление изобретения не обязательно тут же приводит к заметному росту производительности, невозможному без широкого внедрения новинки. Античное общество было изобретательным, оригинальным и любознательным, но не отличалось особой технологической креативностью. Оно соорудило водяные колеса, но практически не использовало гидроэнергию. Оно строило корабли с косым парусным вооружением, но в очень небольшом количестве. Оно достигло серьезных успехов в производстве стекла, было относительно грамотным и понимало, что лучи света можно искривлять, но так и не додумалось до идеи очков¹³.

В тех случаях, когда античному обществу удавалось создать новую технологию, оно зачастую не имело способности или желания для того, чтобы довести ее до логического завершения и извлечь из нее экономическую выгоду, близкую к максимальной. Многие изобретения, которые могли бы повлечь за собой серьезные изменения в экономике, остались непригодными для практического применения либо были забыты и утрачены. В некоторых случаях прорывные инновации, не получившие широкого распространения, пришлось изобретать повторно¹⁴. Парадокс заключается в том, что таких утрат следовало бы ожидать в неграмотных обществах с низкой географической мобильностью, а не в античной цивилизации с ее относительной грамотностью, мобильностью и распространением всевозможных идей посредством перемещения людей и книг. Разумеется,

13. Сенека отмечал, что если смотреть на текст сквозь стеклянный шар, наполненный водой, то буквы выглядят крупнее и отчетливее (цит. по: De Camp, 1960, p. 274).

14. Так, римлянами было вновь изобретено центральное отопление, явно использовавшееся в юго-западной Анатолии в 1200 г. до н. э. Сенека сетовал на то, что «многие открытия, сделанные прежними поколениями, ныне утрачены» (цит. по: De Camp, 1960, p. 180, 275).

свою роль могли сыграть иные факторы, помимо отсутствия интереса к технике. Во-первых, вполне может быть, что многие изобретения были неработоспособными или не могли использоваться в достаточных масштабах из-за нехватки квалифицированного труда и нужных материалов. Во-вторых, многие древние цивилизации до основания разрушались в ходе войн, вследствие чего разработанные ими технологии, нашедшие воплощение в различных приспособлениях или описанные в книгах, были просто утрачены. В-третьих, как указывает Де Камп (De Camp, 1960, p. 180), число инженеров и изобретателей было в ту эпоху невелико и они нередко старались сохранить свои изобретения в секрете, унося их с собой в могилу. Как мы видели, в античное время могли быть известны кривошип, латинский парус, жатка и подшипник, не оказавшие, однако, заметного влияния на экономику. Из этого отнюдь не следует, что античная экономика была примитивной, бедной и неспособной к росту. Но источником ее роста являлись те факторы, которыми прославились греки и римляне: организация, торговля, порядок, использование денег и закон. Рост такого типа способен принести обильные плоды, и так оно и было в действительности. Однако если политическая основа такого роста подвергается потрясениям, то процветанию, за которым стоит исключительно экономический рост смитианского типа, быстро приходит конец.

И все же при всем вышесказанном остается непонятно и даже загадочно, почему такая развитая торговая экономика, сильно зависевшая от транспорта и мускульной силы, усилиями ремесленников и пищевой индустрии обслуживавшая многочисленное городское население, так и не сумела найти довольно очевидные решения технических проблем, с которыми не могло не сталкиваться античное общество. Многие из этих проблем были решены в первые века эпохи, известной нам как Средневековье. К этому вопросу мы вернемся в третьей главе.

ГЛАВА 3

Средние века

СРЕДНИЕ века принято разделять на ранний период, приблизительно с 500 г. до 1150 г., и поздний период, примерно с 1150 по 1500 г. В эпоху раннего Средневековья, которое до сих пор иногда называют темными веками, Европа сумела преодолеть ряд технологических барьеров, перед которыми спасовали римляне. Эти достижения тем более поразительны, что в раннесредневековой Европе отсутствовали многие факторы, которые обычно считаются ключевыми условиями технического прогресса. В частности, в 500–800 гг. экономическая и культурная среда в Европе была чрезвычайно слабо развита по сравнению с античным периодом. Грамотные люди встречались редко, а высшие классы посвящали себя тонкому искусству взаимного истребления с еще большей целеустремленностью, чем это делали римляне. Торговля и связь независимо от расстояния практически отсутствовали. Дороги, мосты, акведуки, порты, виллы и города Римской империи разрушались. Охрана правопорядка, как и безопасность жизни и собственности, находились на чрезвычайно низком уровне, в то время как Европу опустошали набеги, своей частотой и свирепостью превосходившие все, с чем приходилось сталкиваться римским гражданам. И все же к концу «темных веков», в VIII и IX в., европейское общество начало проявлять первые признаки того, что со временем переросло в безудержный поток технологической креативности. И это были не забавные игрушки александрийских инженеров и не боевые машины Ар-

химеда, а полезные орудия и идеи, снижавшие тяготы повседневного труда и повышавшие материальное благосостояние населения даже тогда, когда его численность после 900 г. начала возрастать. Если мы сравним технический прогресс за семь столетий между 300 г. до н. э. и 400 г. н. э. и прогресс за семь столетий между 700 и 1400 г., то мигом избавимся от всяких предубеждений по отношению к Средним векам.

Западная средневековая техника опиралась на три источника: античную эпоху, исламские и азиатские общества и креативность самой Европы. По-видимому, средневековых инженеров не интересовало происхождение конкретных идей — в большинстве случаев нам неизвестное; главным для них было то, что эти идеи работали. Порой то, что выглядело внедрением уже известной технологии, в реальности могло быть независимым изобретением. Возможно и то, что идеи, считающиеся оригинальными, на самом деле были позаимствованы у других цивилизаций, не сохранивших никаких документов о данном изобретении. В любом случае распространение новой техники обычно происходило медленно и старые технологии порой упрямо сосуществовали и применялись наряду с новыми на протяжении десятилетий и даже столетий.

В смысле непосредственного вклада в совокупный объем производства особенно важными были новшества в сельскохозяйственных технологиях, так как подавляющая часть населения занималась сельским хозяйством. Преобразование сельского хозяйства, начавшееся в раннем Средневековье, продолжалось на протяжении столетий, но в конечном счете сказалось на ходе европейской истории. Тем не менее изменения в этой сфере были особенно медленными. Сельскохозяйственные технологии отличаются от промышленных, транспортных и информационных технологий тем, что во многих случаях они весьма специфичны для конкретной местности. Различные культуры растут в разных условиях, и для выращивания одной и той же культуры могут использо-

ваться различные технологии в зависимости от высоты местности, количества осадков, типа почвы и т. д. В результате усовершенствования приходится бесконечно модифицировать и адаптировать. Таким образом, существенная часть расходов на разработку ложится на плечи тех, кто использует инновацию, а дополнительные эксперименты замедляют процесс ее внедрения.

Ключевую роль в эволюции сельского хозяйства сыграли тяжелый плуг и внедрение трехпольной системы. Только совместный гений Марка Блока (Bloch, 1966) и Линна Уайта (White, 1962) позволил историкам вполне осознать значение тяжелого плуга, или карруки. Древний плуг, применявшийся в средиземноморских экономиках, лишь процарапывал в земле борозду деревянным или железным острием (лемехом), который взрезал и размельчал почву, предотвращая испарение влаги и способствуя тому, что содержащиеся в почве минералы выносились на поверхность посредством капиллярного эффекта. Такой *aratrum* плохо подходил для тяжелых и влажных глинистых почв на равнинах к северу от Альп. Тяжелый плуг в своей окончательной форме перемещался на колесах и был оснащен ножом, резавшим почву вертикально, лемехом, резавшим ее горизонтально, и отвалом, переворачивавшим срезанные куски почвы и оставлявшим глубокую борозду. Тяжелый плуг позволил освоить обширные плодородные земли, которые в римские времена оставались неиспользуемыми или обрабатывались с помощью примитивной подсечно-огневой техники. Хотя некоторые римские плуги имели колеса, конструкция тяжелого плуга полностью сложилась лишь к VI в. (White, 1962, p. 53)¹. Тяжелый плуг создавал необычно длинные и узкие бо-

1. Точное время появления колесного плуга на равнинах Северной и Западной Европы остается предметом дискуссий. Факты, подтверждающие мнение Линна Уайта, оспариваются другими исследователями — в особенности это относится к отвалу. См., например: Wailes (1972).

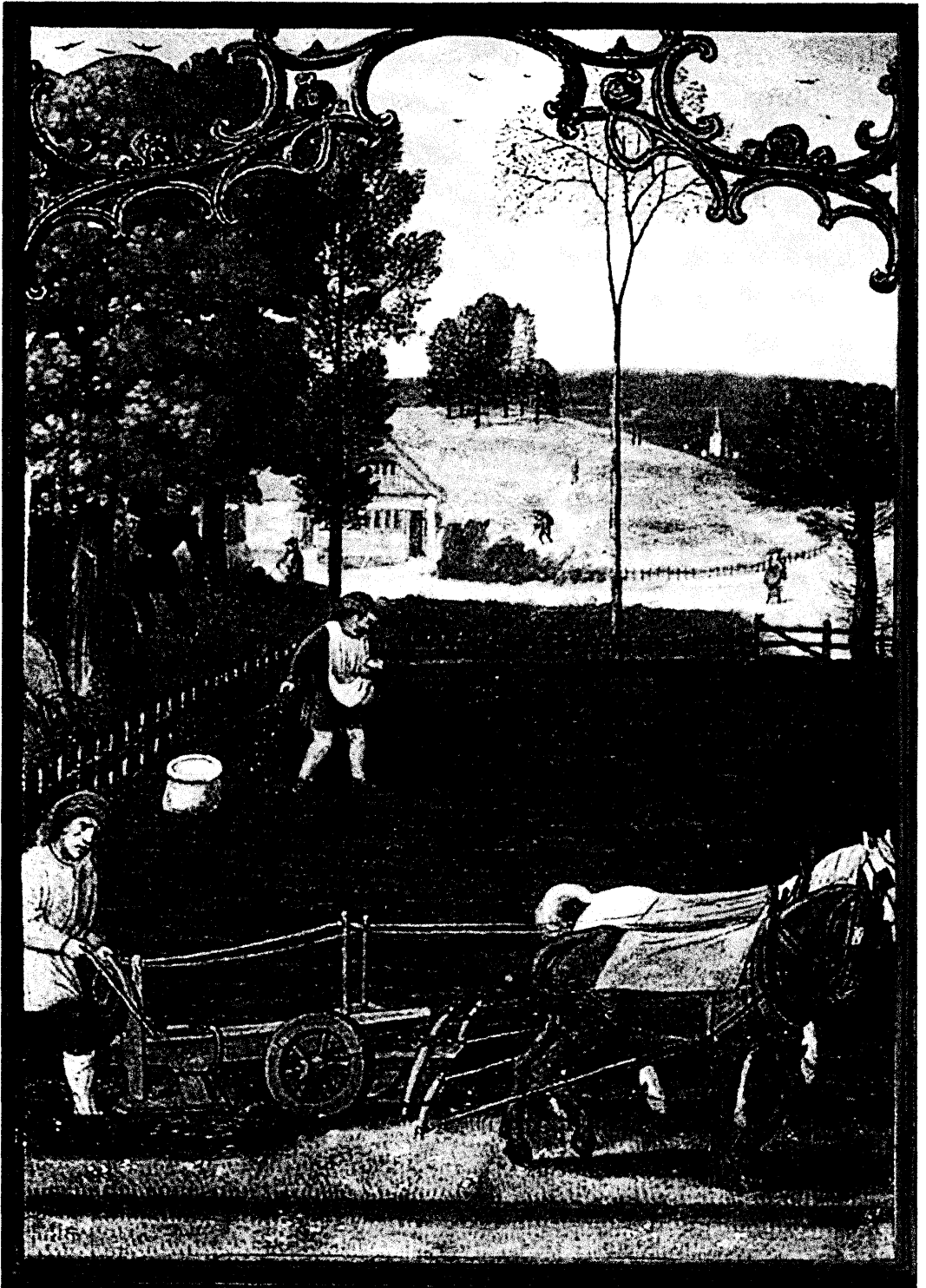


РИС. 4. Два изобретения, совершивших революцию в средневековом сельском хозяйстве: колесный плуг и хомут

Источник: Часослов Симона Бенинга *Da Costa Hours*. Брюгге, 1515.

розды, характерные для европейских открытых полей. Однако влияние такого плуга было особенно значительным вследствие того, что он требовал упряжки волов в качестве тягловой силы². Огромные расходы на обзаведение ими могли себе позволить лишь немногие крестьяне, и отчасти в попытке решить эту проблему фиксированных издержек средневековое общество создало полукооперативную организацию, которую иногда называют манориальной системой.

Необходимость в тягловых животных для пахоты создавала техническую проблему, которую европейское сельское хозяйство пыталось решить столетиями: чем кормить скот. Решение, найденное в раннем Средневековье, сочетало три элемента, хотя не все они обязательно применялись одновременно. Во-первых, при новой трехпольной системе севооборота, медленно распространявшейся по Европе в раннем Средневековье, одна треть пахотных земель оставалась под паром и использовалась как пастбище: скот и кормился на ней, и в то же время удобрял ее своим пометом. При трехпольной системе каждый земельный надел по очереди использовался под пар, под озимые посевы и под яровые посевы. Во-вторых, на поля, отводившиеся под посевы, после жатвы тоже выпускался скот — этот обычай был известен как «право общего выпаса» или *vaine rature*. В-третьих, деревня обычно содержала отдельный общий выгон, не участвовавший в севообороте и игравший роль пастбища. Право общего выпаса и наличие общего пастбища означали, что отдельные крестьянские наделы не могли разделяться изгородями, и потому эту систему иногда называют системой открытых полей. Такая система представляла собой не столько техническое изобретение в строгом смысле слова, сколько блестящее организационное решение технической проблемы, хит-

2. Колесный плуг, описываемый Плинием, тянули восемь волов. В Средние века в плуг обычно впрягали от четырех до шести волов.

роумно сочетавшее права частной и общественной собственности. Внедрение трехпольной системы позволило расширить возделывание дополнительных культур помимо основных, таких как пшеница и рожь. На втором поле нередко выращивали овес (идеальный корм для лошадей), ячмень (использовавшийся как промышленное сырье и как продукт питания) и бобы (важная добавка к рациону). Ни одна из этих культур не была новой, но их распространение опиралось на постепенную замену двуполья трехпольем в регионах к северу от Альп.

Второй областью, в которой раннесредневековая Европа добилась больших успехов, было использование энергии в таких ее видах, как кинетическая и тепловая энергия. Кинетическую энергию можно извлечь из мускульной силы (включая людскую), источником которой является солнечная энергия, преобразуемая в живых организмах, или из неодушевленной силы — такой как сила текущей воды или ветра, непосредственно создаваемая энергией солнца. Сила ветра использовалась для мореплавания, но других способов ее утилизации Запад не знал вплоть до начала строительства первых ветряных мельниц в XII в. Но в сфере гидроэнергии радикальные усовершенствования начались гораздо раньше. В эпохи Меровингов и Каролингов (VII–X вв.) по всей Европе строились все более крупные и совершенные водяные колеса. Средневековые мастера, создавшие более эффективное наливное колесо, одновременно освоили и усовершенствовали трансмиссию как для горизонтальных, так и для вертикальных колес, что позволило строить колеса и на быстрых, и на медленных реках. Средневековые инженеры достигли большого прогресса в сооружении плотин, позволявших контролировать расход воды, а также направлять воду на лопасти колеса. Для преобразования вращательного движения колеса в возвратно-поступательное движение молотов, дробилок и сукновальных станков использовались сперва кулачки, а затем кривошипы. Кулачок был известен и в древности, но, очевидно, никто не пытался приме-

нять его в сочетании с водяным колесом. Кривошип же, по всей вероятности, представляет собой средневековое изобретение. В результате водяное колесо превратилось из узкоспециального устройства для помола муки в универсальный источник энергии, способный работать на любых реках. Примерно к 1100 г. водяные колеса снабжали энергией сукновальни, пивоварни (где с их помощью изготовлялось пивное сусло), лесопилки, приводили в действие падающие молоты, кузнечные мехи, дробилки для коры, точила, применялись для волочения проволоки и трепания пеньки. В «Книге судного дня» (1086 г.) к югу от реки Северн в Англии насчитывается 5 624 водяных мельниц — примерно по одной на каждые 50 домохозяйств. В отличие от своих римских предков, средневековые люди были окружены водяными машинами, делающими за них самую трудоемкую работу³. Пусть водяное колесо было изобретено не в средневековой Европе, но именно там оно распространилось в масштабах, неслыханных в прежние эпохи. Как отмечает Линн Уайт, средневековая Европа, возможно, являлась первым обществом, строившим свою экономику не на горбах рабов и кули, найдя иные источники энергии.

Прогресс наблюдался и в сфере использования мускульной энергии. Лошадь тысячелетиями служила человеку и на войне, и в мирное время, но ее эффективность резко повысили три новшества, появившиеся в столетия, следовавшие за гибелью Рима. Первым из них была подкова. В древности для защиты лошадиных копыт применялись гиппосандалии, но появле-

3. В XI веке в Европе даже появились приливные мельницы (в окрестностях Венеции, на юге Англии и на западном побережье Франции), представлявшие собой первую в истории попытку использовать энергию несолнечного происхождения (Minchinton, 1979). Хотя этот источник энергии никогда не имел большого значения, он служит характерным примером средневекового стремления задействовать все доступные ресурсы неодушевленной энергии. См.: Derry and Williams (1960, p. 252–253) и Gimpel (1976, p. 23).

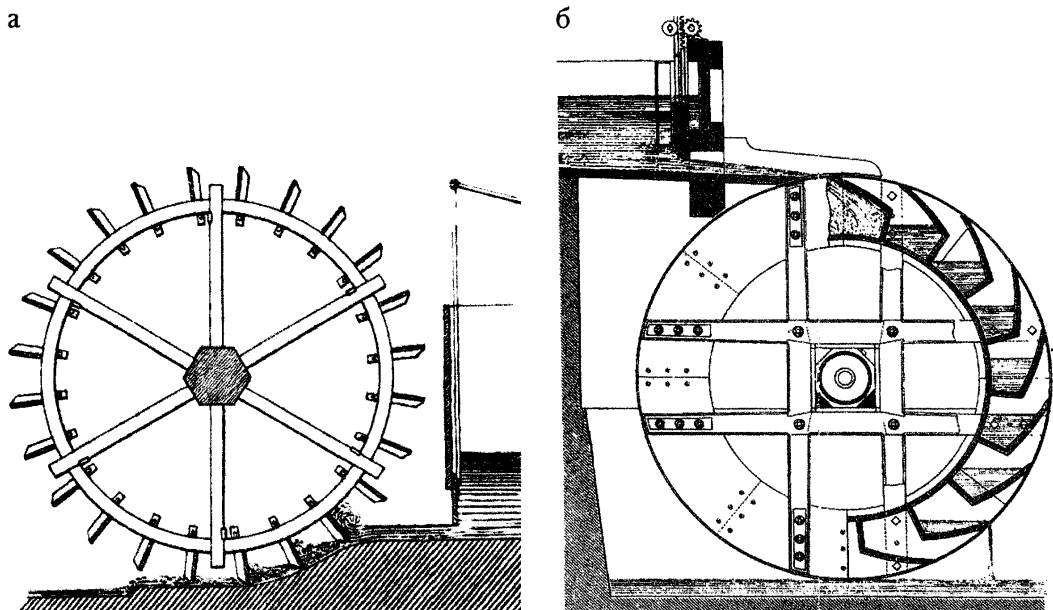


РИС. 5. Главные типы водяных колес:
подливное (а) и наливное (б)

Источники: (а) Arthur Morin, *Experiences sur les roues hydrauliques à aubes planes, et sur les roues hydrauliques à augets* (Metz and Paris: Thield 1836), pl. 1, Fig. 5.

(б) [Jacques] Armengaud, *Moteurs hydrauliques* (Paris: Baudry et Cie. and Armengaud Aine, n. d.), pl. 14.

ние подковы было бесспорным усовершенствованием. Подковы были особенно полезны на влажных почвах, преобладающих к северу от Альп, и для тяжелых лошадей, получивших распространение в позднем Средневековье. Подковы предохраняли конские копыта от контакта с почвой, из-за которого они отсыревали, быстро изнашивались и растрескивались. Точный момент появления подков остается дискуссионным вопросом, поскольку археологические свидетельства в данном отношении неоднозначны, но нет никаких сомнений в том, что к IX в. применение подков вошло в широкий обиход и его влияние на экономику ощущалось по всей Европе. Подковывали также вьючных лошадей и мулов, что вело ко все более активному использованию лошадей для коммерческих перевозок. Вторым важным нов-



РИС. 6. Древнейшее изображение лошадиной упряжки, относящееся примерно к 800 г.

Источник: Трир, Apocalypse, Городская библиотека, MS. 31, fol. 58r.

шеством было изобретение стремян, в первую очередь пригодившихся на войне, хотя мирные наездники тоже их оценили⁴. Сделав верховую езду более предсказуе-

4. Согласно знаменитому, но спорному утверждению Линна Уайта (White, 1962, p. 28), стремя послужило непосредственной причиной возникновения феодализма. Если это мнение верно, то оно представляет собой замечательный пример технического детерминизма. Стремя на столетия обеспечило всаднику беспорное превосходство над пехотинцем, вызвав необходимость оснащать и вооружать крупные рыцарские армии. Вследствие нехватки как лошадей, так и железа всю экономическую систему пришлось перестраивать под финансирование

мой и удобной, стремяна еще больше повысили значение лошади в европейской транспортной системе. Наконец, третьей важной инновацией стал современный хомут. В начале XX в. отставной французский кавалерийский офицер Ришар Лефевр де Нотт написал исследование, в котором сравнивалось использование лошадей в древности и в Средние века. Согласно Лефевру, греки и римляне применяли упряжь из двух ремней, обхватывавших брюхо и шею лошади. Ошейник, обхватывавший горло, при нагрузках сдавливал яремную вену и трахею животного, мешая ему дышать. Путем экспериментов Лефевр де Нотт выяснил, что сила лошади, запряженной таким образом, использовалась не более чем на 20%⁵. В раннем Средневековье люди перестали

таких армий. Однако эта теория подвергалась критике, и вполне возможно, что феодальное общество имело и другие корни.

5. Попытку объяснить такую неэффективность античной упряжи предпринимает Ландельс (Landels, 1978, p. 176–177), но ущербность его аргументации самоочевидна. Он отмечает, что древние колесницы были небольшими и легкими, и потому от тянувших их лошадей не требовалось больших усилий. Но при этом он сам ставит лошадь позади телеги: колесницы были легкими *из-за* невозможности запрячь лошадь в тяжелую колесницу. Нидхэм (Needham, 1965, p. 314) подчеркивает, что неудовлетворительность древней упряжи часто осознавалась уже в античные времена, и приводит список неудачных попыток заменить ее. Однако не следует забывать, что использование лошадей в качестве тягловых животных зависело и от возможности обеспечить им адекватное питание и разводить достаточно больших и достаточно сильных лошадей (Barclay, 1980, p. 109). Более того, Спрайтт (Spruytte, 1977) утверждает, что древняя конская упряжь была не такой неэффективной, как считается. Согласно его точке зрения, в античную эпоху были известны *две* разные упряжи: упряжь с ошейником (при ее использовании нагрузка приходилась на плечи лошади) либо упряжь со спинным ярмом (в этом случае лошадь тянула повозку грудью, а усилие принимал на себя нагрудный ремень). Спрайтт полагает, что Лефевр де Нотт спутал оба типа упряжи, что и привело его к неверному выводу о неэффективности античной упряжи. Кроме того, не следует преувеличивать важность изобретений, какими бы значительными они ни были. Лефевр

с этим мириться, найдя простой способ покончить с такой растратой ценной энергии. Решение проблемы было найдено благодаря изобретению нагрудного ремня и хомута, крепившегося на плечах лошади. Оба этих приспособления устранили нужду в ярме, тем самым позволяя избежать главного недостатка римской упряжи. Нагрудный ремень появился несколько раньше хомута, но к IX в. и то и другое было уже более-менее известно. В результате лошади постепенно стали играть важную роль в сельском хозяйстве и в грузоперевозках. Упряжь дополняли другие достижения в гужевой технологии. В раннем Средневековье начала применяться упряжка лошадей цугом (когда они запрягались в ряд друг за другом, а не бок о бок). В XI в. появилось дышло — деревянный шест, соединявший хомут с телегой или с бороной. Тем самым в начале Средних веков были исправлены самые элементарные ошибки в эксплуатации мускульной силы животных, совершавшиеся высокоразвитыми цивилизациями Средиземноморья в течение столетий. Эти инновации согласно одной недавней работе (Langdon, 1986, p. 19) открыли путь к «существенному и даже крупномасштабному использованию лошадей в качестве универсальной тяговой силы». Значение этих новшеств дополнительно подчеркивается тем фактом, что в конце XI в. 70% всей энергии, потреблявшейся английским обществом, обеспечивали животные, а остаток — водяные мельницы (*ibid.*, p. 20).

В чем состояла роль этих технологических изменений, сделавших лошадь главным источником энергии для средневековой экономики? Лошади все шире применялись в сельском хозяйстве — в первую очередь для па-

де Нотт считал, что хомут являлся главной причиной исчезновения рабства, но эта теория не получила широкого признания. Другое его утверждение — о том, что тяжелый сухопутный транспорт в античную эпоху мало использовался и не играл большой роли — также весьма спорно, так как де Нотт недооценивает значения волов как тяговых животных (Burford, 1960).

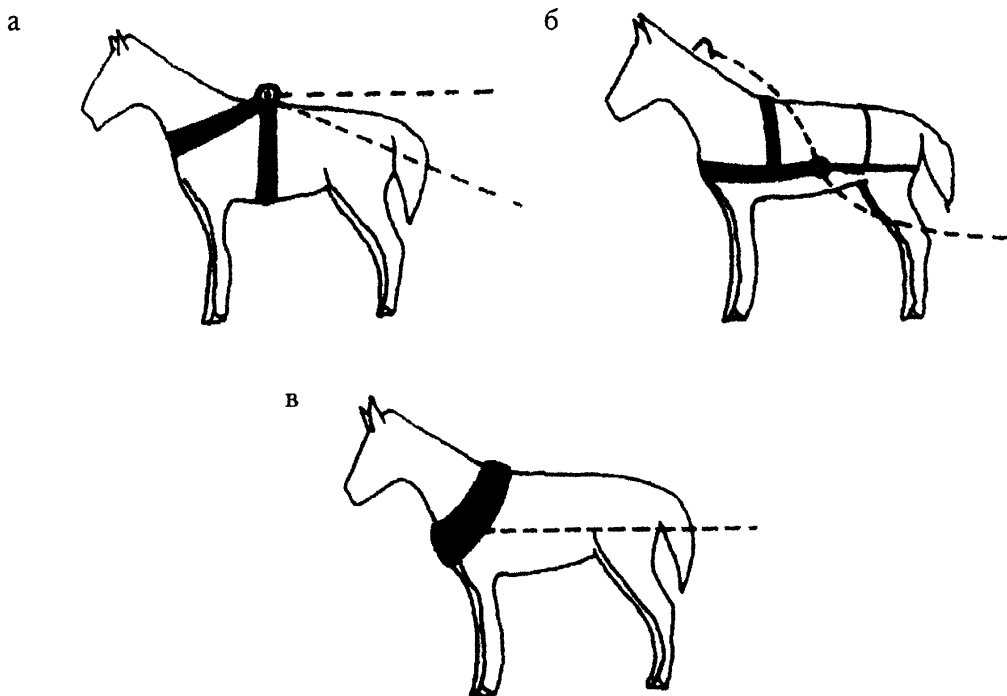


РИС. 7. Три вида лошадиной упряжи:

- а) неэффективная упряжь из двух ремней, применявшаяся в древности;
- б) упряжь с нагрудным ремнем, появившаяся в раннем Средневековье;
- в) упряжь с хомутом, изобретенная в более поздние века

Источник: Joseph Needham, *Science and Civilisation in China*, Vol. 4, part 2, Cambridge University Press.

хоты, — но их влияние на производительность сельского хозяйства не вполне ясно. Важное значение в сельскохозяйственном производстве по-прежнему имели волы, не вполне вытесненные лошадьми. Действительно незаменимой, помимо войны, лошадь оказалась в сфере сухопутного транспорта. Возросшая скорость и дальность передвижения конских повозок, в сочетании с совершенствованием конструкции самих повозок, стали ключевыми факторами, способствовавшими возрождению сухопутных перевозок и торговли на средние расстоя-

ния. Таким образом, здесь мы также имеем превосходный пример того, как шумпетерианский экономический рост становится основой для смитианского роста.

Аналогичные процессы с некоторым запозданием происходили и в сфере водного транспорта. Около 800 г. викинги научились строить по-настоящему мореходные корабли, добираясь на них до самых дальних уголков Европы и даже до Гренландии и Америки. Усовершенствованные корабли викингов, оснащенные килем и мачтой, были небольшими и легкими, а потому чрезвычайно универсальными и маневренными. Но поскольку их размер был ограничен и они не годились для перевозки объемных грузов, то их влияние на экономику оказалось несущественным. В долгосрочном плане большее значение имел ког, возникший в ходе эволюции примитивных кельтских лодок и к XII в. преобладавший на морях Северной Европы. Неуклюжий на вид, медленный и не слишком маневренный ког обладал отличными мореходными качествами, позволял дешево перевозить крупные грузы и обеспечивал хорошую защиту от пиратов.

К раннему Средневековью относятся многие другие изобретения, хотя невозможно сколько-нибудь точно определить время и место их появления. Европейское общество постепенно овладевало более эффективными методами защиты от низких температур, особенно после XIII в., когда зимы стали более суровыми. Такие новшества в строительных и бытовых технологиях, как использование дранки, применение штукатурки для теплоизоляции, переход на ископаемое топливо и, в первую очередь, камины, свидетельствуют об умении средневекового общества приспособиться к морозным зимам в Северной Европе (Dresbeck, 1976). Камин также упрощал домашнююстряпню, повышая доступность горячей пищи. Мыло, известное еще в поздней Римской империи, примерно к 800 г. распространилось уже по всей Европе, а в X–XI вв. было усовершенствовано в христианских и исламских регионах Средиземно-

морья. Мыло в брусках впервые появилось в XII в. Раннесредневековая Западная Европа также стала родиной таких изобретений, сказавшихся на повседневной жизни, как сливочное масло, крепкие алкогольные напитки, лыжи, тачки, использование хмеля в пивоварении, усовершенствованное оконное стекло и точильные круги с приводом от ворота.

В раннем Средневековье культурным и технологическим ядром Европы в значительной степени оставался средиземноморский регион. Испания, Северная Африка и Ближний Восток находились под властью ислама. В VIII–XII вв. утонченный и культурный исламский мир стал достойным наследником античной цивилизации. Средневековый исламский мир являлся обществом с высокой мобильностью, в котором путешествия были повседневным занятием, доступным и для богатых, и для бедных. Путешественники с готовностью перенимали знания у других обществ, как существующих, так и угасших. Культура и техника ислама представляла собой синтез эллинистических и римских элементов, дополненных идеями из Центральной Азии, Индии, Африки и даже Китая. Раннее исламское общество энергично занималось сбором, компиляцией и каталогизацией знаний. Уровень грамотности в исламском мире находился на недостижимой для Европы высоте. Крупные библиотеки имелись не только у правителей, но также во многих важных мечетях и даже у некоторых частных лиц. В 700–1200 гг. мусульмане знали о различных частях известного на тот момент мира больше, чем какая-либо другая цивилизация. Способность сохранять, адаптировать и развивать технологии, позаимствованные у других народов, является непреходящим свидетельством их креативности. Однако в том, что касается оригинальной креативности и собственных изобретений, достижения исламского мира выглядят неожиданно скромными. Мусульмане с энтузиазмом коллекционировали знания, но мало что сделали в плане их интерпретации или построения теорий; в от-

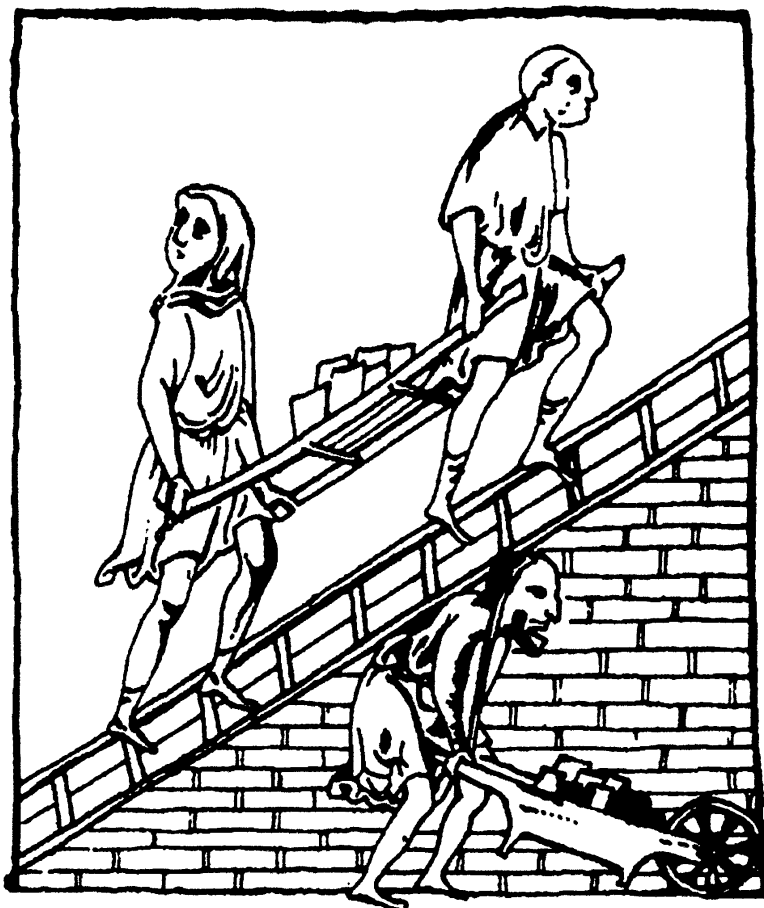


рис. 8. Изображение тачки на миниатюре XII в.
Обратите внимание на противопоставление тачки
и носилок, требующих двух работников

Источник: Umberto Eco and G. V. Zorzoli,
The Picture History of Inventions, Bompiani.

личие от христианского Запада они, очевидно, не знали «странной потребности заглянуть внутрь вещей и понять, как они устроены» (Watson, 1983, p. 94, 146).

Тем не менее в период с 750 по 1100 г. исламский мир, помимо высокого уровня толерантности и культуры, может записать на свой счет ряд впечатляющих технических достижений (Singer, 1958, p. 755–761). Мусульманам совместно с византийцами приписывается изобретение латинского (то есть средиземноморского) паруса, хотя более ранние его разновидности были известны уже античным цивилизациям. К IX в. была решена про-

блема перемещения рейка на другую сторону мачты при смене галса, не позволявшая римлянам строить крупные корабли с косым парусным вооружением, и латинские паруса стали применяться на больших торговых судах. Корабль с латинским парусом может идти под углом в 60–65° против ветра, что «намного превосходит возможности кораблей с прямыми парусами» (Parry, 1974, p. 13). К XI в. усовершенствованные паруса использовались по всей Южной Европе и Ближнему Востоку и мусульманами, и христианами. Что касается энергетики, мусульмане около 1000 г. первыми построили в Басре мельницу, работавшую на силе приливов и отливов (Minchinton, 1979), а ветряные мельницы упоминаются в исламских источниках начиная с IX в. (Al Hassan and Hill, 1986, p. 54–55). Водяные колеса использовались на сахарных заводах и лесопилках. Однако в целом исламское общество, по-видимому, полагалось на неодушевленные источники энергии в гораздо меньшей степени, чем Европа (Hill, 1984b, p. 169–172).

Также благодаря мусульманам Ближний Восток и Европа познакомились с бумагой. Необходимость замены дорогостоящего пергамента (изготавливавшегося из высушенной кожи телят и козлят), который использовали средневековые писцы, была очевидной. Бумага была изобретена китайцами до 100 г. и получила на Востоке широкое распространение. Согласно легенде арабы, захватив в 753 г. Самарканд, узнали секрет бумаги от плененных китайских работников. Примерно в 793 г. первая бумажная фабрика была построена в Багдаде, а к 1000 г. уже весь исламский мир пользовался переплетенными книгами, оберточной бумагой и бумажными салфетками. В Северную и Западную Европу бумага проникала медленно. Характерно, что как только она стала известна там в XIII в., Запад начал применять гидроэнергию для приготовления бумажной массы.

Что касается текстильного производства, исламский мир сумел существенно повысить качество ткани. В данном случае показательна этимология: многие европей-

ские названия тканей имеют арабское происхождение. Дамаст, тонкая льняная ткань, похожая на шелк, происходит из Дамаска; муслин, тонкая хлопчатобумажная ткань — из города Мосул (в Ираке); фастиан, хлопчатобумажная ткань с льняной основой, названа по имени Фустата, пригорода Каира. Многие из этих тканей, возможно, были родом из Персии — колыбели множества текстильных технологий, — и в X в. медленно распространялись на запад. Хлопчатобумажное производство было принесено мусульманами на Ближний Восток, а оттуда — в Испанию и на Сицилию. Сорты хлопчатника, насаждавшиеся в Средиземноморье, могли вызревать в более суровом и холодном климате. К концу Средневековья хлопок превратился в основное сырье для производства тканей в Южной Европе и на Ближнем Востоке. Также исламская экономика славилась своими высококачественными изделиями из кожи. Центрами этой индустрии являлись Марокко и Кордова — та роль, которую они играли в кожевенном производстве, нашла отражение в европейских языках.

Наиболее оригинальный вклад мусульман относится к сфере химических технологий. Книги Джабира ибн Хайяна и Ар-Рази (известных на Западе как Гебер и Равез) в течение столетий считались классическими трудами в этой области. Работа исламских химиков во многом была связана с поисками золота и содержала в себе мистический элемент, однако к XI в. Ибн Сина (Авиценна) уже усомнился в том, что эта задача разрешима. Мусульмане открыли щелочи и существенно повысили качество стекла и керамических изделий. Они умели извлекать из нефти нефть — горючую жидкость, похожую на керосин, — и подняли производство благовоний и кислот на недостижимую высоту⁶.

6. Вопрос о том, была ли перегонка спирта открыта мусульманскими учеными, служит предметом дискуссий (Al-Hassan and Hill, 1986, p. 141); однако см. также: Lynn White (1978, p. 7, 115).

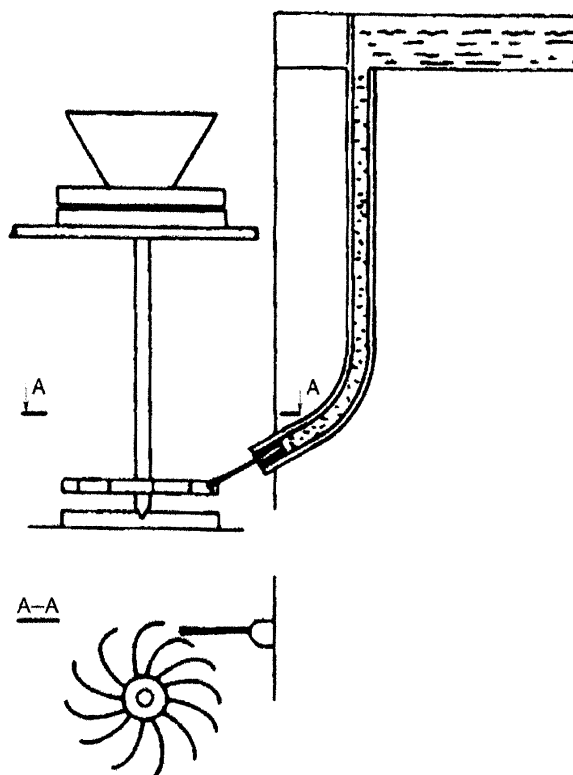


РИС. 9. Горизонтальное водяное колесо,
описанное исламским автором Аль-Джазари.

Современная реконструкция

Источник: Bodleian Library, Oxford.

В области механики — от водяных мельниц до часов — мусульмане обогнали Запад на несколько столетий. Братья Бану Муса, работавшие в Багдаде около 850 г., в своих сочинениях собрали и развивали познания эллинистических инженеров (Hill, 1977). Трактат Аль-Джазари «Книга знаний о хитроумных механических устройствах», написанный в начале XIII в. в Диярбакыре (Малая Азия), имеет репутацию «наиболее замечательного свидетельства об инженерном искусстве, дошедшего до нас... из доренессансной эпохи» (Hill, 1984b, p. 128). Значительны также успехи исламских мастеров в металлургии. Используя индийскую сталь, оружейники из Толедо и Дамаска делали мечи, качество которых

вошло на Западе в поговорку. Кроме того, мусульмане научились выращивать сахарный тростник и добывать из него сахар, а также делать конфеты. Особенно прославился своими сладостями Египет, хотя вплоть до XVII в. те оставались предметами роскоши. Исламский мир освоил и передал западным людям многие азиатские культуры, сделавшие их питание более разнообразным: такие зерновые, как сорго и рис, а также твердая пшеница, из которой делают макароны; фрукты — апельсины, лимоны, бананы, арбузы; и овощи — спаржа, артишоки, шпинат и баклажаны (Watson, 1983). Вообще, развитие сельского хозяйства примерно с 700 по 1100 г. протекало в исламском мире так бурно, что этот процесс иногда называют аграрной революцией. Внедрение новых культур во многих случаях требовало ирригации, и мусульмане успешно использовали и модернизировали древние гидравлические технологии, в основном оставшиеся неизвестными в западном Средиземноморье до эпохи исламских завоеваний. От Персии до Пиренеев мы встречаем свидетельства широкого распространения норий, Архимедовых винтов, шадуфов (шест с ведром на одном конце и противовесом на другом), подземных каналов и т. д. По большей части мусульмане применяли приемы, знакомые античному миру: сделанный ими вклад заключался «не столько в изобретении новых устройств, сколько в намного более масштабном использовании устройств, в доисламские времена применявшихся весьма ограниченно» (Watson, 1983, p. 108). С этой точки зрения достижения мусульман были сопоставимы с достижениями Запада, который следовал такой же стратегии в сфере гидроэнергетики и тяжелого сельскохозяйственного оборудования.

Оценивать технические достижения исламского мира непросто. Не все мусульмане были арабами, а так называемый исламский мир в отдельные моменты времени населяло много христиан и евреев. Кроме того, серьезные различия наблюдались в рамках самого исламского мира: так, представляется, что Персия и Испания, на-

ходившиеся на его географической периферии, в целом выказывали больше креативности, чем Месопотамия и Египет, хотя недостаток информации не позволяет выносить на этот счет однозначных суждений. Вплоть до недавнего времени историки техники выносили суровый вердикт средневековому исламу. Как утверждает Уайет (Wiet, 1969, p. 371), в истории первых веков ислама трудно найти что-нибудь, что можно было бы назвать обогащением существовавших знаний. Однако технологическая креативность как экономическое явление не требует получения совершенно новых знаний: для инноваций не обязательны изобретения. Заимствование, развитие и адаптация технологий также позволяют увеличить предложение товаров и услуг. Проблема в том, что при отсутствии оригинальных идей заимствование и адаптация влекут за собой снижение отдачи. На этом уровне технологическая креативность исламского мира по очевидным причинам столкнулась с затруднениями. Исламское общество было неспособно сколько-нибудь расширить запас имевшихся идей, которые оно с таким блеском добывало и использовало. Соответственно, исламское технологическое развитие со временем замедлилось. Где-то примерно в XII в. ислам утратил свой импульс и технологическое превосходство постепенно перешло к его врагам — жившим к северу от Пиренеев христианам, которые ничуть не уступали им в способности перенимать чужие технологии и даже превзошли их в умении создавать новые технологии. Запад, поначалу сильно отстававший от мусульман, выказывал не меньшее стремление учиться у других культур, но при этом не утратил возможности развивать и оттачивать чужие идеи, используя их в новых сочетаниях, находя для них новые сферы применения и в конце концов уходя настолько далеко от первоначальных идей, что обществу, придумавшему их первым, приходилось перенимать у Запада свои собственные идеи, нередко видоизмененные и усовершенствованные до полной неузнаваемости. Исламское общество, вышедшее на новые рубежи в сфе-

ре энергетики и химических технологий, к XIII в. стало проявлять признаки отсталости⁷.

Причины этого замедления неясны. Монгольские вторжения нанесли исламскому миру жестокий удар, опустошив его восточную часть; однако потеря Испании и упадок западного Средиземноморья стали результатом внутренней слабости и раскола. Заманчиво связывать различия в креативности между христианским и исламским миром с религиозными и политическими различиями. Такую попытку мы предпримем в части III.

Примерно к 1200 г. экономика Западной Европы освоила почти все то, что могли предложить ей ислам и Восток. Далее европейцы шли вперед главным образом своими собственными усилиями. Несмотря на временный откат в XIV в., цепочка блестящих изобретений, сделанных в 1200–1500 гг., подготовила почву для грядущего технического лидерства Европы. Уникальный характер европейских технологических изменений определялся как изобретательностью при повышении эффективности производства, так и скоростью, с которой некоторые из этих инноваций распространялись по Западной Европе.

В сфере энергетики самым важным изобретением позднего Средневековья являлась ветряная мельница, сочетавшая в себе идеи водяной мельницы и паруса. Возможно, ее тоже принесли в Европу мусульмане (из Центральной Азии), однако, несмотря на свои очевидные преимущества в засушливом климате, она не получила широкого распространения в исламском мире⁸.

7. Аль-Джазари писал в 1206 г., что ветряные мельницы невозможно использовать на практике, так как ветер — слишком ненадежный источник энергии (Lynn White, 1978, p. 223).

8. Европейская мельница своей конструкцией радикально отличается от азиатских мельниц, так как в ней используются зубчатая передача и горизонтальная ось. Таким образом, возможно, что она была изобретена независимо. Ветряная мельница якобы была принесена «немецкими солдатами» (крестоносцами)

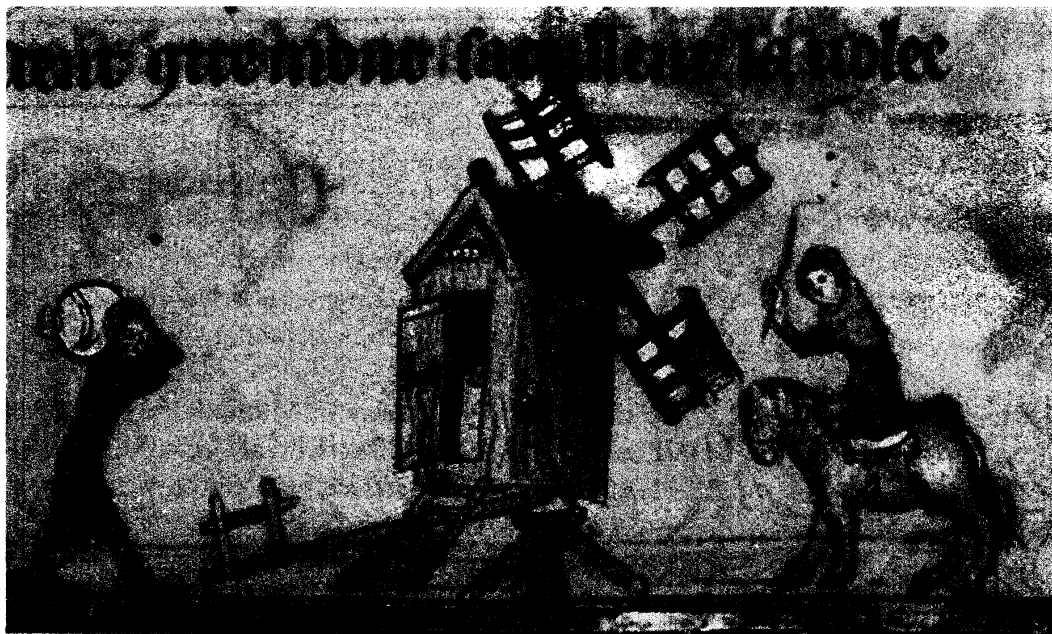


РИС. 10. Изображение мельницы
на средневековой миниатюре
Источник: Bodleian Library, Oxford.

Первые ветряные мельницы, о которых сохранились достоверные упоминания в документах, были построены в 1185 г. в Йоркшире. Но где бы они впервые ни появились, через несколько лет их использовали уже по всей Европе, а в 1195 г. папа римский велел взимать с них десятину. Из-за того что в Европе ветер часто меняет направление, ветряные мельницы приходилось делать поворотными с тем, чтобы их можно было устанавливать под оптимальным углом к ветру. Появившиеся позднее тормоза и скошенные лопасти сделали работу ветряных мельниц более стабильной и эффективной. Ветряная мельница многое унаследовала от водяной мельницы, позаимствовав у нее горизонтальную ось, зубчатую передачу и конструкцию трансмиссии (Reynolds, 1983, p. 83). Однако, как указывает Ашер (Usher, 1954, p. 176),

в Сирию в 1192 г. Вплоть до XII в. ветряные мельницы встречались только в Персии и Афганистане (Forbes, 1956, p. 617).

ветряная мельница являлась более сложным механизмом по сравнению с водяной, и потому ее развитие шло медленнее. В ранних ветряных мельницах весь механизм мог поворачиваться вокруг вертикальной оси, что позволяло находить оптимальное положение по отношению к направлению ветра.

Энергия ветра также более эффективно использовалась в мореплавании благодаря серьезным изменениям в конструкции кораблей. В Северной Европе наряду с постепенным внедрением латинского паруса появился совершенно новый тип корабля — каракка, оснащенная фок-мачтой и бизань-мачтой. Трехмачтовый рангоут позволял сочетать преимущества латинского и прямого паруса, а именно возможность ходить против ветра и большую скорость при движении по ветру. Корабль с полным рангоутом называли великим изобретением — не из-за революционной конструкции, а потому, что «он по всем статьям превосходил корабли прежних систем, к тому же делая плавание намного менее рискованным» (Unger, 1980, p. 219). На грот-мачте и фок-мачте поднимали прямые паруса, служившие для движения по ветру. Бизань-мачта несла латинский парус, установленный параллельно килю и позволявший ходить против ветра, а также маневрировать в узких проливах. Такая оснастка впервые была создана около 1400 г. в Стране Басков на побережье Бискайского залива и быстро распространилась по Северной Европе и Средиземноморью. Примерно в то же время появились горизонтальные ткацкие станки с педалями, на которых производилась более качественная и крепкая парусина. Второй инновацией — возможно, пришедшей из Китая, — был кормовой руль, сменивший рулевые весла, применявшиеся в древности. Он использовался на кораблях с конца XII в. и сильно уменьшал снос судна, а также физические усилия, требовавшиеся, чтобы удержать его на курсе.

Совершенствовалась также конструкция корпуса. Примерно к 1300 г. североевропейские кораблестрои-

тели освоили технологию обшивки вгладь, при которой доски обшивки стык в стык крепятся к балкам корабельного набора с последующей просмолкой пазов между досками для сохранения водонепроницаемости. Корабли с обшивкой вгладь — такие как карраки — не вполне вытеснили суда, построенные по древней клинкерной технологии, основанной на обшивке внакрой (внахлест). Оба метода имели свои преимущества: используя обшивку внакрой, можно было строить более крепкие и тяжелые корабли, поскольку горизонтальные напряжения принимал на себя весь корпус корабля, в то время как при обшивке вгладь горизонтальные напряжения поглощались тяжелыми балками, из которых состоял корабельный набор. Обшивка вгладь по сравнению с обшивкой внакрой способствовала экономии дерева и позволяла строить намного более легкие и крупные корабли; к 1400 г. уже существовали корабли с водоизмещением в 1000 тонн. Более крупные корабли обеспечивали более дешевую и быструю перевозку грузов и имели более высокие мореходные качества (Rosenberg and Birdzell, 1986, p. 80–96). Однако обшивка внакрой по-прежнему применялась на небольших судах, а в некоторых случаях и на океанских судах средних размеров. К середине XV в. появилась португальская каравелла. Именно на кораблях такого типа совершали свои экспедиции Васко да Гама, Колумб и Магеллан. Каравелла имела обшивку вгладь, латинское парусное вооружение, две или три мачты и кормовой руль. Водоизмещение каравеллы составляло около 100–200 тонн, а для ее управления требовалась команда примерно в 20 человек (см.: Parry, 1974, p. 17–22). Каравелла являлась универсальным судном, предназначенным в основном для каботажного плавания, но достаточно мореходным для того, чтобы сделать португальцев лидерами в исследовании мира за пределами Европы.

Кроме того, европейцы разработали более совершенные навигационные инструменты по сравнению с применявшимися ранее. Нам ничего не известно о каких-

либо средствах навигации, использовавшихся греками и римлянами, помимо того, что они наблюдали за звездами и старались по возможности не терять из виду береговую линию. Такие случаи, как крушение корабля Св. Павла, по пути в Рим сбившегося с курса, потому что «многие дни не видно было ни солнца, ни звезд» (Деяния, 27, 20), вероятно, случались регулярно. Викинги в своих плаваниях также определяли курс по береговым ориентирам и нередко становились жертвой *хафвиллы* — потери направления в открытом море. Однако все изменилось в последние столетия Средних веков. В XIII в. в употребление вошли беспрецедентно точные морские карты и навигационные таблицы, полностью покрывавшие Средиземное и Черное моря. Компас — известный уже в Китае, но, вероятно, независимо от него открытый в Европе — впервые упоминается англичанином Александром Некэмом в его работе *De utensilibus* (ок. 1180 г.). Это устройство первоначально представляло собой не более чем намагниченную иглу, плавающую в чаше с водой. Этот примитивный прибор лишь около 1300 г. приобрел облик современного компаса, получив также розу ветров с 16 румбами. Как считает один автор (Kruetz, 1973, p. 372–373), прокладывать курс с помощью компаса начали лишь после 1410 г. Компас играл особенно важную роль в Средиземном море, потому что здешние большие глубины не позволяют находить курс, промеряя глубину лотом (такой способ широко практиковался в Северном и Балтийском морях). Изобретение компаса оказало колоссальное влияние на мореплавание. Вплоть до XIII в. навигация в Средиземном море прекращалась на зиму; начиная примерно с 1280 г. новые навигационные приемы позволяли плавать по нему круглый год.

Возрождение географии в 1409 г. увенчалось переводом на латынь «Географии» Птолемея, ознакомившей европейцев с понятиями широты и долготы. Португальские мореходы научились определять широту, используя астрономические инструменты, разработанные эл-

линистическими, а позже и исламскими астрономами. Самым знаменитым из этих инструментов была астролябия, изобретенная эллинистическим астрономом Гиппархом для астрономических наблюдений. Вычисляя высоту Полярной звезды с помощью астролябии, наблюдатель мог узнать широту, на которой он находится. Этот метод был известен еще Пифею из Массалии (III в. до н. э.), однако никто не пытался применять его при навигации. Слишком сложная конструкция астролябий зачастую затрудняла их использование в море — первый документально зафиксированный случай применения астролябии на борту судна относится к 1456 г. Несколько ранее появилась (cross-staff) алидада, служившая для аналогичных целей. В Южном полушарии, куда европейцы проникли после 1450 г., они не могли ориентироваться по Полярной звезде и с помощью астролябии измеряли высоту Солнца над горизонтом (Taylor, 1957). Наиболее полезным навигационным инструментом был признан квадрант — упрощенный вариант астролябии, придуманный мусульманами. Однако, несмотря на достижения в этой области, к 1450 г. европейцы, возможно, еще не сравнялись в искусстве навигации с китайцами. Не только в Европе умели строить корабли, пригодные для океанских плаваний: в XV в. к исследованию дальних земель приступил и Китай, впрочем, вскоре отказавшись от этих попыток. В отличие от него, европейцы сумели сохранить инновационный импульс.

Третьей сферой прогресса являлись металлургические технологии. Горное дело и металлургия были особенно развиты в Южной Германии, Австрии и Богемии. Ключевым достижением здесь служило строительство крупных доменных печей, в которых достигалась высокая температура благодаря использованию мехов, приводившихся от водяных колес. Несмотря на то что настоящие доменные печи начали строиться лишь в конце XV в., усовершенствованные печи появились несколько ранее. Высокие температуры позволили освоить чугунное литье, что революционизировало про-

изводство металлических изделий⁹. Доменная печь отличалась от примитивных печей древности и Средних веков тем, что при создававшихся в ней высоких температурах железо насыщалось углеродом. Более высокая доля углерода (до 3%) снижала точку плавления, что давало возможность получать жидкий металл. Производившийся в доменных печах чугун либо использовали для литья, либо посредством последующей декарбонизации превращали в более ковкую сталь. Выплавлять железо в доменных печах было намного дешевле, чем в печах прежней конструкции. Впрочем, большинство прочих приемов металлообработки — таких как пайка, клепка и ковка — по большому счету не изменилось. В области цветной металлургии самым важным достижением той эпохи стал способ извлечения серебра из медной руды с помощью свинца, разработанный около 1450 г.

Металлургия повлияла и на развитие технологий в других отраслях. Пример подобного эффекта перелива нам дает самое прославленное из всех средневековых изобретений — печатный станок. Он по праву стал знаменитым, будучи первым средневековым изобретением, для которого более-менее точно известны время его появления и имя изобретателя, в одиночку нашедшего такое удачное решение задачи, что новое устройство очень быстро стало использоваться по всей Европе. Сама по себе печать уже существовала в Евро-

9. В этом отношении европейцы тоже отставали от китайцев, владевших секретом чугунного литья «почти с того момента, как они познакомились с железом» (Needham, 1969, p. 101). Нидхэм не согласен с тем, что европейцы освоили чугунное литье независимо от китайцев, но признает, что не имеет понятия о том, как те могли бы поделиться с ними этими знаниями. Вполне возможно, что он ошибается и европейцы изобрели чугун самостоятельно. Мехи с приводом от водяного колеса позволяли достичь намного более высоких температур в печи, что делало получение чугуна почти неизбежным этапом в процессе выплавки железа.

пе к началу XV в. Еще до 1400 г. здесь печатались игральные карты, а чеканка монеты методом штамповки к тому моменту велась уже две тысячи лет. Однако разборный шрифт, изобретенный Иоганном Гутенбергом (1453 г.), представлял собой блестящее достижение, ставшее возможным, между прочим, благодаря знакомству Гутенберга с металлургией (его отец был ювелиром архиепископа Майнца). Отливка разборного шрифта представляла собой трудную задачу: все литеры должны были иметь одинаковую длину и высоту, но разную ширину. Гутенберг нашел изящное решение — форму, состоявшую из двух накладывавшихся друг на друга L-образных частей. Шрифт отливался из сплава олова, цинка и свинца, а формы изготавливались из железа и меди (Cardwell, 1972, p. 20–25). Подобно ветряной мельнице, печатный станок с ошеломляющей скоростью получил широкое распространение. К 1480 г. в Европе насчитывалось более 380 печатных станков, а за 50 лет после его изобретения в мире было выпущено больше книг, чем за предыдущую тысячу лет.

Не менее блестящим изобретением являлись и механические часы с гирями. Их изобретатель неизвестен, но первое их упоминание в источниках относится к концу XIII в. В том столетии европейцы и арабы уже умели строить сложные водяные часы, но они были ненадежными из-за того, что вода может замерзнуть и испаряться. Европейские механики упорно пытались создать устройство, в котором могла бы использоваться сила тяжести¹⁰. Примерно в 1300 г. появился корончато-штыревой спусковой механизм, позволявший преобразовать непрерывное, но изменяющееся по величине усилие со стороны опускающейся гири в регулярные колебательные движения, необходимые для

10. В 1271 г. Роберт Англикус утверждал, что «часовщики пытаются сделать колесо или диск, которые бы двигались точно так же, как небесный экватор, но не очень преуспели в этом» (цит. по: White, 1962, p. 122).

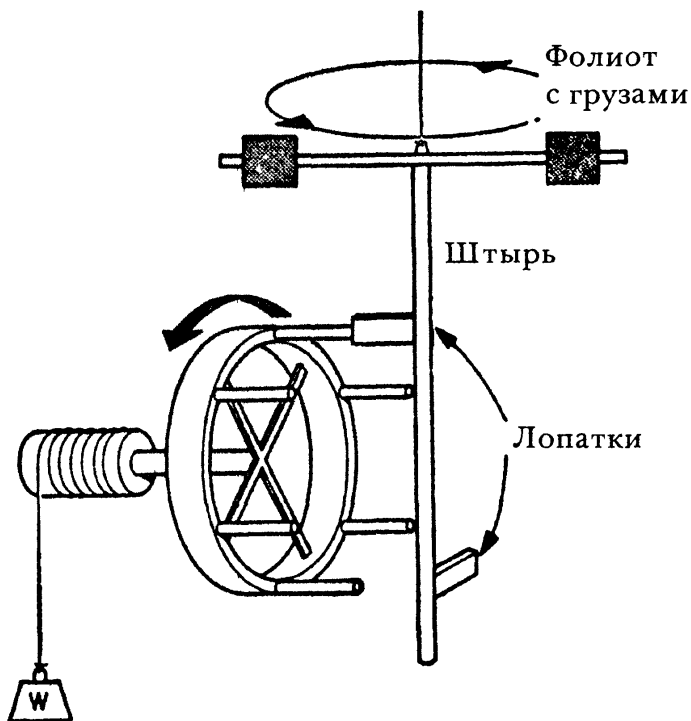


РИС. 11. Устройство часов с гирей

Грузы на концах горизонтальной планки (фолиота) обеспечивали равномерность тяги, создаваемой гирей. Лопатки позволяли преобразовать тягу в колебательные движения, необходимые для работы часов

Источник: D. S. L. Cardwell, *Turning Points in Western Technology*, Science History Publications.

точного хода часов. Трудно найти более чистый пример макроизобретения. В своей недавней работе об истории часов Ландес (Landes, 1983) называет его Великим изобретением. Дальнейшее развитие шло головокружительными темпами: к середине XIV в. такие часовщики, как семейство Донди и Ричард из Уоллингфорда, делали сложные устройства, показывавшие не только время, но и все известные на тот момент движения небесных тел. Часы быстро распространялись по всей Европе, вызывая «чувство чистого восхищения и гордости» (Landes, 1983, p. 57) новыми механизмами. Каж-

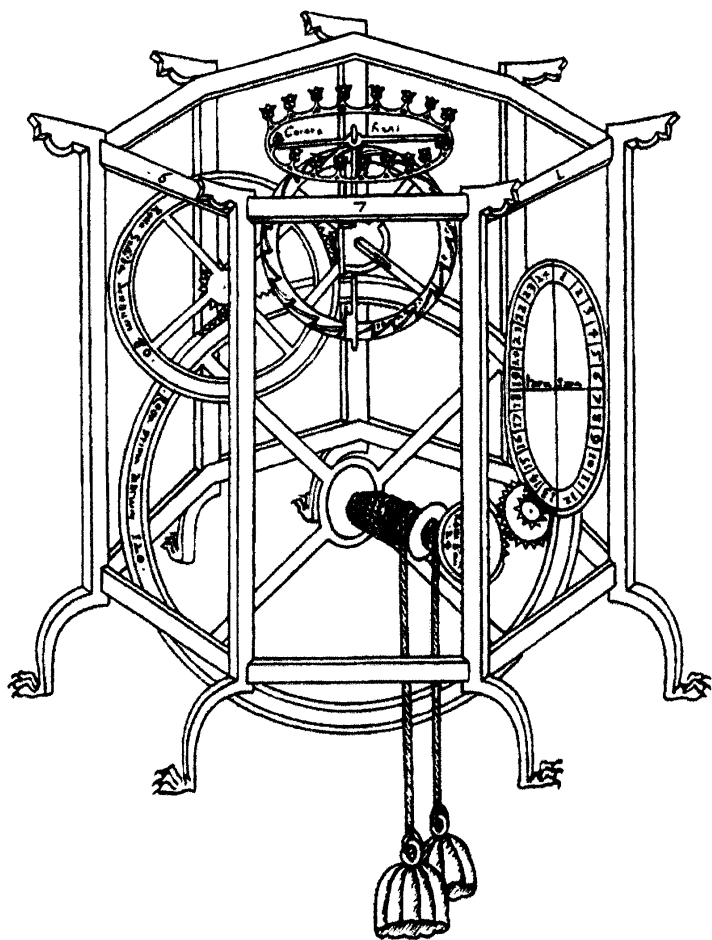


РИС. 12. Астрономические часы,
изобретенные Джованни Донди в 1364 г.

Источник: Bodleian Library, Oxford.

дый город стремился завести у себя это чудо. По словам Уайта (White, 1962, p. 124), «ни одна европейская община не могла смириться с тем, что у нее нет собственных вертящихся планет, трубящих ангелов, петухов, испускающих крики, и апостолов, царей и пророков, марширующих взад-вперед под бой часов». В середине XV в. на свет появились пружинные часы, чему способствовало изобретение устройств, регулировавших неравномерное усилие, создаваемое раскручивающейся пружиной. Самым удачным решением этой проблемы стал конический барабан, выравнивавший силу со стороны пружины.

ны. Первые часы с коническим барабаном были сконструированы около 1430 г., после чего карманные часы стали популярны среди зажиточных людей. Достижения в часовом деле открыли путь к миниатюризации часов, демократизировавшей измерение времени.

Значение механических часов как признака технического прогресса и как причины его продолжения подчеркивалось многими исследователями. «Часы, а не паровая машина, — не без некоторого преувеличения утверждал Мамфорд (Mumford, [1934] 1963, p. 14), — являются главной машиной современной индустриальной эпохи». Часы — это механическое автоматическое устройство, требующее высокой точности при его изготовлении и обслуживании и потому ставшее образцом для всех других механизмов. Часы насаждают порядок и организацию, задавая общее множество объективной информации. К середине XIV в. обычай делить час на 60 минут, каждая из которых содержала в себе 60 секунд, стал стандартом. Четыре часа были четырьмя часами для всех, так же, как час дня — часом дня. Такая возможность делиться фактами и понятиями, передача информации по принципу «я вижу то же, что видишь ты» представляли собой важный элемент в процессе распространения инноваций. Более того, все это позволяло более точно измерять производительность. В конце концов, наша концепция эффективности неявно основана на измерении времени: понятие производительности содержит в себе идею потока. Часы выявляли различия в эффективности: стало ясно, что более усердные работники, используя более качественные приспособления и инструменты, производят больше продукции за единицу времени. Упростились как сравнение производительности, так и выбор между быстрыми и медленными. Часовщики, задававшие новые стандарты точности и сложности в механике, впоследствии не раз сыграли важную роль в изобретениях в других сферах.

Другую важную механическую идею представлял собой маховик, первоначально использовавшийся лишь

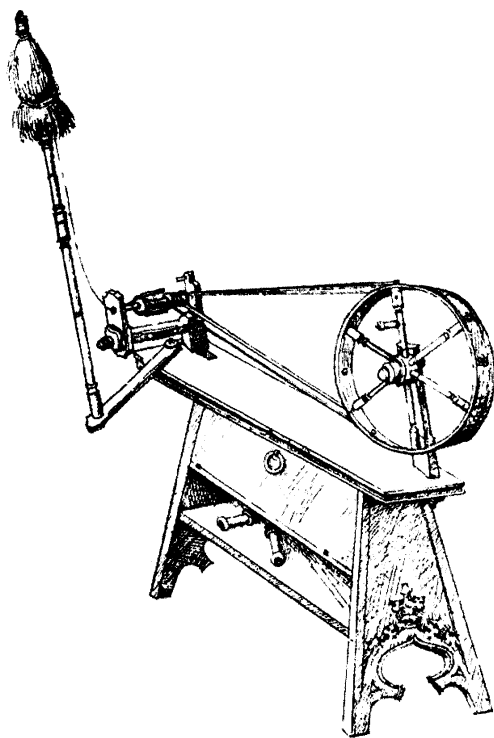
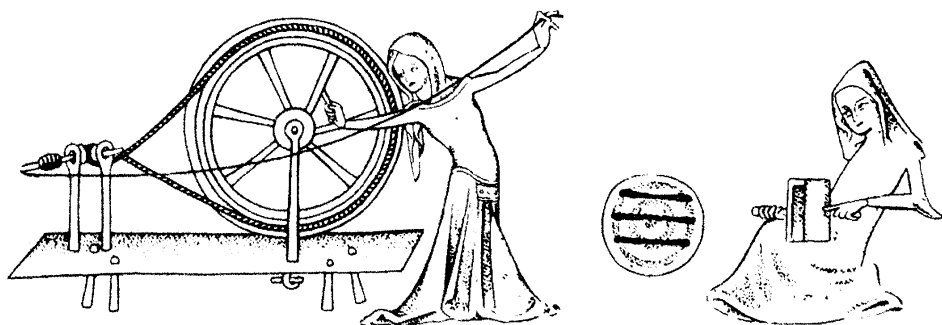


РИС. 13. Средневековые прялки

Прялка на верхнем рисунке, относящемся примерно к 1338 г., намного более примитивна, чем на нижнем (конец XV в.)

Источники: London, British Museum, Add. MS. 42130, fol. 193. After «The Luttrell Psalter». Facs. edition by E. C. Millar, Pl. CXXXVIII, London, British Museum, 1932. Воспроизведено с разрешения попечителей. D. E. Woodall. (нижний рисунок) «Das mittelfalterliche Hausbuch jut Besitz des Fürsten von Waldhurg-Wolfegg-Waldsee». Facs. edition by H. T. Bossert and W. F. Storck, Pl. XXXV (fol. 34a). Leipzig, Seemann, 1912.

в точилах. Важнейшим устройством, в котором он применялся, являлась прялка, впервые появившаяся в шерстяной отрасли в XII в. (Munro, 1988). Кроме того, прялка — первый известный пример применения ременной трансмиссии. Поначалу колесо прялки крутили одной рукой, а второй рукой скручивали пряжу. Это был более производительный метод, чем традиционное прядение с использованием веретена, так как здесь веретено было закреплено на одном месте и крутилось намного быстрее. Внедрение прялки резко повысило производительность фламандской текстильной индустрии¹¹. Тем не менее старый метод существовал еще много столетий. Пряжа, производившаяся на первых прялках, была низкого качества и не годилась как основа для высококачественных тканей. Более того, прялка привязывала прядильщика к дому, в то время как веретено можно было носить с собой повсюду и совмещать работу с другими занятиями. В XV в. была изобретена так называемая саксонская прялка с U-образной рамкой на конце веретена, позволявшей одновременно прядь и скручивать волокна. К XVI в. прялки начали оснащать педальным приводом.

В ткацком деле изначально применялись вертикальные станки, в которых основа натягивалась грузами или между двумя брусками. От этой техники отказались после появления горизонтального станка. Впервые его упоминает в своих комментариях к Талмуду Раши еврейский ученый, живший в XI веке в Труа, указывая, что такой станок используется профессиональными ткачами. Он имел педаль, позволявшую поднимать и опускать проволочки (галева), через которые продевались нити основы (White, 1978, p. 274n). Благодаря более туго

11. Адам Смит полагал, что прялка удваивала производительность труда. См.: Smith ([1776] 1976, p. 273). По оценке Манро (Munro, 1988, p. 698), она повышала производительность труда втрое. Кан (Kuhn, 1988, p. 202), обсуждая китайскую прялку, соглашается с тем, что такая цифра вполне разумна.

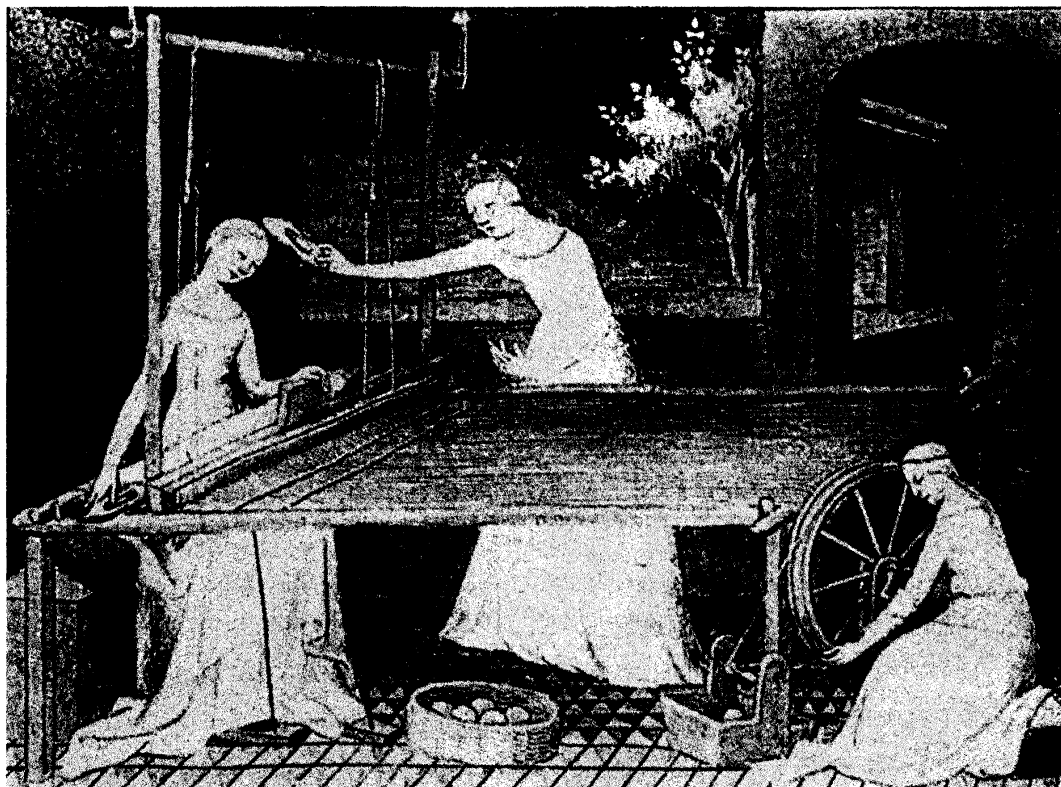


РИС. 14. Горизонтальный ткацкий станок XIV в.;
справа изображена прялка

Источник: Science Museum Library, London.

натянутой основе и возможности ткать намного более длинные куски материи новый станок повысил производительность труда примерно на 325% (Munro, 1988, p. 704). В XIII в. европейцы также освоили производство шелка; главным центром этой отрасли стал город Лукка в Тоскане. Лукканские шелковые фабрики, на которых широко применялись водяные колеса и сложные механизмы, можно считать первыми механизированными текстильными предприятиями.

К XIII в. относятся и некоторые другие полезные изобретения. Так, в Италии около 1285 г. были изобретены очки, быстро получившие широкое распространение¹².

12. Показательно, что исламские ученые (например, живший около 1000 г. Ибн ал-Хайсам, известный на Западе как Альхазен) изу-

Функциональная пуговица, совершившая небольшую революцию в одежде, впервые появилась в Центральной Германии в 1230-х гг. На Востоке никогда не было придумано ничего подобного: японцы пришли в восторг, увидев пуговицы на одежде португальских купцов, и переняли у них не только пуговицу, но и соответствующее португальское слово (White, 1968, p. 129–130). В сфере гидравлики на Средневековье приходится изобретение шлюза. Известно, что каналы и камерные шлюзы существовали в Нидерландах в XII в., а к концу XIV в. строились уже повсеместно (Forbes, 1956d, p. 688). В XV в. лидерство в гидростроительстве перешло к Северной Италии, где сооружались всевозможные шлюзы, венцом которых стал шлюз с двустворчатыми воротами, изобретенный Леонардо да Винчи. Усовершенствовалась конструкция плотин, способствуя их надежности. В XV в., с обострением проблемы городского водоснабжения, начали появляться книги по водоснабжению и гидравлике. Немецкий военный инженер Конрад Кейзер в своей книге *De Bellefortis* (1405), посвященной инженерному делу на войне, уделил целую главу описанию гидравлических механизмов. Порой эти знания применялись в целях, которые мы сегодня сочли бы легкомысленными — например, в знаменитых садах графа Артуа из замаскированных отверстий прямо на платья величавым дамам вдруг начинали бить струи воды (Price, 1975, p. 65). Однако главным была готовность пользоваться знаниями, и в тех случаях, когда это позволяли навыки и орудия, средневековые мастера с легкостью превосходили достижения античной цивилизации.

Кроме того, в европейской экономике позднего Средневековья все шире применялись различные химикалии. Мусульмане достигли более значительных успехов в химии; прошло много времени, прежде чем в Европе

чали отражение света в изогнутых зеркалах и стеклянных сферах, однако идея поставить оптику на службу людям зародилась в западном обществе.

появился первый химик уровня Ар-Рази или Авиценны. Но все знания о химикалиях, которыми обладали европейцы, использовались ими в производстве. Спирт, красители, квасцы, селитра, ртуть, кислоты — все это применялось при всякой возможности и по мере необходимости. Пусть порох был изобретен не европейцами, но те быстро научились делать такие пушки, которые обеспечили им господство над исламским миром и Востоком. Большинство химикалий все же применялось в мирных целях — для производства цветного стекла, окрашивания тканей, дубления кожи, в искусстве (масляные краски), медицине и металлургии. Это был прогресс без науки, практика без теории, но с осязаемыми результатами. Прогресс обеспечивался усилиями тысяч позабытых мастеров и ремесленников, нередко повторявших сделанное другими, часто растративавших свою креативную энергию в бесплодной погоне за философским камнем или иными миражами. И все же прогресс был налицо: пусть медленный, но необратимый в долгосрочном плане. Можно вполне согласиться с утверждением Альфреда Норта Уайтхеда о том, что в смысле науки Европа в 1500 г. по-прежнему знала меньше, чем знал Архимед в 212 г. до н. э. Но в том, что касается техники, такая оценка, безусловно, ошибочна. К 1500 г. европейская техника оставила далеко позади все достижения античного мира. Пусть европейцы в 1500 г. и не были более мудрыми и просвещенными, чем в 600 г., но зато они подняли на недосягаемую высоту производство товаров и услуг, определяющих материальный уровень жизни.

К 1500 г. Европа более-менее достигла технического паритета с наиболее развитыми странами исламского мира и Востока. Более того, по оценке некоторых историков, к тому времени европейцы уже имели в своем распоряжении больше энергетических ресурсов, машин и организационных навыков, чем какая-либо иная цивилизация, предшествовавшая им или существовавшая в ту же эпоху (Lack, 1977, p. 400). Европа находилась

на пороге превращения из заемщика в кредитора. Технические достижения в целом опережали становление европейской науки. Систематические знания не имели особого отношения к техническому прогрессу. Кроме того, средневековая техника отличалась от античной и современной техники в еще одном важном аспекте. Кардуэлл (Cardwell, 1972, pp. 9–10) указывает на то, что в отличие от античной техники, средневековая техника не поражала своим размахом и экстравагантностью. Помимо строительства впечатляющих, но немногочисленных церковных зданий и замков, она применялась в основном в частном секторе, будучи делом рук крестьян, колесников, каменщиков, ювелиров, шахтеров и монахов. Главным признаком средневековой техники была ее практичность: она предназначалась для решения скромных задач, постепенно преобразовавших повседневное существование. Она во все большем количестве обеспечивала людей продовольствием, транспортом, одеждой, утварью, жильем при одновременном росте их качества, становясь движущей силой шумпетерианского роста.

Ренессанс и не только техника в 1500–1750 гг.

КАК отмечалось выше, к 1500 г. Европа вышла из технического застоя, который царил здесь в 900 г.; более того, ее техническое развитие уже не являлось той имитацией чужих достижений, какой оно было в 1200 г. Несомненно, Европа многое взяла у Китая, как неустанно указывает Нидхэм¹. Однако в течение 1300–1500 гг. технологическая креативность Европы становилась все более оригинальной. В позднем Средневековье китайская техника, по выражению Ландеса, зашла в «великолепный тупик». Китай после 1500 г. уже не представляет особого интереса для историка техники. Применение гидроэнергии в металлургии не привело к возникновению китайского Манчестера, точно так же, как изобретение печати не сопровождалось в Китае массовым распространением печатных книг. Знаменитые водяные часы Су Суна не повлекли за собой сооружения боль-

1. Регулярные заявления Нидхэма о китайских истоках западной техники во многом представляют собой необходимый противовес уже выходящим из моды работам по истории техники, написанным с евроцентричной точки зрения. Однако не исключено, что Нидхэм преувеличивает китайское влияние. Он вполне мог быть прав, выступая со своим известным утверждением о том, что «мир в гораздо большей степени обязан сравнительно неизвестным ремесленникам древнего и средневекового Китая, нежели александрийским механикам» (Needham, 1969, p. 58). Но к 1500 г. Европа уже была в гораздо большей степени обязана своим собственным неизвестным ремесленникам и инженерам.

ших часов в центре каждого китайского города. В главе 9 мы рассмотрим технологический опыт Китая более подробно².

В эпоху после 1500 г. разрыв между Европой и остальным миром постепенно расширялся, несмотря на относительно небольшое количество макроизобретений. Технический прогресс в традиционном смысле слова шел беспрепятственно, однако рост производительности несколько замедлился и обеспечивался главным образом цепочками микроизобретений и модификациями существовавших технологий. Отсутствие технологических прорывов в 1500–1750 гг. можно объяснить тем, что при наличии множества смелых и новых технических идей дефицит навыков и необходимых материалов препятствовал их внедрению. Если считать, что изобретение рождается в тот момент, когда соответствующая идея впервые приходит кому-то в голову, а не тогда, когда оно начинает использоваться на практике, то этот период окажется не менее креативным, чем эпоха промышленной революции. Однако лодки с гребными колесами, вычислительные машины, парашюты, авто-ручки, паровые турбины, механизированные ткацкие станки и шарикоподшипники, придуманные в те годы, при всем их интересе для историка идей не оказали никакого влияния на экономику, потому что не могли быть применены на практике. Образцовым изобретателем данного периода можно назвать голландского инженера Корнелиуса Дреббеля (1573–1633), который внес вклад в развитие самых разных отраслей, включая производство химических красителей, часовое дело и сооружение печей, однако в первую очередь прославился тем, что в 1624 г. продемонстрировал первую действующую подводную лодку — за два с половиной столетия

2. Долги Европы перед Востоком не относятся к одному лишь Китаю. Свой вклад в европейскую энергетику, металлургию и текстильную промышленность внесли Индия, Тибет и даже Малайя (Lynn White, 1978, p. 43–58).

до того, как появилась возможность их практического применения.

С чисто экономической точки зрения важнейшее техническое новшество в смысле его потенциального вклада в материальное благосостояние вообще едва ли можно было назвать изобретением. Речь идет о так называемом «новом сельском хозяйстве» — системе передовых сельскохозяйственных приемов, впервые появившихся в Нидерландах в конце Средних веков. Эти новшества очень медленно распространялись до Англии и на восток, но и к 1750 г. их внедрение отнюдь не завершилось, а в некоторых регионах, включая большую часть Франции, вообще едва ли началось. Однако принципы «нового сельского хозяйства» носили революционный характер и их использование со временем привело к росту сельскохозяйственного производства. Основой «нового сельского хозяйства» служили три тесно связанных друг с другом элемента: новые культуры, стойловое содержание скота и отказ от парования. В результате появилась возможность содержать больше скота, обеспеченного более качественным питанием, что влекло за собой рост продукции животного происхождения. От лучше питавшегося скота крестьяне получали больше удобрений — соответственно, повышалась урожайность зерновых. Новые фуражные культуры, такие как люцерна, клевер, кормовые травы, репа и кормовая свекла, оказались так же полезными, как культуры, чередующиеся с зерновыми в новом севообороте. Помимо этого, их внедрение позволило прервать прежние циклы распространения болезней и размножения вредителей, а некоторые из новых культур являлись азотфиксирующими. Благодаря большей доступности удобрений и необходимости окучевать такие новые культуры, как репа, снижалась нужда в паровании, и обычай оставлять землю под паром стал постепенно отмирать в ряде регионов, увеличивая фактическую площадь пахотных земель. «Новое сельское хозяйство» складывалось из дополняющих друг друга приемов, из взаимно стимулирующих

и симбиотических изменений, но его распространение шло медленно. Некоторые новые культуры плохо росли на тяжелых почвах, другие требовали тщательного осушения, не осуществимого в данных условиях. Прогресс замедлялся нехваткой капитала, чересполосицей участков и враждебностью со стороны тех, у кого новые методы вызывали страх или кому они угрожали. Некоторые исследователи полагают, что переход к «новому сельскому хозяйству» сопровождался огораживанием открытых полей, но в настоящее время это мнение оспаривается. В любом случае популярный термин «аграрная революция» применительно к внедрению «нового сельского хозяйства» ошибочен. В этом процессе не было ничего внезапного.

Влияние «нового сельского хозяйства» на уровень жизни трудно оценить количественно. Во многих сферах полномасштабное применение новых методов началось лишь в XIX в. Да и там, где они внедрялись, не так-то просто выяснить, в какой мере рост производства продовольствия был обязан этим передовым приемам. Тем не менее большинство экспертов согласно с тем, что в долгосрочном плане «новое сельское хозяйство» оказало глубокое влияние на экономическое благосостояние большинства европейцев. Тем не менее технический прогресс в сельском хозяйстве, позволяя производить больше продовольствия, почти никак не облегчил жизнь мужчин и женщин, работавших в поле. Даже новые орудия, внедрившиеся в то время, по большому счету способствовали экономии капитала и земли, но не труда. В качестве примера можно привести рядовую сеялку. В традиционном английском земледелии сев производился вручную, путем разбрасывания семян. Подобный способ не только вел к растрае семян и к неравномерному засеву, но и затруднял прополку из-за неравномерного прорастания посевов. В XVI в. стал известен метод «высаживания» семян (в земле кольями делали лунки, в которые опускали семена). Изобретение современной рядовой сеялки, по-

мещающей семена в лунки, находящиеся на одинаковом расстоянии друг от друга, что резко повысило семенную продуктивность, обычно приписывается Джетро Таллу, который построил и продемонстрировал первые прототипы такой сеялки около 1700 г., хотя до XIX в. она так и не получила широкого распространения. Также Талл предложил в 1714 г. конную мотыгу. Новые железные плуги, внедренные сперва в Нидерландах, а потом в Англии, также, вероятно, в большей степени сэкономили капитал, чем труд. Благодаря криволинейному отвалу, прокладывавшему борозду, новый плуг испытывал меньшее сопротивление со стороны почвы, что облегчало и упрощало вспашку. Однако дереву было трудно придать необходимую форму, и потому после 1650 г. отвалы все чаще стали делать из железа. Это привело к исчезновению колес и к снижению числа тягловых животных, требовавшихся для пахоты. В 1730 г. в Англии был запатентован «Роттерхамский», или голландский, плуг.

В сфере энергетики средневековые технологии совершенствовались, но не революционизировались. Ветряная мельница продолжала свой извилистый путь по направлению ко все большей эффективности, когда голландские и итальянские инженеры изобрели в XVI в. башенную мельницу с неподвижным механизмом и устанавливавшимся под оптимальным углом осью и крышей. К XVII в. ветряная мельница обеспечивала экономику Голландии — экономического европейского вундеркинда той эпохи — дешевым, чистым и неисчерпаемым источником энергии, предметом зависти современных экологов. — Голландцам часто удавалось повысить эффективность производства, используя техническую изобретательность, как, например, в случае с голландером (*hollander*), приспособлением для производства бумаги, изобретенным около 1670 г. Оно состояло из горизонтальных валиков, снабженных шипами и молотками, которые разрывали лоскуты, используемые для изготовления бумажной массы (Hunter, 1930, p 170–171). Благодаря голландеру голландской бумаге

не было равной по качеству в Европе. Ветряные мельницы также были приспособлены для лесопилок в регионе Заандама, где в течение десятилетий на голландских верфях строились лучшие в Европе корабли. Производство и передача энергии воды также совершенствовались. Тем не менее, несмотря на привлекательность использования энергии ветра и воды, сохранялась необходимость в машине, независимой от превратностей европейской погоды.

В европейских странах прямо на поверхности земли или чуть ниже ее лежат колоссальные запасы накопленной солнечной энергии в форме торфа и угля. Они использовались в Европе и до 1500 г., однако возникновение новых многочисленных способов их применения, получавших все более широкое распространение, заставляет некоторых исследователей считать этот процесс не менее важным, чем величайшие изобретения промышленной революции³. В Великобритании и некоторых регионах материка, включая княжество Льеж в современной восточной Бельгии, уголь применялся в кузнечных горнах, в производстве стекла, соли и квасцов, при варке мыла и выжигании извести⁴. В пивоваренной отрасли, потребляющей много топлива, обычный уголь не годился, так как он портил вкус пива, однако британские пивовары научились применять термически обработанный уголь, впоследствии получивший название «кокс». Также и голландцы широко использовали свои обильные запасы торфа как для отопления домов, так и в бесчисленных отраслях,

3. См. утверждение Джона У. Нефа (Nef, 1964, p.170): «к середине XVII в. в Англии была создана новая структура промышленности на основе угля, и из этой структуры выросла индустриальная Великобритания XIX века».

4. Квасцы — это двойной сульфат аммония и трехвалентного металла. Они широко используются в химической отрасли, в том числе при окраске тканей, дублении кожи, изготовлении бумаги и в фармацевтике.

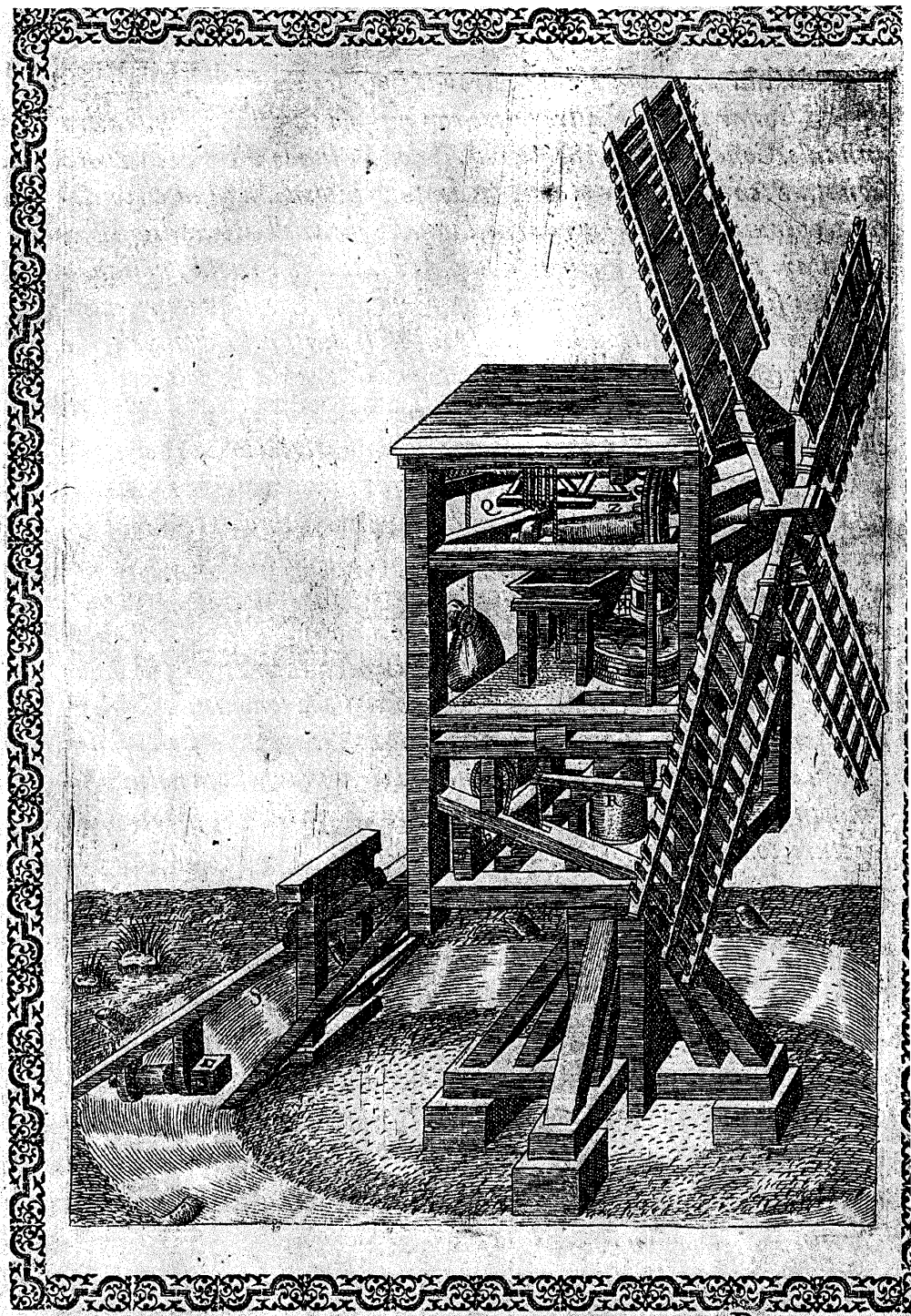


РИС. 15. Ветряная мельница для помола зерна.

В мельнице этого типа весь механизм мог поворачиваться вокруг вертикальной оси

Источник: The various and ingenious Machines of Agostino Ramelli. Translated by Martha Teach Gnudi. Dover Publications, Inc.

способствовавших наступлению голландского Золотого века. Крупными потребителями торфа были кирпичные заводы, печи для обжига, солеварни, пекарни, белильни, фабрики по производству черепицы и краппа (красителя растительного происхождения), и многие другие отрасли. Оставались неосвоенными лишь две важнейшие сферы применения ископаемого топлива: выплавка железа и эффективное превращение тепловой энергии в энергию движения (кинетическую).

В течение 1500–1700 гг. серьезным усовершенствованиям подверглись доменные печи. Значительно возросли их размер и эффективность: в 1500 г. самая совершенная доменная печь могла выдавать 1200 кг чугуна в день, а к 1700 г. средняя дневная производительность печи составляла уже свыше 2000 кг чугуна, притом что расход топлива уменьшился. Важным новшеством являлся процесс непрерывной плавки, при котором руда и топливо подавались в печь непрерывно, что обеспечивало непрерывный выход чугуна. Подобная «плавка» могла продолжаться к 1700 г. до 40 недель. В этот период также начали применяться отражательные печи, впервые описанные итальянцем Ваноччо Бирингуччо в его книге *De la Pirotechnia* (1540) и внедренные в английской стекольной промышленности около 1610 г. В таких печах не было дымоходов, а воздух поступал в них по подземным трубам. Куполообразный свод, выложенный огнеупорной глиной, отражал тепло обратно в печь, создавая в ней очень высокую температуру. Также в середине XVI в. появились *водяные мехи*, использовавшие поток воды для подачи воздуха в топку подобно перевернутому газлифтному насосу. Однако некоторые факты (Smith and Forbes, 1957, p. 30) говорят о том, что этих технических усовершенствований не хватало для того, чтобы предотвратить рост стоимости железа вследствие роста затрат на топливо и на оплату труда. В таких областях металлургического производства, как очистка и формовка, самой важной инновацией являлось изобретение прокатки, энергию для которой обычно дава-

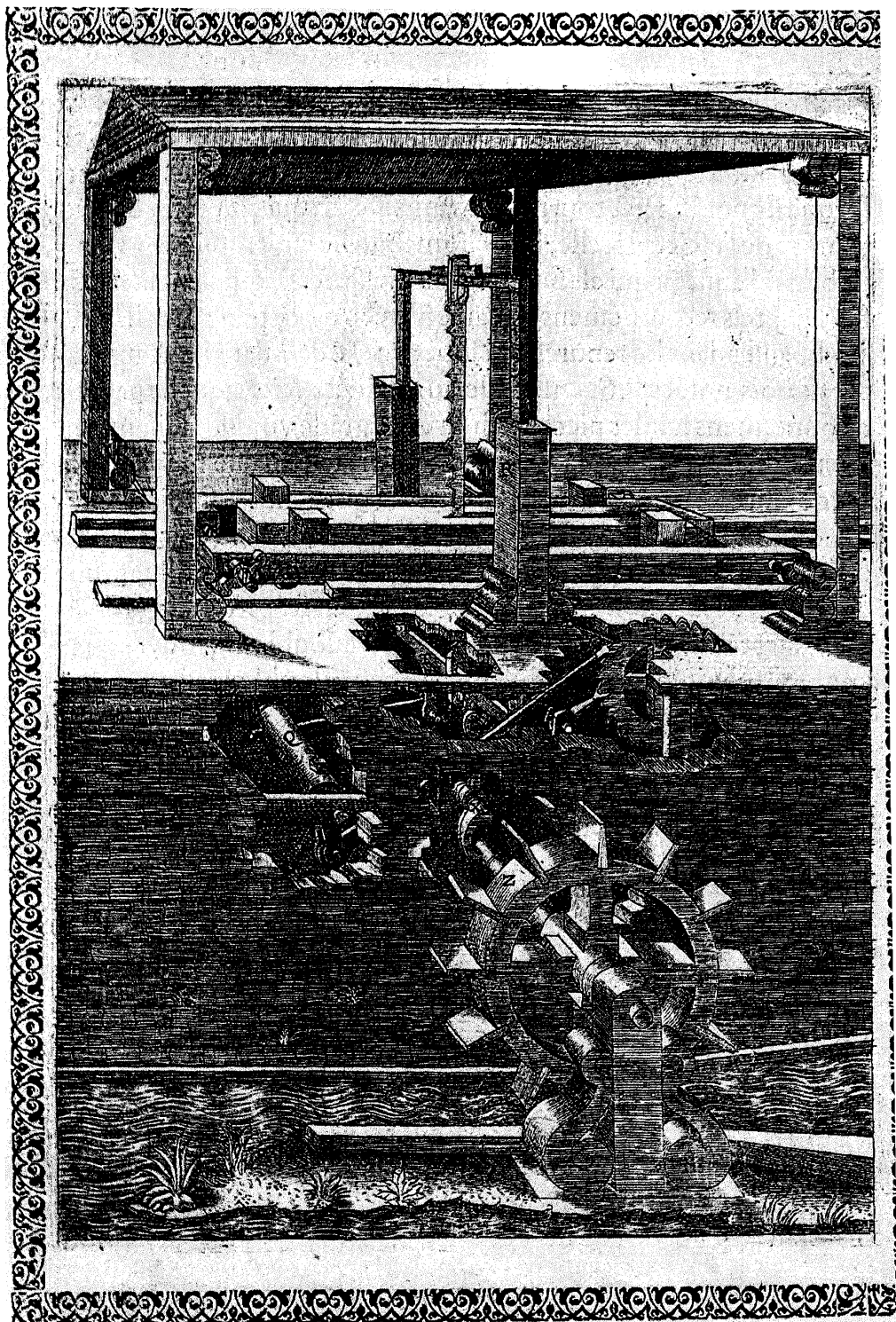


РИС. 16. Лесопилка с приводом от водяного колеса по изображению Рамелли (1588 г.)

Источник: The various and ingenious Machines of Agostino Ramelli. Translated by Martha Teach Gnudi. Dover Publications, Inc.

ло водяное колесо. Прокатные станы, на которых производились листы малоуглеродистого железа, и резаки, нарезавшие их на тонкие полоски, из которых делались гвозди, проволока, булавки, ножи и другая готовая продукция, работали в Льежском регионе около 1600 г., став важным фактором, обеспечившим рост отрасли (Gutmann, 1988, p. 62). В Англии метод проката в 1568 г. использовался при изготовлении свинцовых рам для окон, а в железоделательную отрасль проник в середине XVII в., хотя качество готовой продукции было низким (Tylecote, 1976, p. 90).

Экономическая активность распространялась не только вширь, но и вглубь, в недра самой Земли. Где-то около 1450 г. горное дело, особенно в Центральной Европе, вступило в эпоху невиданного доселе прогресса (Molenda, 1988). Здесь мы тоже не видим знаменитых изобретателей — лишь бесконечный поток незаметных анонимных усовершенствований. Однако в этой сфере найдется своего рода герой, а именно Георг Бауэр, который под латинизированным именем Георгий Агрикола стал известен как автор труда *De Re Metallica*, изданного посмертно в 1556 г. Эта работа — одна из самых глубоких и подробных книг по горному делу из всех когда-либо написанных⁵. Опираясь на нее, мы можем судить о том, какие новшества появились в горнорудной отрасли после 1450 г. Агрикола описывает машины, применявшиеся для осушения и вентиляции, краны для подъема руды, конструкцию шахт и даже методы проверки качества руды. Похоже, что шахтеры сталкивались тогда с теми же проблемами, что и сегодня: первыми в этом списке стоят затопление шахт, взрывы и вертикальная транспортировка людей и грузов. Европейским и миро-

5. Труды Агриколы были почти совершенно забыты, пока его книгу не нашел молодой американский горный инженер Герберт Гувер, который при помощи жены перевел ее с латыни и издал в 1912 г., прежде чем попробовать свои силы на другом поприще.

вым лидером в горнорудных технологиях была Германия. Немцы создавали сложные системы трансмиссии, служившие для передачи механической энергии от водяных колес, расположенных в долинах, в шахты, вырытые высоко в горах; подрывали скалы порохом; первыми стали прокладывать рельсовые пути в подземных выработках; использовали лебедки, приводимые в действие лошадьми; но, в первую очередь, они разработали всевозможные насосы (впоследствии нашедшие применение в пожарном деле и в других областях)⁶. Не менее влиятельной фигурой был богемский горный инженер Лазарус Эркер, чей капитальный труд о минералах и горнорудных технологиях, изданный в 1574 г., поколениями использовался как учебник для рудознатцев. Как Агрикола, так и Эркер были эмпириками, а не учеными. Их книги не содержали никаких теорий, лишь описания приемов, пригодных для практического использования: горное дело оставалось почти исключительно набором эмпирических знаний. Ни Агрикола, ни Эркер не уделяют особого внимания железу — важнейшему промышленному материалу того времени, в этом качестве не знавшему конкуренции. Кроме того, им не всегда можно верить. Например, по словам Эркера (Ercker [1580], 1951, p. 223), он с неохотой был вынужден прийти к заключению о том, что железо превращается в медь под воздействием купороса (серной кислоты). Редактор этого издания Сирил Стэнли Смит отмечает, что эта ошибка — хороший пример того, как сложно понимать химические процессы в отсутствие надежных количественных измерений. И все же если не наука, то ученые

6. Один из историков не слишком преувеличивал, называя этот период «эпохой насоса» (Burstall, 1965, p. 144). Некоторые авторы того времени, писавшие о технике, уделяли много внимания описанию различных насосов. Помимо Агриколы, к таким авторам относился Агостино Рамелли, чья книга *Dell'Artificiose Machine* (Ramelli, [1588], 1976) содержит описания более 100 насосов.

внесли значительный вклад в горное дело. Величайшие умы XVII века, от Галилея до Ньютона, задумывались над проблемами вентиляции шахт, их безопасности, откачки воды, минералогии и определения металла в руде, а также подъема угля и руды из шахт (Merton, 1938, p. 147–159).

Большое число технических справочников, изданных после 1450 г., представляло собой средство распространения технологий по всей Европе. Инженеры эпохи Ренессанса описывали всевозможные машины и приспособления, многие из которых предназначались для применения в сельском хозяйстве или на войне. Так возникла техническая литература, писавшаяся инженерами для инженеров, благодаря чему расширялся обмен техническими знаниями, что способствовало их кумулятивному накоплению. Одним из первых и величайших авторов технических трудов был сиенский инженер Мариано Якопо Таккола, в своей работе *De Machinis Libri* подытоживший сведения о машинах и механике, накопленные к середине XV в. Влияние Такколы было столь велико, что его называли «сиенским Архимедом». Книга Жака Бессона *Theatrum Instrumentarum et Machinarum*, изданная в 1569 г. на латыни и на французском, за последующие 35 лет выдержала три перевода и семь переизданий. Немец Иероним Брюншвик издал книгу о перегонке *Liber de Arte Distillandi* (1500), впоследствии многократно переводившуюся и переиздававшуюся. Эта литература свидетельствует о растущем уважении европейцев к машинам и к их создателям. Тем не менее сомнительно, чтобы эти работы оказывали заметное влияние на промышленную практику той эпохи, за исключением немногих отдельных отраслей (Gille, 1966). Чиполла (Cipolla, 1972) указывает, что книга Витторио Дзонки *Nuovo Teatro di Machine et Edificii*, впервые изданная в 1607 г., содержала подробное описание якобы секретной шелкокрутильной машины, использовавшейся в Северной Италии, и что эта книга с 1620 г. была доступна в Великобритании. Тем не менее шелкокру-

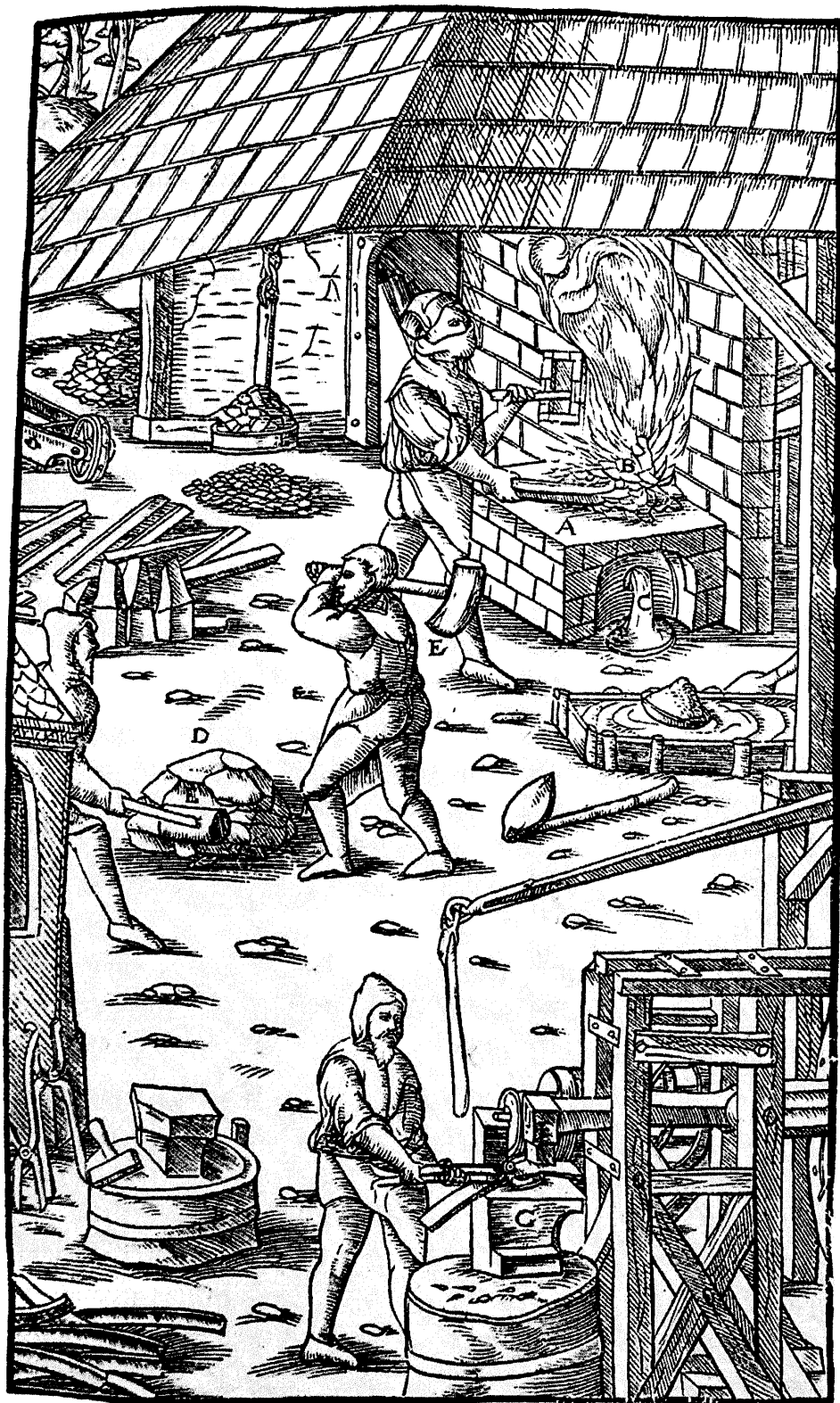


РИС. 17. Железоплавильная печь
и кузница, середина XVI в.

Источник: Georgius Agricola, *De re metallica*, 1556.

чение было освоено в Великобритании лишь столетием позже, после того как Джон Ломб, один из величайших промышленных шпионов в истории, пробыл два года в Италии, изучая тонкости этой технологии.

Подробные описания, содержащиеся в книгах о механике и горном деле, могут создать неверное впечатление, будто бы машины, описывавшиеся Агриколой, Рамелли и другими авторами, встречались в ренессансной Европе на каждом шагу. В реальности же наблюдался огромный разрыв между передовой и стандартной технологией. Во-первых, многие сложные машины, описывавшиеся в этих работах, были просто слишком дорогими; даже если они в конце концов окупались, их создателям или инженерам зачастую бывало трудно покрыть издержки строительства или собрать необходимые средства. В других случаях нехватка местных квалифицированных рабочих и механиков препятствовала использованию машины, которая хорошо работала в другом месте, отличавшемся иными условиями. Инновации оставались жизненной силой, но их воздействие на производительность проявлялось медленно. Вполне может быть, что прирост производительности труда в механике и горном деле в основном обеспечивался применением более совершенных инструментов, экономией за счет масштаба и более эффективной организацией труда.

Видное место среди успехов ренессансной техники занимают ее достижения в гидравлике — сфере, в которой преуспел античный мир, но затем много столетий пребывавшей в забвении. Итальянские инженеры, включая Леонардо да Винчи, много писали о плотинах, насосах, трубопроводах и туннелях. Лидерами в практическом гидростроительстве той эпохи были голландцы. После катастрофических наводнений 1421 г. голландские инженеры постепенно осушили затопленные земли, отгораживая их дамбами от крупных рек и моря и откачивая воду с помощью механических черпальных колес и винтовых насосов. Накопленный опыт в XVII в.



РИС. 18. Печь для выплавки меди и свинца по изображению из книги Лазаруса Эркера (1580)

Источник: Lazarus Ercker, *Treatise on ores and assaying*, 1580.

помог им решать аналогичные проблемы на болотах Пуату и при осушении английского Фенланда. Инженеры-гидростроители сражались с морями, реками и болотами от Венеции до Любека. Достижения в гидравлике позволили европейцам добиться прогресса в одной из тех сфер, в которых они все еще сильно отставали от римлян — в водоснабжении. Системы водоснабжения с механическим приводом были сооружены в Толедо (1526), Аугсбурге (1548) и Лондоне (1582). Одним из самых знаменитых инженерных достижений эпохи барокко была насосная станция в Марли, построенная валлонским инженером Арнольдом де Виллем в 1678–1685 гг. для подачи воды в королевские дворцы в Версале, Марли и Трианон. Четырнадцать огромных водяных колес приводили в действие 221 насос, и хотя эта система имела свои изъяны (насосы были неэффективными и шумными), тем не менее она представляла собой триумф гидравлики XVII в. В смысле масштабов крупнейшим гидростроительным проектом той эпохи был открытый в 1681 г. Лангедокский канал, связавший Атлантический океан со Средиземным морем с помощью 26 шлюзов на подъеме от Тулузы до верхней точки и еще 74 шлюзов на спуске к Сету.

В текстильной отрасли прялка была оснащена педалью и рукояткой, упростившими работу. Ножной привод освободил обе руки работника для подачи пряжи. Ноттингемширский священник Уильям Ли в 1589 г. изобрел «чулочную раму» — вязальную машину с ручным приводом, состоявшую из деревянной рамы с прикрепленными к ней крючками. Машина Ли распространилась в первой половине XVII в. по всей Европе и может считаться одним из немногих истинных макроизобретений той эпохи. В 1604 г. был создан голландский ткацкий станок, позволявший ткать до 24 лент одновременно — его изобретение приписывается голландцу Виллему Диркзу ван Зонневельту. Также в тот период появлялись новые ткани, и именно тогда европейцы сами освоили производство хлопчатобумажных тканей, прежде вво-

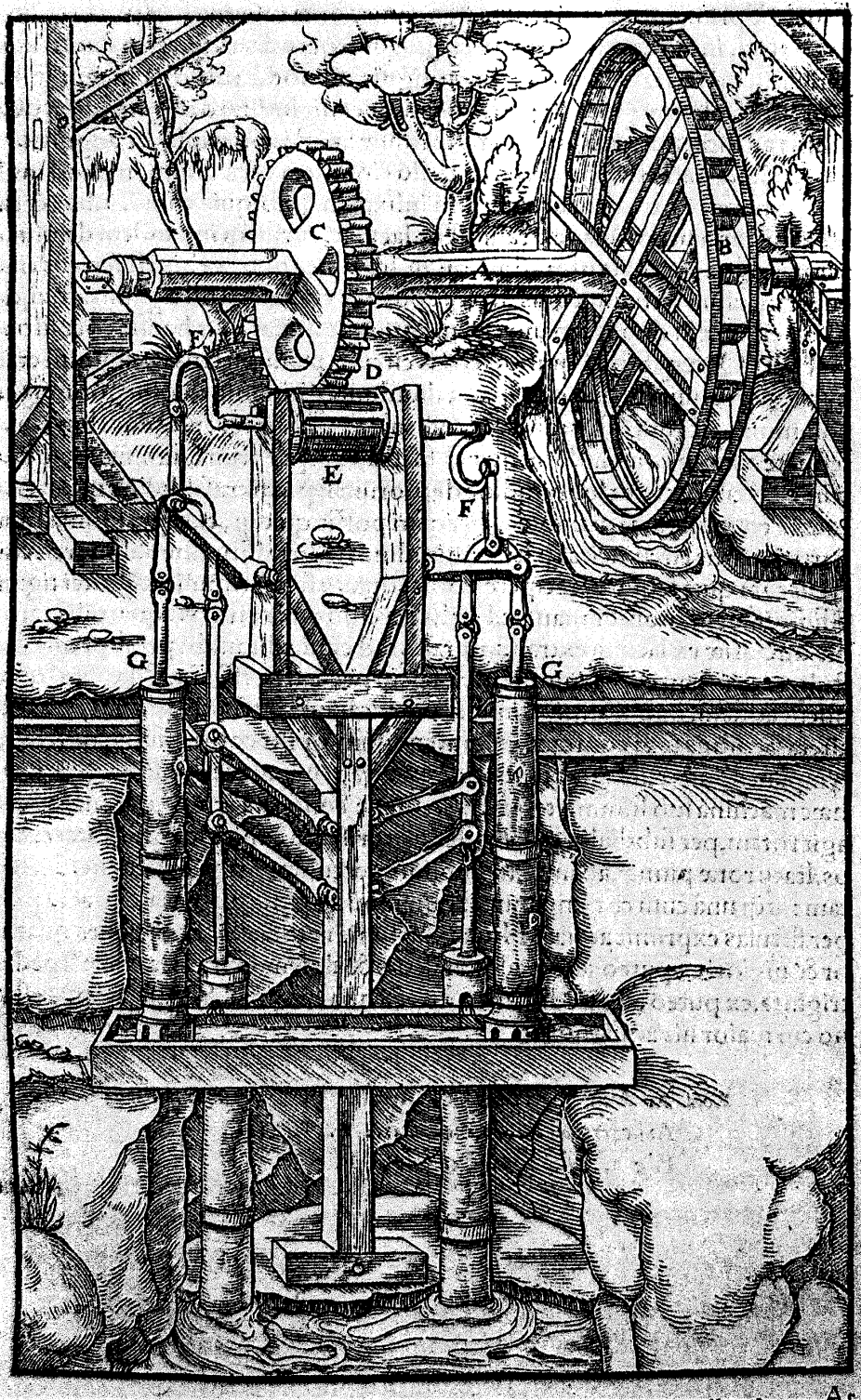


РИС. 19. Насос XVI в. для осушения шахт с приводом от водяного колеса по изображению из книги Агриколы
 Источник: Georgius Agricola, De re metallica, 1556.

жившихся из стран Востока. Впрочем, до доминирования тканей из хлопка в Западной Европе было еще очень далеко, и раннее новое время отличалось широким распространением камвольной ткани, которая изготовлялась из грубой шерсти методом гребенного, а не кардного прядения. Камвольная ткань не нуждалась в набивке, что делало ее относительно дешевой, и была легче обычной шерстяной ткани, а соответственно, и более привлекательной для потребителей в более теплых странах. Не являясь крупным прорывом, эта технология все же проникла с материка в Великобританию, где стала важной частью промышленного сектора, известного как производство «новых тканей». С механической точки зрения самой интересной инновацией было изобретение шелкокрутильного станка. К XVII в. крупные шелкокрутильные предприятия, во всех отношениях представлявшие собой настоящие фабрики, появились в таких регионах Италии, как Тоскана и Пьемонт. На крупной фабрике болонского типа, построенной братьями Ломб в Дерби в 1717 г., использовалось огромное водяное колесо, вращавшее не менее 25 тыс. маленьких колес, одновременно скручивавших шелковую нить и наматывавших ее на шпульки.

Доминирующей чертой этой эпохи во многих отношениях являлись географические открытия. Возможно, в каком-то смысле они замедлили темп технического прогресса, поглощая энергию многих предприимчивых и находчивых европейцев. Тем не менее технические и географические открытия нередко взаимно дополняли друг друга, и взаимодействие между смитианским и шумпетерианским ростом принимало различные формы. Одной из них являлась конструкция кораблей. Хотя в период Ренессанса мы почти не встречаем столь же революционных инноваций в технике кораблестроения и мореплавания, как в позднем Средневековье, прогресс в менее зрелищных, но экономически значимых сферах способствовал существенному снижению транспортных издержек. В авангарде этого процесса находи-

лись голландские верфи. В 1570 г. некоему голландскому моряку пришла в голову идея отдельной стеньги, приделанной к верхушке грот-мачты и продолжающей ее. Такая система давала двойное преимущество: отпадала необходимость искать высокие и дорогостоящие деревья для изготовления грот-мачт, и стеньгу можно было снять в штормовую погоду, снижая вероятность того, что грот-мачта сломается (Unger, 1978, p. 28). Голландское кораблестроение было передовым и в смысле специализации: на голландских верфях строилось не менее 39 различных типов одних только судов для рек и каналов. Кульминацией этой тенденции было появление голландского флейта (*fluytschip*), согласно легенде впервые построенного в 1595 г. Он увенчал собой столетие непрерывной рационализации и усовершенствований. Флейты были дешевыми в постройке и эксплуатации, обслуживались маленькой командой и имели большую грузоподъемность, что позволяло голландцам отбирать у французов и англичан до 30–50% их морских грузоперевозок до тех пор, пока те не научились строить аналогичные суда (Derry and Williams, 1960, p. 209–210). После внедрения тяжелых морских пушек корабли в Северной Европе снова стали специализированными, как в римское время и на Средиземном море в Средневековье. Торговые и военные корабли различались конструкцией, и крупные невооруженные купеческие суда отныне плавали в конвоях, под защитой тяжело вооруженных боевых кораблей (Unger, 1981). Усовершенствования в навигации также были незначительными, сводясь к улучшенным квадрантам и картам, однако самая большая проблема, с которой сталкивались моряки — точное определение долготы в открытом море, — не получила удовлетворительного решения вплоть до XVIII в.⁷.

7. Проблема фактически сводилась к постройке точных часов, которые бы выдерживали качку плывущего судна и позволяли сравнивать время на борту судна, измеренное по положению

Сухопутный транспорт оставался медленным и неуклюжим, но понемногу совершенствовался в эпоху Ренессанса. В этот период появились более удобные экипажи с примитивными рессорами, сделанными из полос кожи. Считается, что их начали строить в венгерском городе Коч — откуда и происходит английское слово «coach». К концу XVII в. почтовые кареты обзавелись стальными рессорами, стеклянными окнами и тормозами. Кроме того, в ренессансной Европе возродилась международная почтовая система. Интеграция и постепенное объединение Европы, облегчая передвижение людей и идей, ускоряли распространение техники.

Явное и заметное влияние на Европу оказывали открытия в Новом Свете и других регионах. Культуры с других материков ввозились в Европу или разводились европейскими предпринимателями за морем для сбыта европейским потребителям. В Европу из Нового Света попали кукуруза, табак и картофель. Табак успешно выращивали во многих странах Европы, хотя своим качеством он обычно уступал лучшим сортам, разводившимся в Америке. Кукуруза получила распространение в южной Франции и в Италии как пища для бедняков. Картофель постепенно занял важнейшее место в европейском рационе как питательная и дешевая еда — сперва это произошло в Ирландии, потом в Нидерландах, а после 1800 г. почти по всей Европе. Также европейцы познакомились с новыми промышленными товарами, что приводило к росту импортзамещающих отраслей. Так, в Саксонии в 1712 г. было освоено производство фарфора, а в Великобритании возникла хлопчатобумажная

солнца, со временем в некоей фиксированной точке — например, в Гринвиче; различие между тем и другим даст искомое значение долготы. В решении этой задачи участвовали лучшие ученые XVII века, однако технические трудности казались непреодолимыми. В 1714 г. специально созданный Совет по долготы назначил огромную премию в 20 тыс. фунтов «тому, кто сумеет определить долготу в море». Часы, достаточно точные для решения этой проблемы, построил Джон Гаррисон в 1762 г.

промышленность, порожденная желанием конкурировать с высококачественными индийскими хлопчатобумажными тканями, известными как ситец.

Таким образом, технический прогресс в эпоху открытий главным образом принимал форму знакомства с иностранными технологиями и культурами и их освоения на новом месте. Деятельные европейцы заимствовали из Америки сельскохозяйственные культуры в обмен на скот, пшеницу и виноград, завезенные в Новый Свет. Более того, они перевозили неевропейскую флору из Америки в Африку и Азию и наоборот, в крупных масштабах занимаясь тем, что можно назвать экологическим произволом⁸. Так, они ввезли бананы, сахарный тростник и рис в Новый Свет, а кассаву (известную также как маниок) в Африку, где она постепенно стала основной продовольственной культурой во многих регионах (Crosby, 1972, p. 187). Сладкий картофель и арахис пользовались большим успехом в Китае, куда португальские купцы привезли их из Америки в XVI в.

Географические открытия, наряду с совершенствованием техники, также позволили заметно улучшить снабжение рыбой, составлявшей важную часть европейского питания. Поскольку разведение скота было делом затратным, а поставки дичи в большинстве стран Европы не соответствовали потребностям, то рыба являлась незаменимым источником белков. Проблема заключалась в ее хранении. В средневековые времена свежей рыбой могли питаться лишь те, кто жил вблизи от источников снабжения. Главным образом в Европе ловили сельдь — сперва в Балтийском, а затем и в Северном море. В конце XIV в. голландские рыбаки начали потрошить и засаливать свежельовленную сельдь, что резко увеличило срок ее хранения. Примерно к 1415 г. они же стали пользоваться дрефтерными сетями, позволяющими резко увеличить улов благодаря тому, что судно тя-

8. Экологические последствия эпохи географических открытий весьма пронциательно разбирает Кросби (Crosby, 1972, 1986).

нет такую сеть за собой. Приблизительно в то же время корабли, оснащенные такими сетями, стали напоминать небольшие плавучие фабрики. В их экипаж входили бондари и солильщики, немедленно подвергавшие рыбу обработке. Эти рыболовные судна, известные как голландские боты, позволили голландцам на несколько веков захватить монополию на рыболовство в Северном море. Кроме того, важным продуктом питания являлась также потрошенная и вяленая треска, продававшаяся по всей ренессансной Европе. Новый и неожиданный бесплатный источник вяленой трески, пусть не слишком аппетитной по современным стандартам, но богатой белками, европейцам дало открытие Джоном Каботом в 1497 г. крупных угодий трески на банках у Ньюфаундленда, а также использование новых рыболовных снастей с тысячами крючков.

Но в первую очередь век открытий был веком приборов. В западной технике приборы шли перед машинами. Привязанность европейцев к механическим игрушкам в значительной степени порождалась часовым делом. Часовщики знакомили людей с теми чудесами, на которые были способны точные шестеренчатые механизмы, приводимые в действие пружинами. К середине XV в. мировым центром производства механических игрушек стал немецкий город Нюрнберг. Его славу увековечили Э.Т.А. Гофман и Жак Оффенбах в сказке о Нюрнбергской кукле. Впрочем, не все приборы служили для развлечения. Без астрономических инструментов и компасов европейцы не могли бы плавать по всему свету⁹. Также точность требовалась в военном деле

9. Из Нюрнберга и Аугсбурга искусство приборостроения попало в Лувен в южных Нидерландах, а оттуда — в Лондон. Лондонский приборостроитель Хэмфри Коул был учеником льежского ремесленника Томаса Жемини. В число клиентов Коула входили Фрэнсис Дрейк и Мартин Фробишер. Сам Жемини учился на юге Германии. Другой немецкий приборостроитель, Николас Кратцер, много лет жил в Англии. Интересно, что приборы, сделанные немцами, широко применялись при совершении

для калибровки пушек и их наведения на цель. Торговля нуждалась в точных весах, землемерам было не обойтись без одометров. Особой отраслью приборостроения стала оптика. Самые ранние линзы для очков были выпуклыми и могли помочь лишь дальноруким. Незадолго до 1500 г. появились вогнутые линзы, корректировавшие близорукость. В начале XVII в. голландские оптики изобрели телескоп. Принося ограниченную непосредственную пользу в экономике, телескоп отлично иллюстрирует прагматическую склонность европейского менталитета той эпохи. Уже через несколько лет принц Мориц Нассауский использовал телескоп для наблюдения за испанскими армиями, а капитаны его флота с помощью подзорных труб высматривали утесы и вражеские галеоны в море, в то время как в Падуе математик по имени Галилей изучал в телескоп спутники Юпитера. Технические идеи и приспособления, не просто работавшие, а работавшие хорошо вне зависимости от условий, распространялись быстрее, чем когда-либо прежде.

Индустрия точных приборов влекла за собой важные эффекты перелива в промышленном секторе. Главным прорывам пришлось дожидаться промышленной революции, однако токарный станок — один из старейших в мире ремесленных инструментов — совершенствовался по мере того, как у часовых мастеров и производителей приборов появлялась потребность в точно изготовленных деталях и крепежных винтах, а в оптике возрастала нужда в аккуратно отшлифованных линзах. В XVI в. токарный станок был оснащен маховиком и рукояткой — этими впечатляющими средневековыми идеями, непрерывно искавшими все новых применений. Величайшим специалистом по токарным станкам в ту эпоху был Жак

географических открытий, в отличие от самих немцев, почти не принимавших в них участия. Европейский мир к 1500 г. был уже в достаточной мере интегрирован для того, чтобы знания и технологии без труда пересекали границы.

Бессон, французский инженер, работавший при дворе короля Карла IX и построивший около 1569 г. хитроумный и сложный станок для нарезки винтов. Станок Бессона был полуавтоматическим в том смысле, что токарю требовалось только подтягивать и отпускать веревку. Такой станок имел сложную конструкцию и, вероятно, не получил широкого распространения (Woodbury, 1972, p. 57).

Приборостроение в XVI и XVII вв. представляло собой искусство, а не стандартизированную технологию. Большинство усовершенствований являлись результатом интуиции и метода проб и ошибок. Обучение и приобретение практического опыта происходили главным образом в процессе работы подмастерьями и благодаря неформальным контактам. Механики сами изготавливали все необходимые детали, и нередко пропадали между изобретателем, осененным новой идеей, и мастерами, не имевшими инструментов и материалов, необходимых для ее воплощения, оказывалась непреодолимой. Самым знаменитым из этих изобретателей был, разумеется, Леонардо да Винчи, чья проницательность в сфере механики не уступала другим его талантам. От Леонардо до нас дошло 5000 страниц неизданных заметок, в значительной степени связанных с механикой. Однако, не считая «Тайной вечери», творческий гений да Винчи не дал нам почти ни одного «бесплатного завтрака», и лишь немногие из его технических идей были реализованы в ту эпоху¹⁰. Такая же участь постигла и столь же пророческие технические мечтания такого предшественника Леонардо, как Франческо ди Джорджо (1439–1502). Как мы увидим, промышленная революция стала возможной тогда, когда механики

10. Не все блестящие идеи Леонардо представляют чисто академический интерес. Изобретенные им двустворчатые шлюзовые ворота в сочетании с небольшими люками, пропускавшими воду, были установлены на Миланском канале, а в 1564 г. и на Экстерском канале.

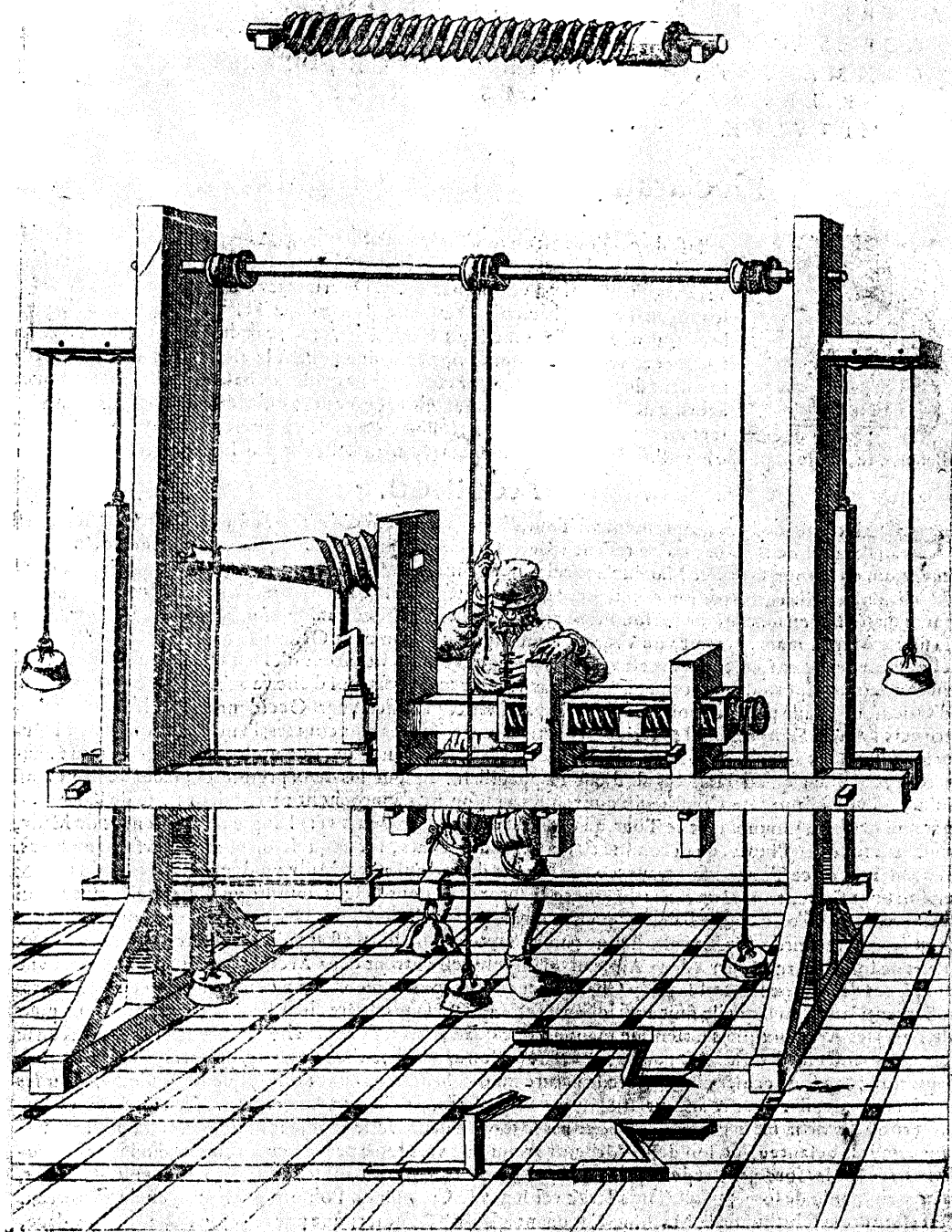


РИС. 20. Винторезный станок
Жака Бессона (1579 г.)

Источник: J. Besson, «Theatre des instrumens»,
Fig. 9. Lyons, 1579.

овладели способностью с помощью станков превращать идеи и чертежи в точные и надежные прототипы. Прежде же приборы и инструменты делались от руки, были дорогостоящими в изготовлении и в ремонте и находили лишь ограниченное применение.

Период 1500–1750 гг. больше известен своими научными достижениями, чем технологическими прорывами. Взаимодействию того и другого посвящена обширная литература, которой мы здесь не сможем в полной мере воздать должное. Однако поразительно то, что в период Ренессанса классическая дихотомия между мыслителями и творцами практически исчезла в Европе, в то время как современного различия между ученым и инженером еще не существовало. Многие ученые сами занимались изготовлением приборов и участвовали в решении практических проблем, связанных с их производством. Галилей сам строил свои телескопы и в дополнение к своему жалованью профессора Падуанского университета зарабатывал тем, что делал и чинил приборы. Роберт Гук, блестящий и эксцентричный английский физик и биолог, первым применил в часах пружинный баланси́р и изобрел универсальный шарнир — изящное устройство, применяемое в системах трансмиссии. Совместно с Робертом Бойлем, одним из самых разносторонних ученых того времени, он разработал усовершенствованный воздушный насос, первоначально созданный другим выдающимся ученым, Отто фон Герике. Физик и математик Христиан Гюйгенс изобрел часы с маятником и одним из первых выдвинул идею машины с камерой внутреннего сгорания, предлагая в качестве топлива для такой машины порох. Готтфрид Лейбниц работал над конструкцией насоса с приводом от ветряка для откачки воды из шахт в горах Гарца. Даже Исаак Ньютон, несмотря на свое демонстративное (и необычное) отсутствие интереса к технике, участвовал в совершенствовании морского секстанта и питал глубокий интерес к проблеме определения долготы в открытом море (Merton, 1938, p. 172–

173)¹¹. Таким образом, ученые, возможно, внесли более важный вклад в технический прогресс, чем собственно наука. И все же их роль не стала решающей. Число действительно важных технических прорывов, которыми мир обязан людям, прославившимся своими научными свершениями, невелико (Kuhn, 1977, p. 142).

Эпоха Ренессанса и барокко также была отмечена началом использования математики в самых разных областях техники. Средневековая Европа почти не внесла серьезного вклада в математику. Арабы освоили и усовершенствовали десятичную систему счисления, которая до сих пор (несправедливо) носит их имя. Они переняли у индийцев алгебру, сохранили и дополнили античную геометрию. В позднем Средневековье европейцы сперва узнали об арабских достижениях, потом научились им, потом стали им подражать, потом использовать, потом совершенствовать, затем постепенно превзошли учителей, вследствие чего современная математика по большому счету является европейским порождением. Со временем выяснилось, что математика полезна в любых сферах экономической деятельности, не только в технике. С арабскими цифрами европейцев впервые ознакомил Леонардо Фибоначчи из Пизы в своей книге *Liber Abaci*, изданной в 1202 г. Эта система приживалась медленно, но она оказалась чрезвычайно полезной в счетоводстве, при измерениях и вычислениях, несомненно, сыграв ключевую роль при создании бухгалтерской двойной записи, появившейся в середине XIV в.¹² Итальянские мальчики, избравшие карье-

11. Историки техники называют науку XVII в. «экспериментальной философией», и этот оксюморон удачно передает сущность научных достижений того времени. Уже на исходе XVIII века физик граф Румфорд не без некоторого преувеличения утверждал, что «изобретательство представляется в первую очередь делом людей науки» (цит. по: Hall, 1967, p. 115).

12. В документах купца из Прато, умершего в 1410 г. и завещавшего все свое имущество, включая бумаги, родному городу, находится поразительное количество бухгалтерских материалов, включая

ру купцов, должны были посещать *scuola d'abbaco*, или арифметические школы (Swetz, 1987, p. 20). Вскоре стало ясно, что математика полезна не только для счета. В XV в. итальянские математики показали, как их наука может помочь мореплавателям, и при Венецианском университете была создана кафедра математики в применении к навигации. Никколо Тарталья, математик, живший в первой половине XVI в., давал математические советы военным инженерам, землемерам, рудознатцам и купцам. Фламандский инженер Симон Стевин предложил в 1585 г. десятичные дроби. Примерно через десять лет шотландский математик Джон Непер изобрел логарифмы, позволявшие быстро и точно производить такие деловые расчеты, как вычисление сложных процентов. Уильям Отред, пастор прихода Олбери в Англии, в 1621 г. создал логарифмическую линейку. Примерно в то же время голландский математик Виллеброрд Снелл разработал методику тригонометрической триангуляции, исключительно полезную при определении расстояний и революционизировавшую составление карт. Двадцатью годами позже Блез Паскаль построил машину, способную складывать и вычитать, хотя эта машина, как и машина Лейбница (которая также выполняла операции умножения и деления), была слишком дорогой для того, чтобы найти практическое применение. Английский купец Джон Граунт опубликовал в 1662 г. первые таблицы смертности по поколениям и может считаться отцом демографии. Вскоре после него английские специалисты по политической арифметике Уильям Петти и Грегори Кинг выступили с идеей изучения общества с помощью агрегированной статистики.

Все же в первую очередь математика применялась в сфере техники. Математики и инженеры обнаружили, что нужны друг другу. Помощь математики требо-

500 счетных книг, свидетельствующих о пользе двойной записи (Burstall, 1965, p. 112).

валась при измерениях, в строительстве, баллистике, оптике, навигации и гидравлике¹³. Часовщики хотели знать оптимальную форму зубьев на шестернях, при которой трение минимально; математики Оле Ремер и Христиан Гюйгенс сумели показать, что этому условию удовлетворяет эпициклоида. В других сферах — таких, как кораблестроение и машиностроение, — применение математики затруднялось тем, что еще не были созданы соответствующие математические методы. В основе дальнейшего прогресса лежали механика как раздел физики, разработанная Галилеем, и появившийся позже математический анализ. С точки зрения истории техники Галилей занимает особое место, так как его теория механики и концепция силы лежат в основе всех машин. До Галилея идея о том, что любые машины подчиняются всеобщим законам, не получила признания; каждая машина описывалась так, словно была уникальной. Галилей понял, что передача и приложение силы в каждом механическом устройстве осуществляется по принципу рычага.

Как указывает Кардуэлл, Галилеева теория механики интересна для экономиста тем, что в ее основе лежит концепция эффективности: «Функция машины состоит в том, чтобы в интересах человека применять и использовать силы природы наилучшим возможным образом... критерием является количество произведенной работы — как бы его ни определять, — а не субъективная оценка усилий, потраченных при достижении поставленной цели» (Cardwell, 1972, p. 38--39). В сочинениях Галилея, ведущего ученого своего времени, экономическая эффективность увязывается с наукой. В книгах «О движении» и «Механика» он писал, что преимуще-

13. «Механика — это рай математических наук, ибо именно в механике последние находят свое воплощение... там, где ни одна из математических наук не применима, нельзя быть ни в чем уверенным», — писал Леонардо (цит. по: Bertrand Gille, 1969, p. 135-136).

ство машин заключается в возможности использовать дешевые источники энергии, потому что «течение воды в реке не стоит ничего или почти ничего». В этом он радикально расходился со своим вдохновителем, Архимедом, и это различие между двумя великими учеными, создавшими механику как науку, воплощает в себе различие между античным обществом и современным обществом в ранний период.

Таким образом, период 1500–1750 гг. был эпохой технического развития, но не знал революций. С учетом тех препятствий и затруднений, с которыми в те годы сталкивался технический прогресс, поразительно, что он не остановился вообще. Как отмечалось выше, замечательными техническими достижениями могли служить великие открытия: вызов и возможности для обогащения лежали за морями. Более того, влияние реформации на темп технического прогресса, возможно, в целом было негативным. То, что протестантизм сам по себе способствовал техническим изменениям, сомнительно. Для инноваций важно не только то, во что индивид верит *per se*, но и то, в какой степени общество терпимо к отклонениям и нонконформизму (Goldstone, 1987) — к этому вопросу мы еще вернемся в третьей части. Реформация, как и ее естественное следствие, контрреформация, сделали Европу такой нетерпимой, какой она еще не была после крестовых походов: католическая инквизиция сожгла Джордано Бруно, кальвинисты в Женеве сожгли Мигеля Сервета. По всей Европе в XVI и начале XVII вв. терпение власть имущих к свободомыслящим людям, ставившим под сомнение догмы, иссякало. Это насаждение конформизма замедляло техническое развитие, хотя трудно оценить, в какой степени. В Южной Европе, где все сильнее ощущалась реакционная власть контрреформации, климат становился все менее подходящим для технической креативности¹⁴. Более того, религиоз-

14. Около 1588 г. Джамбаттиста делла Порта построил в Неаполе успешно работавший инкубатор для куриных яиц. Его склон-

ные разногласия служили причиной войн, которые опустошили некоторые наиболее активные центры технических изменений в Европе — в первую очередь Южные Нидерланды (1568–1590) и почти всю Германию (1618–1648). Способность Европы сохранить импульс к развитию, несмотря на ухудшение условий, свидетельствует об устойчивости сил технического прогресса. Если были разрушены Антверпен и Аугсбург, то всегда оставались Амстердам или Лондон.

В 1500–1750 гг. в Европе происходили важные изменения в сфере организации производства, наверняка повлиявшие на темп технического прогресса. Движущей силой этих изменений являлась деурбанизация промышленности. Города были нездоровыми местами, страдавшими от осад, эпидемий, пожаров, перенаселенности, неразвитости водоснабжения и канализации, и соответственно, высокой смертности. В ходе религиозных войн многие города подвергались нападениям и разграблению. Низкое качество жизни и короткая ожидаемая продолжительность жизни в городах вели к росту городской заработной платы по отношению к сельской, поскольку городам как-то приходилось привлекать мигрантов. Другой причиной, вызывавшей перемещение промышленности в село, была жесткая корпоративная структура ремесленных гильдий, ограничивавшая число их участников и строго контролировавшая качество и цену продукции. Вполне может быть,

ности к инновации навлекли на его голову гнев святой инквизиции, угрожавшей ему преследованиями как колдуну. Делла Порта мудро решил отказаться от своих экспериментов. Впоследствии они были продолжены голландцем Корнелиусом Дреббелем и французом Рене Реомюром в обществах, более терпимых к нонконформистским идеям. В правление Людовика XIV Францию вновь охватила нетерпимость и оттуда эмигрировали многие гугеноты, сведущие в технике. Среди них был Дени Папен, ставший в Голландии помощником Гюйгенса и, как мы увидим ниже, внесший принципиальный вклад в изобретение паровой машины.

что к XVI в. городские гильдии начали душить технический прогресс с целью защиты своей монопольной позиции и кровных интересов. Имеется много документальных свидетельств о попытках властей бороться с инновациями в устоявшихся отраслях — несомненно, вследствие лоббирования со стороны заинтересованных кругов. Мы вернемся к феномену сопротивления инновациям в третьей части.

Впрочем, обстановка в ренессансных и барочных городах была не настолько удушающей. Многие города, такие как Лейден, вообще не имели гильдий, а давальческая система производства ни в коем случае не являлась чисто сельским феноменом. Все стадии производства эксклюзивных предметов роскоши, включая их дизайн, отделку и сбыт, в основном по-прежнему осуществлялись в городах. Однако один город за другим сетовал на то, что его промышленность разоряется из-за конкуренции с дешевыми сельскими товарами. По мере того как производство в городах становилось все более затратным, промышленность перебиралась в деревню. Крестьяне, не занятые в период отсутствия полевых работ, постепенно были признаны эффективной рабочей силой там, где имелась возможность прибыльно задействовать дешевый и неподнадзорный труд для производства товаров, изготовление которых не требовало особых навыков. Сельское производство организовывалось в первую очередь городскими предпринимателями, разбивавшими производственный процесс на отдельные простые этапы и постепенно осуществлявшими разделение труда, несмотря на рассеянный характер производства. Сельская надомная промышленность была капиталистической, интегрированной в мировые рынки, и не подчинялась жесткому контролю и регулированию, характерному для городских отраслей.

Влияние этих процессов на технические изменения изучено слабо. В Средние века и на первом этапе Ренессанса города, способствовавшие контактам между людьми и облегчавшие обмен информацией, играли важную

роль при создании и распространении технологий, однако к XVI в. этот положительный эффект был нивелирован способностью организованных заинтересованных кругов удушать новые идеи. После вывода значительной части промышленности из городов гильдии столкнулись с новым источником конкуренции, ослаблявшим их консервативное влияние. Некоторые технические инновации, несомненно, способствовали распространению нового метода производства: в сельской надомной экономике широко применялась чулочная рама, создавались новые, усовершенствованные прялки, а «челнок-самолет», изобретенный в 1733 г. англичанином Джоном Кеем, увеличил производительность надомного ручного ткачества, которое к тому времени также в основном переместилось в деревню. Но самое важное то, что сельская промышленность во многих отраслях представляла собой первую попытку организовать что-то вроде массового производства. Хотя такое производство в отсутствие стандартизации и контроля имеет свои ограничения, купцы-предприниматели, использовавшие давальческую систему, постепенно осознавали потенциал крупномасштабного производства дешевых товаров и научились ценить прибыль, которую приносят технические достижения, снижающие издержки.

Формирование национальных государств в 1450–1750 гг. также имело важные последствия для технического прогресса. Многие государства проводили политику поощрения новых технологий, несмотря на то что правительственные круги обычно не имели к ним непосредственного отношения. Цели такой политики, разумеется, нередко были военными, включая сооружение фортификаций, литье пушек и постройку боевых кораблей. Однако характерный для данного периода меркантилистский подход подталкивал государства к проведению активной промышленной политики. Власти все шире нанимали и субсидировали инженеров, а также выдавали монополии, патенты и пенсии изобретателям, внесшим важный вклад в благосостояние страны. В тех

случаях, когда страна осознавала свое отставание, она порой делала сознательные попытки догнать лидеров. Самый знаменитый пример заимствования технологий, вдохновлявшегося на государственном уровне — работа царя Петра I плотником на голландской верфи. Впрочем, еще за 200 с лишним лет до Петра русские цари выписывали себе архитекторов, рудознатцев, печатников и металлургов с Запада. Также и шведский король Густав-Адольф пригласил голландского промышленника Луи де Геера родом из Валлонии создать металлургическую промышленность в Швеции, которая благодаря наличию высококачественной руды и обширных лесов вскоре стала ведущим производителем железа. Эти инициативы не ограничивались периферийными регионами Европы. Лионская шелковая индустрия была создана стараниями короля Людовика XI, переманившего к себе нескольких итальянских мастеров, а семья Сфорца в первой половине XVI в. привлекала для работы в Милане некоторых из лучших инженеров той эпохи.

Некоторые европейские государства обнаружили, что защита прав изобретателя на его разработки способствует техническому прогрессу. Идея выдавать изобретателю временную монополию в виде патента с целью поощрения изобретательства выросла из обычаев в горнорудной отрасли. Подрядчикам в этой отрасли выдавались монопольные права на эксплуатацию открытых ими месторождений. Впоследствии подобные порядки были приняты и в других отраслях, таких как мукомольная, а затем распространились и на сферу новых изобретений. Этот обычай возник в Северной Италии в первой четверти XV в. В 1460 г. Венецианская республика даровала двум изобретателям привилегию, согласно которой никто не был вправе воспроизводить их изобретения без их разрешения. В 1474 г. в Венеции была учреждена формальная патентная система. В преамбуле к соответствующему указу отмечалось: если «принять меры к тому, чтобы прочие, ознакомившись с устройствами, созданными людьми великих талантов, и с их труда-

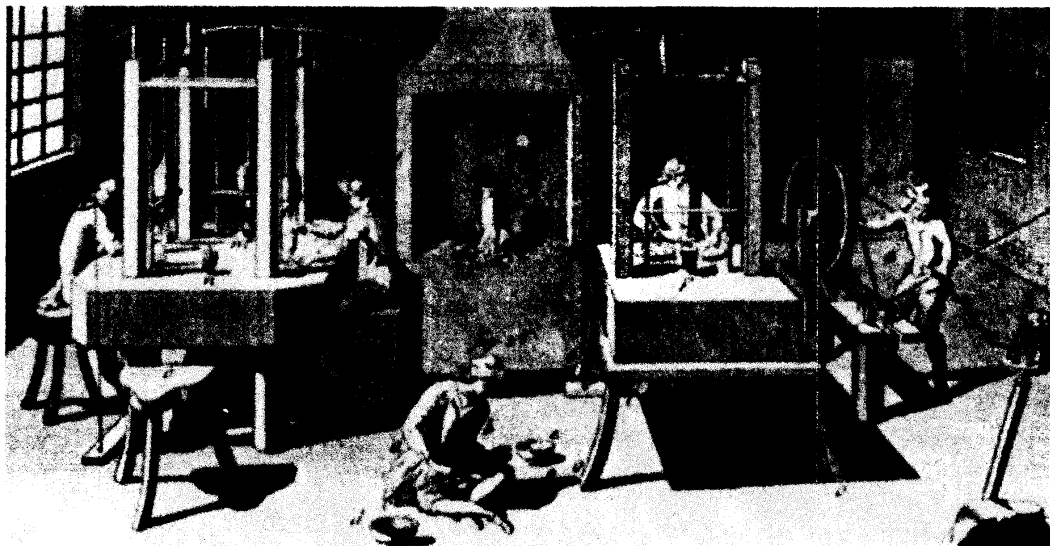


РИС. 21. Булавочная фабрика времен Адама Смита.
Смит ссылался на булавочную фабрику как
на пример тех преимуществ, которые дает
разделение труда

Источник: Reaumur, *L'art de l'épinglier*, 1762.

ми, не могли перенять их и украсть славу изобретателя, то еще больше людей найдет применение своим талантам... и будет строить устройства, весьма способствующие нашему процветанию» (Kaufert, 1989, p. 5). Хотя количество выданных в Венеции патентов было невелико, ее примеру последовали многие другие страны, и к середине XVI в. идея патентной системы распространилась почти по всей Европе¹⁵. Самым эффективным и знаменитым из законов о патентах являлся Статут о монополиях, принятый в Англии в 1624 г. Также государства спонсировали научные общества, такие как британское Королевское общество, созданное в 1662 г., и парижская Королевская академия наук (1666). Эти общества вскоре стали склоняться к чистой науке, а с точки зрения «содействия ремесленным искусствам» (как выразился Ро-

15. Согласно Бертрану Жилью (Gille, 1969, p. 146), в XVI в. в Германии было выдано больше патентов, чем в XVIII в.

берт Гук, один из основателей Королевского общества) наиболее важную роль играли частные общества.

Таким образом, несмотря на отсутствие макроизобретений, в период позднего Ренессанса и барокко техника распространилась по всему Западному обществу. Как указывает Бертран Жиль (Gille, 1969, p. 146), с техникой были связаны все аспекты Ренессанса, включая его искусство и политическую философию. Средневековая натурфилософия рисовала картину Вселенной, в первую очередь, с помощью биологических метафор. Эти органические образы постепенно уступили место более механистическому подходу. Философы данного периода все чаще вставали на точку зрения, согласно которой техника — благо сама по себе, а знаниями о природе следует пользоваться для обуздания природы с целью расширения материального производства. Хотя подобные взгляды существовали уже в средневековые времена, в XVI и XVII вв. их формулировали все более четко и решительно¹⁶. Европейцы постепенно осознавали бесконечные возможности техники по повышению человеческого благосостояния, и начали понимать, что превратив перемены в образ жизни, можно получить доступ к бесконечному потоку бесплатных завтраков.

16. Например, немецкий врач Парацельс в 1530-е гг. заявлял, что Бог желает, чтобы «мы не просто принимали предмет как предмет, а изучали, для чего он был создан. Тем самым мы получаем возможность... готовить пищу, чтобы придать ей хороший вкус, и строить для себя зимние жилища с крышами, защищающими от дождя». Фрэнсис Бэкон спустя три четверти века утверждал, что из знаний следует извлекать пользу, а науку нужно ставить на службу технике с целью установить «власть человека над природой». Галилей надеялся, что его практическая философия пригодится «при изобретении всевозможных устройств, позволяющих нам без труда наслаждаться плодами Земли и всеми ее богатствами» (цит. по: Klemm, 1964, p. 144, 174, 180).

ГЛАВА 5
Годы чудес
Промышленная революция
(1750–1830)

К 1750 ГОДУ Европа закрепила свое техническое превосходство над остальным миром. Все восточные империи от Босфора до Токийского залива отставали от нее, отгородившись от Запада и испытывая замедление темпов технического прогресса. Некоторые из них, например Индия, уже оказались под властью Запада. И все же представляется вероятным, что если бы европейское техническое развитие в какой-то момент прекратилось — как оно прекратилось в странах ислама примерно к 1200 г., в Китае к 1450 г. и в Японии к 1600 г., — то в мире установилось бы равновесие при почти полном отсутствии экзогенных сил, способных разрушить глобальный статус-кво. Однако в реальности последние два столетия были эпохой непрерывно ускорявшихся изменений, отличаясь неравновесием эпических масштабов, не имевшим никаких аналогов в прошлом. За эти два века повседневная жизнь изменилась сильнее, чем за предшествовавшие 7 тысяч лет. Движущей силой этого умопомрачительного взлета была техника, причем исключительно западная техника. Разумеется, технический прогресс начался не в 1750 г. и различие между временем после этой даты и временем до нее носит лишь количественный характер — и тем не менее оно колоссально. Благодаря росту производительности Европа, решительно поправ мальтузианские границы, сумела многократно увеличить свое население, а европейцы достигли такого высокого уровня жизни,

какой был неведом в традиционных обществах, ненадолго подчинили себе почти все человечество и обеспечили всемирное доминирование техники европейского типа.

В последние годы концепция промышленной революции подвергалась серьезной критике. Некоторые авторы (Jones, 1988) утверждают, что во второй половине XVIII в. экономический рост в Великобритании был незначительным. Поскольку промышленную революцию принято отождествлять с ростом дохода на душу населения (см. современную формулировку этого принципа: Wrigley, 1987), отсюда вроде бы вытекает сомнительность концепции промышленной революции. Тем не менее недавние призывы изгнать эту концепцию из научных статей и лекций выглядят как минимум поспешными. Промышленная революция не являлась макроэкономическим событием, обеспечившим неожиданное ускорение темпов роста, хотя экономический рост со временем стал ее неизбежным следствием. Отождествление промышленной революции с экономическим ростом страдает рядом серьезных недостатков. Первое и самое важное — что подход, основанный на показателях, рассчитанных по отношению к численности населения, влечет за собой неверное представление о темпах роста дохода в тех случаях, когда числитель (доход) и знаменатель (численность населения) возрастают более-менее синхронно. По воле судьбы годы промышленной революции также стали периодом быстрого роста населения, вследствие чего изменения дохода на душу населения поглощались демографическими изменениями. Во-вторых, экономический рост не обязательно обеспечивается новшествами в промышленном секторе; его первоначальным источником может быть (и нередко бывало) аграрное или коммерческое развитие. В-третьих, хорошо известно, что доход на душу населения с трудом поддается точному измерению в периоды, когда экономика претерпевает стремительные изменения, связанные с принципами работы ее рынков.

Домохозяйства в результате коммерциализации начинают приобретать на рынке те товары, которые прежде производили сами. При отсутствии тщательных поправок такие изменения могут привести к ошибочной оценке показателей экономического роста. Более того, существует и вторая ошибка, связанная с появлением новых товаров или повышением качества существующих товаров.

Таким образом, даже если совокупная статистика не выявляет внезапного рывка, концепция промышленной революции все же имеет право на существование (Мокур, 1991). Промышленную революцию уместно рассматривать, в первую очередь, с точки зрения ускорения и беспрецедентных технических изменений. Согласно знаменитым словам ученика Т. С. Эштона (Ashton, 1948, p. 42), главное — то, что Великобританию после 1760 г. накрыла «волна штуковин» — новых идей и изобретений, позволявших все более эффективно производить все больше товаров все более высокого качества. Возвращаясь к использовавшейся выше терминологии, можно говорить о возникновении кластера макроизобретений, повлекшего за собой интенсификацию работ по их совершенствованию и внедрению и тем самым создавшего дополнительный поток микроизобретений. Результатом стало резкое возрастание патентной активности. Статистика по патентам не дает возможности проводить различие между радикальными и мелкими изобретениями. Склонность к получению патентов была разной в разных отраслях, в разных местах и даже у разных людей (MacLeod, 1988, p. 75–114). Тем не менее еще рано отказываться от количества выданных патентов как показателя изобретательской активности. Резкое возрастание темпа выдачи патентов после 1760 г. требует объяснения (Sullivan, 1989). В британской экономике того времени роль техники в каких-то отношениях претерпела глубокие изменения, хотя до сих пор еще совсем не ясно, являлся ли рост количества патентов реакцией на ощущавшиеся потребности и возможности, или же

он представлял собой следствие коренных перемен, повлиявших на техническую креативность Великобритании в целом.

Обычно считается, что промышленная революция произошла в период 1760–1830 гг., а ее ядром чаще всего называют Великобританию, хотя новая техника в значительной степени являлась итогом работы, проделанной в других европейских странах, а впоследствии и в США. Плоды промышленной революции созрели не сразу. Потребление на душу населения и уровень жизни поначалу возрастали незначительно, однако во многих отраслях и секторах резко изменились производственные технологии, подготовив почву для устойчивого шумпетерианского роста во второй половине XIX в., когда технический прогресс распространился и на те отрасли, которые прежде не были им затронуты. Какие-либо общие выводы в отношении происходивших тогда технических изменений сделать непросто. Некоторые исследователи полагают, что главной чертой технических изменений того периода была замена органических материалов неорганическими (Wrigley, 1987). Другие пытаются определить промышленную революцию как рост энерговооруженности — в первую очередь, за счет неодушевленной энергии — и в качестве самого значительного достижения называют паровую машину (Cipolla, 1965a). Есть и такие авторы, которые указывают на применение машин вместо ручного труда (Paulinyi, 1986). Однако все эти обобщения не учитывают всех многообразных форм, которые принимал в те годы прогресс. Распространение хлопка за счет шерсти и льна, более эффективное использование гидроэнергии, создание газового освещения, достижения в сфере машиностроения, изобретение консервов и многие другие явления тех лет почти не имеют никаких общих черт за исключением того, что они влекли за собой возрастание количества и качества товаров и услуг. Как выразился Маккლოსки (McCloskey, 1981, p. 118), промышленная революция не была веком хлопка или веком пара; она была веком усовершенство-

ваний. И все же они не являлись повсеместными. Крупные сектора экономики, дававшие работу большей части трудящихся и отвечавшие как минимум за половину валового национального продукта, до середины XIX в. практически не были затронуты инновациями. В сфере услуг, строительстве, пищевой промышленности и производстве одежды до 1850 г. практически или совершенно ничего не изменилось. Причины, по которым одни отрасли подвергались изменениям, а другие — нет, почти никак не были связаны ни со спросом, ни с наличием сырья и угля. То, где и когда происходили изменения, по большому счету определялось техническими возможностями и ограничениями.

Во время промышленной революции технический прогресс обычно был результатом совместных и кумулятивных усилий многих индивидов. Типичным новатором тех лет являлся проникательный человек с техническими наклонностями, осознававший наличие той или иной технической проблемы и примерно представлявший себе, как ее решить. Успешными изобретателями становились те, кто лучше своих коллег умел складывать воедино отдельные детали, либо те, кому удавалось справиться с последним затруднением, препятствовавшим реализации новой технологии.

Технические изменения периода промышленной революции полезно разделить на четыре главные категории: энергетика, металлургия, текстильная промышленность и категория прочих производственных отраслей и услуг.

Энергетика

Невзирая на протесты некоторых историков экономики, паровая машина по-прежнему имеет общепризнанную репутацию принципиального изобретения промышленной революции. Она не была создана усилиями одних лишь британцев; более точно было бы называть ее ре-

зультатом совместных международных усилий. Ключевая идея, необходимая для создания пароатмосферной машины, основывалась на осознании существования атмосферы. То, что сегодня кажется банальной идеей, являлось плодом трудов Эванджелисты Торричелли, ученика Галилея, и бургомистра Магдебурга Отто фон Герике, прославившегося своим опытом, когда две конские упряжки не могли оторвать друг от друга двух полушарий, из которых был выкачан воздух¹. Вполне вероятно, что китайцы тоже знали о существовании атмосферы и атмосферного давления, но то, что произошло во второй половине XVII в., было типично лишь для Европы. Многим из тех, кто проник в суть только что открытого явления, пришло в голову, что сила атмосферного давления может стать новым источником энергии — для этого необходимо лишь снова и снова создавать вакуум. Построить машину, в которой бы для создания вакуума использовалась конденсация пара, среди прочих предложил в 1663 г. маркиз Вустерский. Первую известную модель такой машины построил в 1691 г. Дени Папен, помощник Христиана Гюйгенса, на примере этого прототипа продемонстрировавший, как поршень с помощью пара может перемещаться вверх и вниз по цилиндру. Затем настал черед и для практического применения. Первую работоспособную паровую машину создал в 1698 г. Томас Севери, хотя это устройство в реальности являлось всасывающим насосом с закрытым сосудом, куда после конденсации пара и образования вакуума всасывалась вода. Другой вариант такой машины в первом десяти-

1. Переход от открытия атмосферы к созданию пароатмосферных машин иногда рассматривается как пример влияния науки на технику на этом раннем этапе. Однако в реальности отношения между ними были совершенно иными. За открытием атмосферы стоял в том числе и тот загадочный факт, что вакуумные насосы не могли поднимать воду выше, чем на 32 фута. Решить эту загадку пытался Галилей, возможно, заразив этим стремлением и своего ученика Торричелли.

лети XVIII в. был усовершенствован Томасом Ньюкоменом, который, в отличие от Севери, использовал атмосферное давление и периодическое создание вакуума путем конденсации при попеременном нагреве и охлаждении аппарата. Первую экономически эффективную паровую машину, известную как машина из Дадли-Касла, установили на угольной шахте под Вулверхэмптоном в 1712 г. Машина Ньюкомена имела намного более сложную и продуманную конструкцию, чем прототип Папена, но она была безопасной, а ее создание не выходило за рамки возможностей мастеров той эпохи. Ей хватало мощности для того, чтобы откачивать воду из шахт, и, несмотря на свои огромные размеры, колоссальный расход топлива и проблемы, с которыми сталкивались механики начала XVIII в. при создании герметичных конструкций, машина Ньюкомена получила широкое распространение. Уже через несколько лет она применялась во Франции, Германии и Бельгии, а к 1730 г. подобные машины работали в Испании, Венгрии и Швеции, позднее появившись и в американских колониях. Машина Ньюкомена решила проблему затопления корнуэлльских оловянных рудников, а также глубоких угольных шахт на севере Англии. Но в первую очередь, она представляла собой первое экономически эффективное устройство для преобразования тепловой энергии в механическую².

2. Строго говоря, огнестрельное оружие тоже работает по этому принципу. Пушка представляет собой первый известный пример контролируемого преобразования тепловой энергии в кинетическую, по сути являясь одноцилиндровым двигателем внутреннего сгорания. Тем не менее для того, чтобы довести его до совершенства, потребовалось еще полтысячи лет. В 1673 г. Гюйгенс предложил построить машину высокого давления, оснащенную цилиндром, в котором бы взрывались крохотные дозы пороха. Идея Гюйгенса была теоретически верной, однако для практического воплощения предложенной им машины, к тому же работающей не на порохе, пришлось ждать еще два века. Сомнительно, чтобы взрывчатые вещества сыг-

И все же паровая машина навсегда останется связанной с именем Джеймса Уатта. Он радикально улучшил ее конструкцию, отделив конденсатор от рабочего цилиндра для того, чтобы последний все время оставался горячим. Такой шаг позволил резко сократить расход топлива в машине и сделал возможным ее почти повсеместное использование. Кроме того, Уатт внес в устройство паровой машины много других усовершенствований, включая паровую рубашку, препятствовавшую охлаждению рабочего цилиндра; трансмиссионный механизм, известный как планетарная передача — он преобразовывал вращательно-поступательное движение поршня во вращательное движение, необходимое для привода станков в текстильной и других отраслях промышленности; и золотник, попеременно впускавший пар с обоих концов цилиндра, благодаря чему удалось использовать ход поршня в обе стороны. В такой расширительной машине двойного действия пар, поступавший в пространство над поршнем, толкал его вниз, однако после прохождения поршнем половины цилиндра доступ пара прекращался с целью экономии топлива. В результате КПД, составлявший в машине Ньюкомена менее 1%, в машине Уатта повысился примерно до 4,5%. Принцип двойного действия был известен в Европе с XV в. и использовался в насосах и мехах, но паровая машина на тот момент представляла собой наиболее удачный пример его применения (Reti, 1970). Эксплуатацию силы расширения пара Ашер (Usher, 1954, p. 354) считает главным принципом, отличающим пароатмосферную от настоящей паровой машины. Не менее важную роль играл и регулятор скорости машины, предвещавший сервомеханизмы с обратной связью XX в., которые являются основой кибернетики. Это устройство представляло собой два шарика, при ускорении вращения вала удалявшиеся от него под действием центробеж-

рали какую-либо роль в создании паровой машины, как и вообще в энергетике.

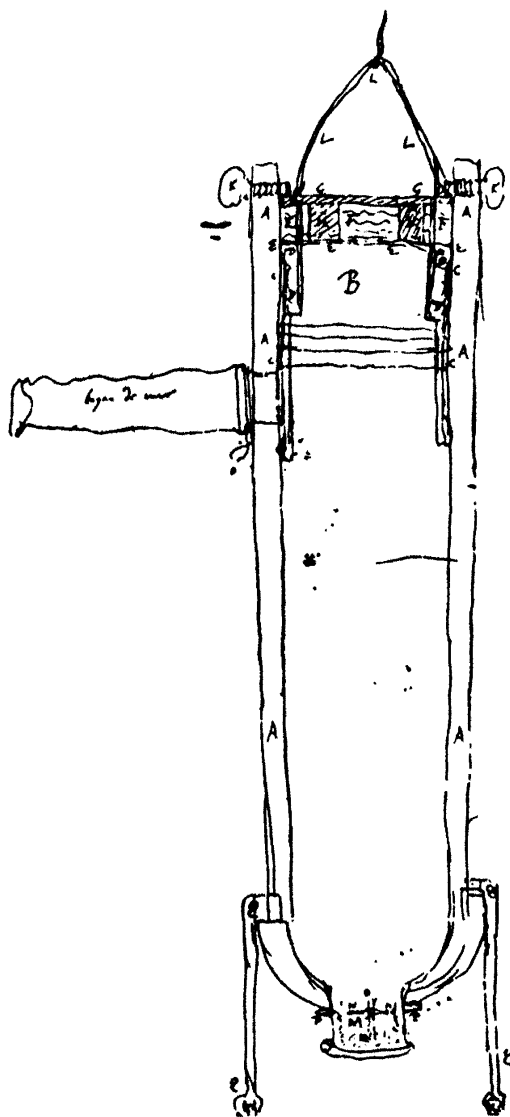


РИС. 22. Схематическое изображение двигателя внутреннего сгорания, работающего на порохе.

Рисунок Христиана Гюйгенса

Источник: Chr. Huygens, Oeuvres completes, 1763.

ной силы и поднимавшие рычаг, соединенный с клапаном на патрубке для подачи пара. Подобные автоматические регуляторы ранее использовались на ветряных мельницах, однако изобретение Уатта символизирует стремление к полному контролю и автоматизации, все шире проникавшему в технику того времени.

Труды Уатта, сочетавшие творческий гений с желанием снизить издержки, минимизировать износ механизмов и выжать «последнюю каплю „пользы“ из последней струйки пара, поступающей в машину» (Cardwell, 1972, p. 93), представляли собой типичный пример тех умонастроений, которые способствовали осуществлению промышленной революции. Сам Уатт в своей автобиографии, почему-то написанной от третьего лица, говорит, что «его мысли были обращены к созданию столь же дешевых, сколь и хороших машин». Погоня за экономической эффективностью в дополнение к функциональности и красоте представляла собой кульминацию европейского технического рационализма после тысячи лет его развития. Однако этот рационализм ничего не значил без технических способностей, а механические таланты Уатта граничили с виртуозностью. Короче говоря, в сфере энергетики Уатт сделал примерно то же, что Пастер — в биологии, Ньютон — в физике, а Бетховен — в музыке. Значение личности порой неоспоримо. Однако не следует забывать о том, что Уатт опирался на достижения Папена и Ньюкомена, как и о той роли, которую сыграли Джон Уилкинсон, чьи новые сверлильные станки позволили с необходимой точностью изготовить цилиндры для фирмы «Болтон и Уатт», и Мэттью Болтон, в паре с Уаттом составивший классическую команду «изобретатель — предприниматель» (Scherer, 1984, p. 8–31). Паровая машина стала характерной чертой Великобритании XVIII в. Согласно современным оценкам в течение XVIII в. было построено почти 2500 паровых машин, причем около 30% от их числа — машин Уатта, далеко опережавшего всех других производителей (Kanefsky and Robey, 1980). Шире всего энергия пара применялась в горном деле: к 1800 г. 828 паровых машин работало в угольных копях и еще 209 — на медных и свинцовых рудниках.

Срок действия патента Уатта истек в 1800 г., и на арену вышел новый гений, занявшийся созданием паровой машины революционного типа. Уатт считал, что па-

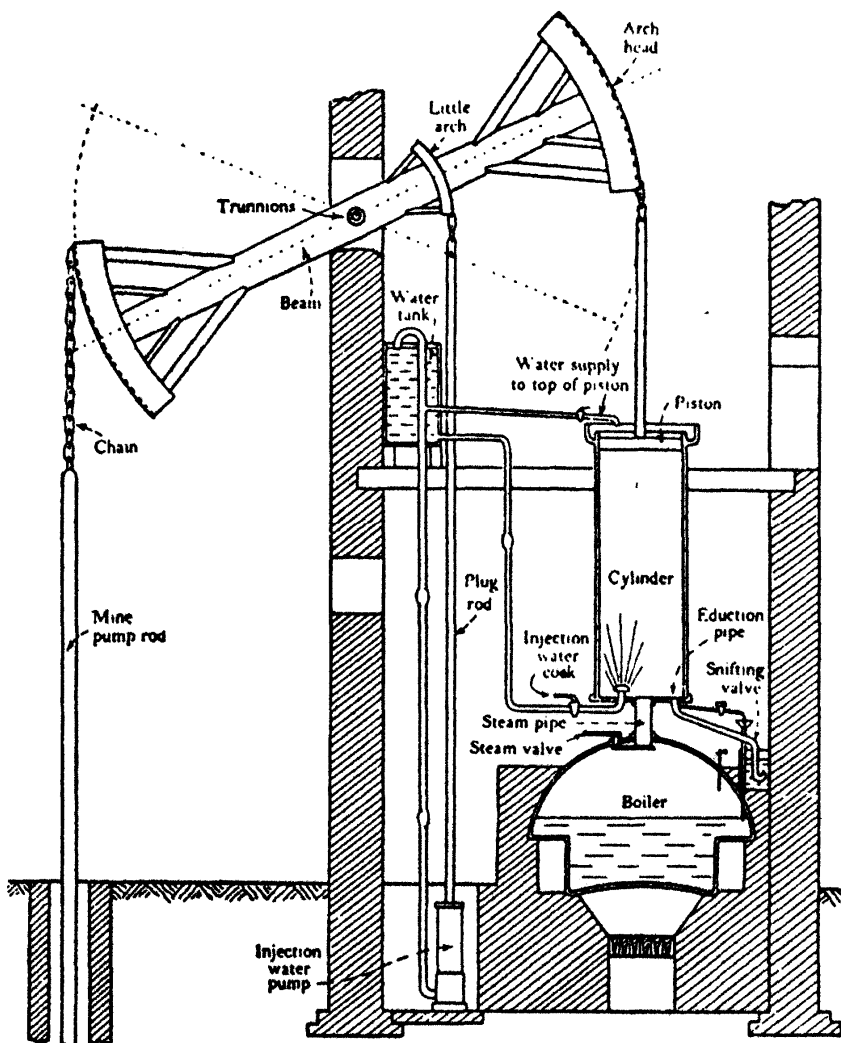


РИС. 23. Схема пароатмосферной машины Ньюкомена

Источник: Н. W. Dickinson. «A Short History of the Steam Engine», Fig. 7. Cambridge University Press, 1939.

ровая машина высокого давления, которую уже предлагал Севери, слишком опасна, а потому непрактична. Но в 1802 г. другой англичанин, Ричард Тревитик, построил машину, в которой создавалось давление в десять раз выше атмосферного. Эти машины высокого давления были более компактными и экономичными по сравнению с машинами Уатта. В шахтах Корнуэлл-

ла машины высокого давления, называвшиеся Корнуэльскими, успешно применялись для привода коромысловых насосов, служивших для откачки воды. Более того, такую машину можно было установить на судно и на безлошадный экипаж. Первые экспериментальные пароходы были построены маркизом де Жоффрау во Франции в 1783 г. и Джоном Фитчем и Джеймсом Рэмси в США в 1787 г. Первый работоспособный пароход появился на свет в 1807 г. благодаря американцу Роберту Фултону. Через десять лет на кораблях Фултона уже преобладали машины высокого давления, которые в США начал строить Оливер Эванс (Hindle, 1981, p. 55). Между тем стационарная машина Уатта с низким давлением пара также подверглась усовершенствованиям, и машины обоих типов сосуществовали в течение всего XIX века.

Следующим шагом в развитии конструкции паровой машины стало создание комбинированного двигателя, имевшего несколько цилиндров, в том числе цилиндр высокого давления. Пар, отработавший в этом цилиндре, подается в следующий цилиндр более низкого давления, где перемещает поршень по принципу расширения³. Первый удачный комбинированный двигатель создал в 1803 г. Артур Вульф в Англии⁴, однако на практике машины такого типа начали применяться

3. Первую компаунд-машину создал Джонатан Хорнблоуэр, получивший на нее патент в 1781 г. Однако было сочтено, что Хорнблоуэр своим изобретением посягает на патентные права Уатта и компаунд-машине пришлось ждать еще два десятилетия.

4. Вульф объяснял принцип действия своей компаунд-машины научным «законом», согласно которому якобы существовала линейная зависимость между избыточным давлением и увеличением объема пара, расширяющегося в условиях атмосферного давления. Эта ошибочная теория, противоречившая закону Бойля, легла в основу вполне работоспособного механического устройства. Как справедливо отмечает Кардуэлл, «не первый раз в истории полезное изобретение было сделано исходя из неверной теории» (Cardwell, 1971, p. 155).

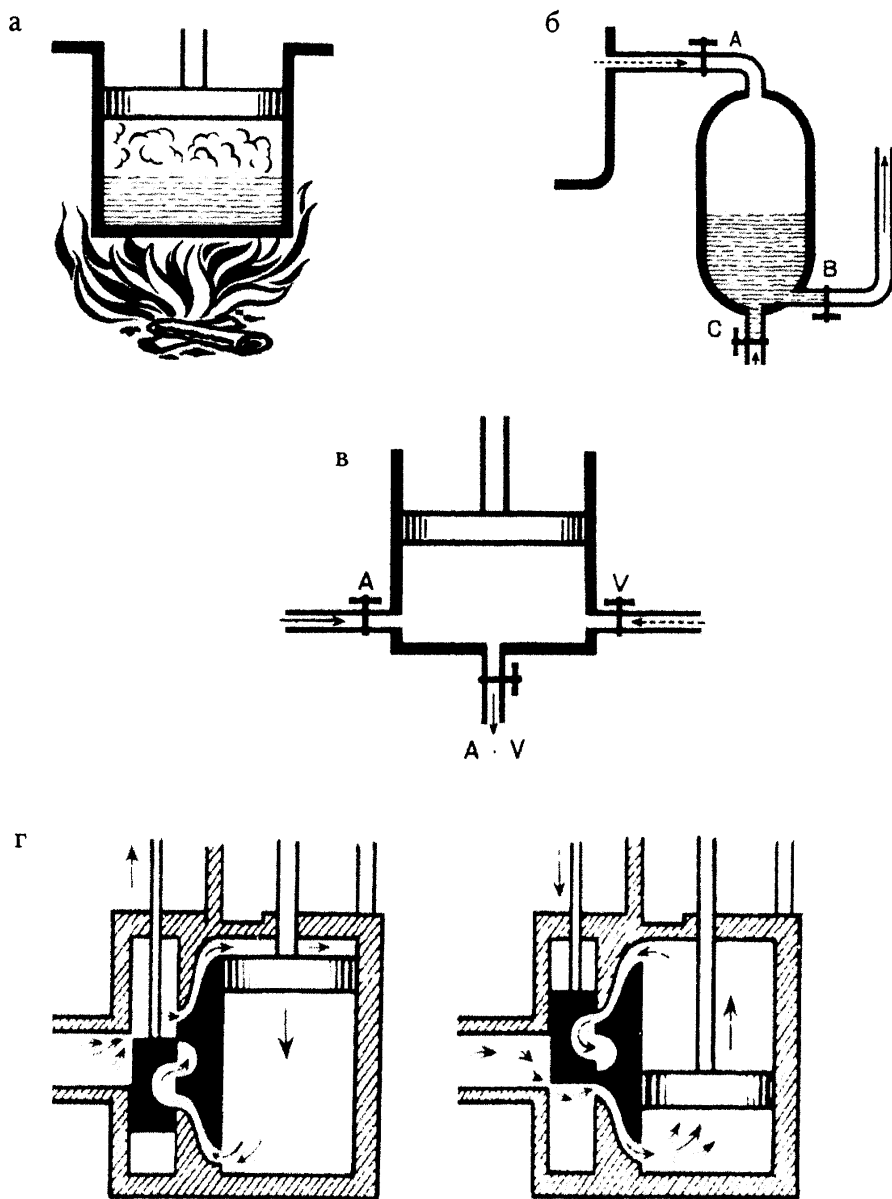


РИС. 24. Принципы работы ранних паровых машин: а — прототип Папена; б — беспоршневая всасывающая машина Севери; в — машина Ньюкомена; г — машина Уатта с двойным действием. Цилиндр и клапан золотника в такой машине движутся в противоположные стороны, и пар попеременно впускается в цилиндр то с одной стороны поршня, то с другой

Источник: Umberto Eco and G. B. Zorzoli, The Picture History of Inventions. © Gruppo Editoriale Fabbri-Bompiani, Sonzongio, Etas S.p.A.

лишь в 1845 г., когда Джон Макнот усовершенствовал этот процесс. Преимущество комбинированного двигателя заключается в экономии топлива: КПД машины Вульфа возрос до 7,5% (по сравнению с 4,5% в машинах Уатта), а термический КПД сложного комбинированного двигателя Корлисса 1878 г. превышал 17%.

Успех паровой машины предшествовал созданию науки, формализовавшей принципы ее работы. В 1824 г. француз Сади Карно, наблюдая за работой паровой машины и задавшись вопросом о том, почему машины высокого давления более эффективны, заложил основы будущей термодинамики. Кроме того, Карно утверждал, что «отнять сегодня у Англии ее паровые машины означает лишить ее железа и угля, осушить источники ее богатства, оставить ее без средств к процветанию и уничтожить ее могущество» (цит. по: Cardwell, 1972, p. 130). Историки экономики, возможно, не согласятся с этими словами. Оценку вклада, внесенного паровыми машинами, следует основывать не на общих достижениях паровых машин как таковых, а на величине предельного вклада пара по сравнению со следующей наилучшей альтернативой.

Этой альтернативой являлась вода, в 1830 г. все еще представлявшая собой важный источник энергии в Великобритании и преобладающий источник энергии в Швейцарии и Новой Англии. Паровая машина до 1850 г. давала очень небольшую выгоду по сравнению с гидроэнергией (von Tunzelmann, 1978, p. 285–292), но это не умаляет достижений людей, совершивших промышленную революцию, а напротив, подтверждает их, поскольку медленное распространение паровых машин во многих регионах объяснялось более эффективным использованием гидроэнергии. Иными словами, общее наступление по всему фронту в энергетике служило причиной относительно медленного развития одной конкретной технологии. В первую очередь это было характерно для европейского материка и Новой Англии. Прогресс в гидроэнергетике после 1750 г. был

связан с непрерывными успехами в теории гидравлики. Самым важным достижением в этой сфере было среднебойное водяное колесо, внедренное Джоном Смитом в 1750-е гг. и быстро распространившееся по всей Великобритании. Конструкция среднебойного колеса предусматривает подачу воды в промежуточной позиции между верхней и нижней точками колеса, и потому оно в известном смысле представляет собой компромисс между наливным (верхнебойным) и подливным (нижнебойным) колесами. Среднебойное колесо не менее эффективно, чем верхнебойное, но имеет то преимущество, что оно вращается в ту же сторону, куда течет нижняя вода, благодаря чему может работать в условиях погружения. Конструкцию Смита в 1780-е гг. усовершенствовал Джон Ренни, придумавший сдвижной желоб, который позволял регулировать работу колеса в зависимости от уровня воды. Позднее было обнаружено, что колесо можно сделать еще более эффективным, если установить лопасти так, чтобы они входили в воду под углом 45° к ее поверхности (Daumas and Gille, 1979a, p. 28). Подобно инженерам, работавшим с паровыми машинами, их коллеги, работавшие с «традиционными» технологиями, старались извлечь как можно больше энергии из каждой капли текущей воды. В XIX в. водяные колеса все чаще делали из железа, что замедляло их износ. Смитон, Ренни и их коллеги были инженерами-практиками, а не учеными, причем Смитон известен своим недоверием к научным теориям. Это недоверие было не совсем неоправданным: ученые лишь во второй половине XVIII в. поняли, что за работой верхнебойных и нижнебойных колес скрываются разные физические принципы, так как первые приводятся в действие силой тяжести, а последние — за счет импульса. Между тем практики, никогда формально не обучавшиеся гидравлике, в течение многих лет вносили новые и новые важные усовершенствования.

Не меньших успехов добились и французские инженеры по другую сторону Ла-Манша. Жан-Шарль Бор-

да в 1766 г. первым начал наступление на теоретические проблемы гидроэнергетики, хотя его работы были слишком отвлеченными, чтобы найти непосредственное применение, и получили признание лишь после 1810 г. (Reynolds, 1979). Жан-Виктор Понселе на основе идей Борда видоизменил подливное колесо, построив знаменитое колесо Понселе (1823) с криволинейными лопастями и подачей воды по наклонному желобу. Так называемая водяная колонна, или водяная машина, широко применявшаяся на материке, представляла собой хитроумное сочетание конструкции машины Ньюкомена с давлением воды (а не атмосферы). Дальнейшим развитием гидроэнергетики стало изобретение гидравлической турбины. Ее идею выдвинул в XVIII в. швейцарский математик Леонард Эйлер, совместно со своим сыном Иоганном показавший, что всю энергию водяного потока можно обратить в полезную работу, если использовать силу воды, стекающей с лопаток водяного колеса. Различие между этой идеей и обычным водяным колесом состоит в том, что в водяном колесе вода не движется относительно ковшей или лопастей, тогда как у Эйлера источником силы является стремительное течение воды по криволинейным проходам, приводящее машину в действие. Практическое воплощение этой идеи потребовало многолетней напряженной работы множества инженеров (в основном французских), из которых наибольшего успеха добился в 1837 г. француз Бенуа Фурнейрон. Турбина, внедренная в текстильной промышленности Новой Англии, «на десятилетия отсрочила доминирование паровой машины в этой отрасли» (Rae, 1967b, p. 338). К тому времени гидроэнергетические технологии были уже настолько развитыми, что, по словам одного историка, в теории, а в значительной степени и на практике, инженеры обладали полной властью над гидроэнергией (Cardwell, 1971, p. 184). Тем не менее использование гидроэнергии сталкивалось с рядом препятствий, которые скрывались не в конструкции самих водяных колес, а в недостаточных научных представ-

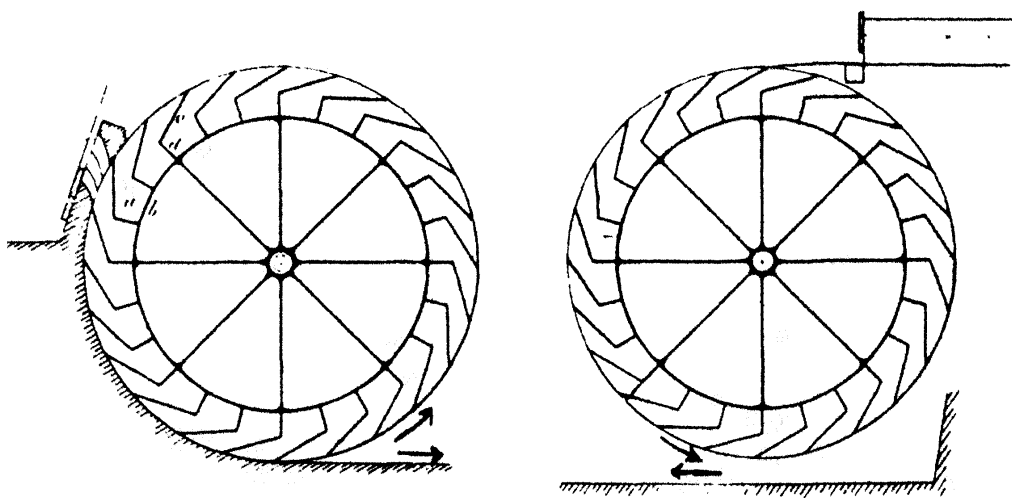


рис. 25. Сравнение верхнебойного (слева) и традиционного (справа) водяных колес. Обратите внимание, что верхнебойное колесо крутится в ту же сторону, куда течет вода, — в противоположность традиционному колесу

Источник: F. Redtenbacher, *Theorie und Bau der Wasserräder* (Mannheim: Friedrich Basserman, 1846), pl. 1, Figs. 5–6.

лениях о гидрологии водоразделов и нехватке данных по количеству осадков (Gordon, 1985).

Промышленная революция была эпохой энергетических технологий, чьи перспективы, должно быть, выглядели безграничными. Возможно, экономическое значение паровой машины в годы промышленной революции поначалу и не было таким огромным, как считал Карно, но уже во второй половине XIX в. энергия пара нашла применение во всех аспектах экономической жизни как на Западе, так и за его пределами. В сочетании с другими изобретениями паровая машина породила разрыв между Европой и остальным миром, и это временное неравновесие позволило европейцам добиться глобального политического и военного доминирования.

Металлургия

До эпохи промышленной революции металлургия представляла собой эмпирическое и экспериментальное ремесло, в рамках которого одаренные любители и полупрофессионалы пытались решить сложные химические и физические проблемы, озадачивавшие тех, кто занимался повседневной выплавкой металлов. Успешное решение этих проблем остается свидетельством решимости создавать материалы, лучше и дешевле удовлетворяющие людские потребности. Виднейшее место среди этих материалов занимало железо. Его было нечем заменить в смысле долговечности, универсальности и легкости обработки. Мы уже видели, что в позднее Средневековье появился чугун, отличавшийся относительно высоким содержанием углерода и низкой температурой плавления. Он был твердым и хрупким, и потому чугунным изделиям не удавалось придавать нужную форму с помощью традиционных кузнечных инструментов, но из него можно было отливать котлы, печи и пушки. Большинство металлических предметов, включая детали машин, гвозди, замки и инструменты, выковывалось, и потому для них требовался более пластичный материал. Процесс переделки чугуна, производившегося в доменных печах, в ковкое железо оставался главным узким местом в металлургии. В течение XVIII в. поиски путей к решению этой проблемы активно велись в Великобритании. Братья Вуд первыми стали применять так называемый поттинговый процесс, используя тигли, или «горшки», для нагрева чугуна (Hyde, 1977, p. 83–88). Окончательное решение проблемы, найденное в 1784 г. Генри Кортон, представляло собой умелое сочетание нескольких элементов — таких, как отражательная печь на угле, долгое время применявшаяся в стекольной промышленности, и прокатка нагретого металла в рифленых валках. Разработанный Кортон процесс пудлингования и прокатки можно назвать типичным великим

изобретением промышленной революции в том смысле, что он увенчал собой разрозненные и длительные попытки решить сложную, но экономически чрезвычайно важную проблему. После нескольких усовершенствований, внесенных в конце 1780-х гг., процесс Корта штурмом взял британскую металлургию. Мелкие самостоятельные печи, прежде являвшиеся единственным источником ковкого железа, исчезли, вытесненные крупными пудлинговыми печами. Производство высококачественного и дешевого железа резко возросло, сделав его строительным материалом промышленной революции.

XVIII век стал свидетелем еще одного не менее знаменитого достижения: использования кокса — очищенного битуминозного угля — при выплавке железа. Кокс как компонент этого процесса первым освоил Абрахам Дерби. Кокс и раньше применялся в металлургии, но его использование в доменных печах началось около 1709 г. Новые исследования по истории металлургии опровергли распространенный миф о том, что переход на кокс был вызван дефицитом древесного угля и что распространению новой технологии препятствовала семья металлурга, державшая ее в секрете (Flinn, 1978; Hyde, 1977, p. 25–29). В реальности проблема состояла в том, что из железа, выплавленного с применением кокса, долгое время не удавалось удалить кремний, что затрудняло переделку чугуна в ковкое железо (Fylecote, 1976, p. 108–109). Распространение кокса в металлургии после 1750 г. объясняется дальнейшим техническим прогрессом и, в первую очередь, успехами сына Дерби, разработавшего процесс переплавки чугуна в так называемых плавильных печах с целью удаления кремния. Другие усовершенствования включали производство кокса в закрытых печах, имевших форму ульев, и замену старомодных мехов новыми цилиндрами для дутья с приводом от водяного колеса, изобретенными около 1760 г. многогранным Джоном Смитом. В 1760–1790 гг. кокс вытеснил древесный уголь в британской железопла-

вильной отрасли, постепенно проникая и на материк. Доменные печи становились все крупнее и эффективнее, позволяя производить более качественное и более дешевое железо. Еще один важный прорыв осуществил шотландец Джеймс Нейлсон, выступивший с идеей использовать газы самой доменной печи для предварительного нагрева поступающего в нее воздуха (1829). Метод горячего дутья не требовал больших затрат, в то же время втрое снижая расход топлива. При этом в печи создавалась достаточно высокая температура для того, чтобы использовать не только коксованный битуминозный уголь, но и другие виды топлива — например, антрацит. В 1828–1840 гг. шотландским производителям железа удалось сократить издержки почти на две трети, однако по мере распространения этой технологии по Великобритании цены на чугун падали, а вместе с ними — и прибыли (Hyde, 1977, p. 151–152). Именно этот процесс сделал возможной разработку железорудных месторождений шотландского «черного пояса» и позволил Шотландии стать конкурентом «Черной страны» (английского Мидленда) и Уэльса в производстве чугуна.

Материалом, наиболее упорно сопротивлявшимся инновациям, являлась сталь. С точки зрения химии сталь представляет собой промежуточный продукт между практически чистым от углерода ковким железом и чугуном с высоким содержанием углерода. Сталь можно производить из ковкого железа методом его науглероживания (цементации), либо из чугуна путем удаления углерода (обезуглероживание), либо путем переплавки железного скрапа с высоким и низким содержанием углерода. Также сталь можно выплавлять непосредственно из руды, помещая ее в тигли вместе с брусками специально обработанного дерева. Такую сталь, известную как булат (вуц), впервые начали производить в Хайдарабаде (Индия). Желательные физические свойства стали (упругость, прочность, гибкость) делали ее идеальным материалом для изготовле-

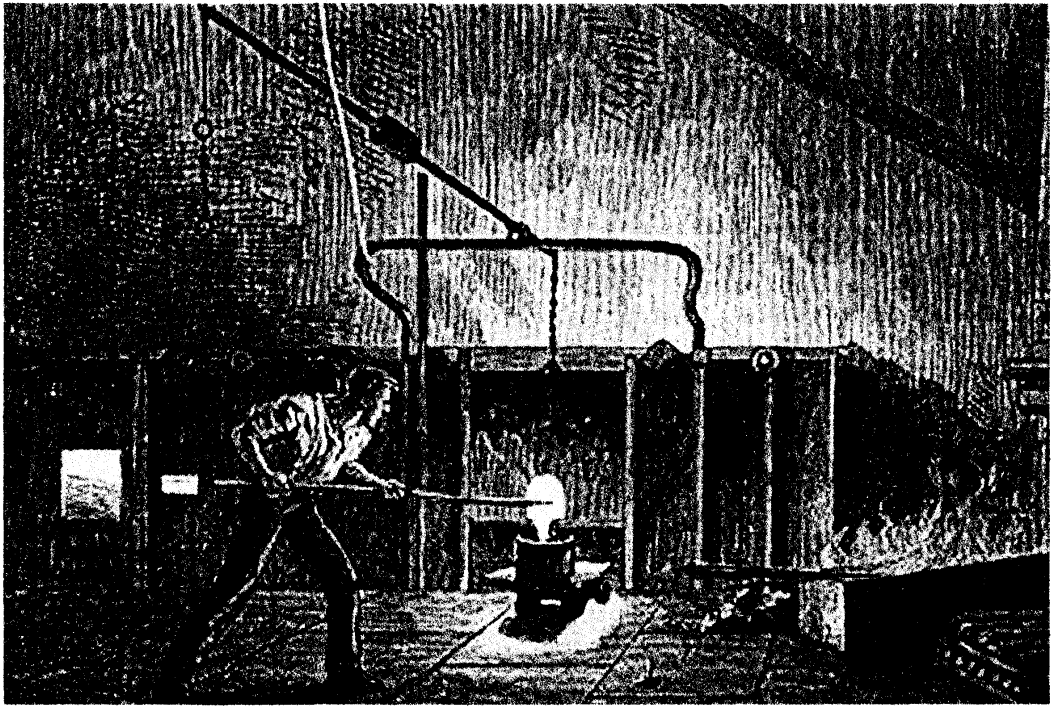
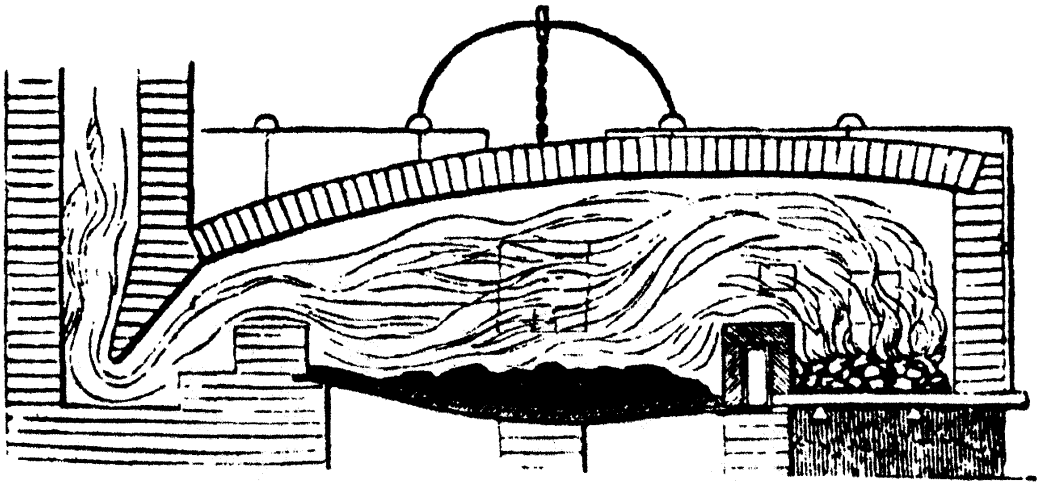


РИС. 26. Пудлинговая печь Корта для производства ковкого железа (в разрезе)

Источник: Archibald Clow and Nan L. Clow, The Chemical Revolution, Batchworth Press.

ния лезвий, оружия, ножниц, пружин и деталей машин, но она имела запредельно высокую стоимость. На Западе сталь производилась методом цементации — этот процесс применялся еще в Малой Азии около 1000 г.

до н. э. Производство такой «томленной стали» включало «выпечку» ковкого железа путем его нагрева при непосредственном контакте с древесным углем и последующую длительную проковку для равномерного распространения частиц углерода в металле. Доменная печь создала новые возможности для изготовления стали путем переделки высокоуглеродистого чугуна или растворения ковкого железа в расплавленном чугуне. Более того, руды с высоким содержанием марганца обеспечивали более строгий контроль над распространением углерода, позволяя оставить в железе небольшую долю этого элемента. К XVII в. европейцы узнали, что качество стали можно повысить путем переплавки и проковки небольших кусков металла при очень высокой температуре — этот метод обеспечивал более равномерное распределение углерода. Производство высококачественной стали около 1740 г. усовершенствовал Бенджамин Хантсмен, использовавший кокс и отражательные печи для создания достаточно высоких температур, позволявших нагревать томленную сталь до температуры плавления. Таким способом он изготавливал тигельную, или литую, сталь, которая вскоре стала пользоваться большим спросом у изготовителей инструментов и часовщиков. Значение тигельной стали состоит в том, что из нее можно делать отливки, а одновременная плавка в большом числе тиглей со временем дала возможность производить крупные слитки. Германский сталепромышленник Альфред Крупп первым начал применять эти технологии при литье стальных пушек. Его шестифунтовка стала одной из главных сенсаций выставки 1851 г. в Хрустальном дворце, как и гигантская стальная отливка весом в 4300 фунтов. И все же сталь оставалась слишком дорогой для массового использования в решающие годы промышленной революции. Вплоть до 1860 г. основным материалом была не сталь, а ковкое железо.

Текстильная промышленность

Ключевой технической проблемой в текстильной промышленности являлся процесс прядения. С незапамятных времен важнейшую роль в этом процессе играли пальцы — большие и указательные пальцы миллионов женщин, скручивавших ровницу и превращавших ее в пряжу. Прялка повысила производительность труда пряжи, но не устранила пальцев как орудия, преобразующего материал. Найти замену пальцам в прядении пытался англичанин Льюис Пол, первым выдвинувший идею об использовании вместо пальцев валков, между которыми протягиваются волокна. Он получил патент в 1738 г., но все же механизацию прядения обычно приписывают не ему, а Ричарду Аркрайту, работавшему через 30 с лишним лет после него. Машина Аркрайта, известная как «водяная рама», отличалась от системы Пола в одном важном отношении: в ней использовались две пары валков, вращающихся с разной скоростью и находящихся друг от друга на расстоянии, приблизительно равном длине самого длинного волокна в пряже. Все это делало машину Аркрайта работоспособной, в отличие от машины Пола. «Водяная рама» была неспособна производить тонкую пряжу, так как та рвалась при намотке на веретено.

«Водяную раму» дополняло другое изобретение — прялка «Дженни», запатентованная годом позже, но в реальности созданная в 1764 г. Идея такой машины пришла в голову ее изобретателю, Джеймсу Харгривсу, якобы после того, как на его глазах работавшая прялка повалилась на бок и продолжала крутиться еще несколько секунд. Харгривс понял, что для скручивания нити можно использовать не движение пальцев, а вращение самого колеса. В «Дженни» пряжа скручивалась путем вращения веретен, сматывавших ровницу с початков, причем роль пальцев играл металлический стержень, направлявший пряжу на веретено с помощью падаю-

щей шпильки. Вместо одного веретена, вращавшегося от колеса, в машине Харгривса использовалось сразу несколько веретен, что позволяло одновременно прясть много нитей. Однако качество пряжи было невысоким, и та годилась лишь на уток. Более того, на «Дженни» было очень неудобно работать — взрослым пряхам приходилось сгибаться над ней почти вдвое (Hills, 1979). Объединив валки «водяной рамы» с множеством веретен в «Дженни», удалось создать мюль-машину — первую настоящую прядильную машину, изобретенную Сэмюэлем Кромптоном в 1779 г. Мюль-машина, одно из самых знаменитых изобретений в истории, имела передвижавшуюся взад-вперед каретку. При этом установленные на ней веретена быстро вращались и совместно с валками скручивали пряжу, которая затем наматывалась на катушки. Пряжа нигде сильно не натягивалась, что резко снижало вероятность ее обрыва. Мюль-машина позволяла производить более дешевую и вместе с тем более тонкую, крепкую и однородную хлопчатобумажную пряжу, чем когда-либо прежде. В результате хлопчатобумажная промышленность стала развиваться невиданными доселе темпами. До Кромптона хлопчатобумажная пряжа, производившаяся в Англии, была недостаточно прочной для того, чтобы служить основой ткани, и хлопок приходилось использовать в сочетании с пряжей других видов. Благодаря мюль-машине появилась возможность выпускать чисто хлопчатобумажные ткани. Мюль-машина была особенно пригодна для изготовления тонкой пряжи; грубую пряжу еще долго производили на прядках «Дженни», так как те были дешевле и могли без проблем использоваться в надомном производстве. Наряду с «Дженни» в нем применялись и «водяные рамы», и мюль-машины, но вскоре выяснилось, что более подходящим местом для эксплуатации новых прядильных технологий является фабрика (Landes, 1986). Тем не менее нет особых оснований связывать промышленную революцию с возникновением фабричной системы; определенный технический про-

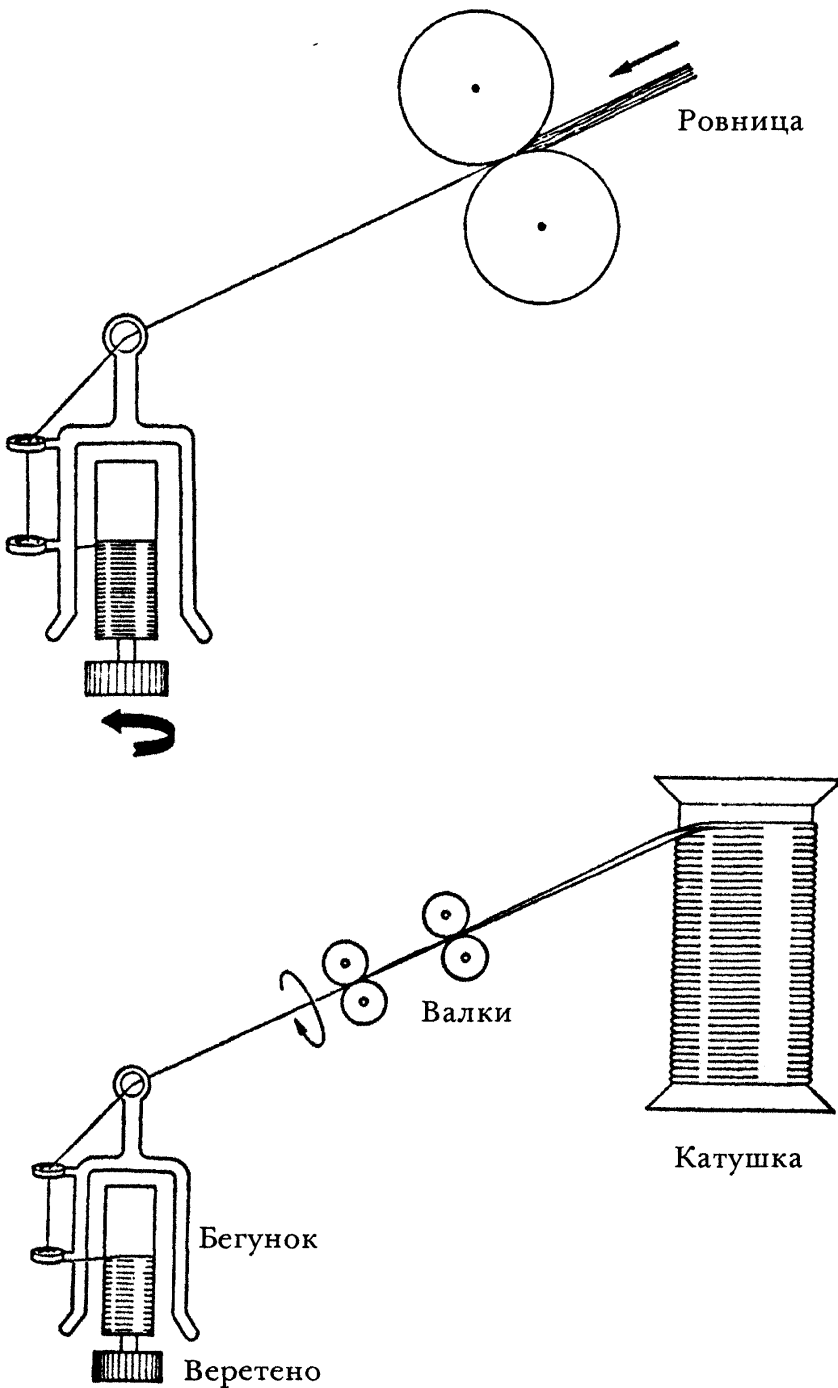


РИС. 27. Принципиальная схема прядильной машины Уайета — Пола и «водяной рамы» Аркрайта

Источник: D. S. L. Cardwell, Turning Points in Western Technology, Science History Publications.

гресс наблюдался и в надомной индустрии, порой существовавшей в симбиозе с фабриками.

Прядильные технологии впоследствии совершенствовались, но главные прорывы были осуществлены уже к 1780 г. В 1780-е гг. новый станок был оснащен приводом от паровой машины, хотя в первые годы чаще использовались мускульная сила и гидроэнергия. Самодействующая мюль-машина, запатентованная Ричардом Робертсом (ее усовершенствованная версия появилась в 1830 г.) стала триумфом британской конструкторской мысли, по выражению Мэнна (Mann, 1958, р. 290), представляя собой «почти идеальную машину». Автоматический механизм управлял движением каретки, вытягивавшей и наматывавшей пряжу, что отменяло необходимость в рабочем, передвигавшем каретку и ставившем на место падающую шпильку. Но несмотря на очевидные преимущества такой системы, она внедрялась так медленно, что патентное ведомство решило продлить патент еще на семь лет. Возможно, причина заключалась в том, что автоматический механизм стоил дорого, а получить долгосрочный кредит на приобретение средств производства было непросто. Во-вторых, примерно до 1860 г. самодействующие станки были более пригодны для изготовления грубой пряжи, из которой получалась неплотная ткань. В-третьих, структура рабочей силы, сложившаяся на фабриках с обычными мюль-машинами, в рамках которой существовала должность «смотрителя», отчасти выполнявшего функции управляющего и надзирателя, могла обладать известной инерцией, так как «смотрители» явно не были заинтересованы в распространении устройства, ослаблявшего их авторитет на рабочем месте, поскольку оно превращало прядильщиков из квалифицированных мастеров в простую службу станков. Изобретение самодействующего станка было непосредственно нацелено на ослабление позиций этих работников, чего так и не удалось добиться (Lazonick, 1979). Соответственно, снижение издержек, возможное благодаря распространению самодействующей

щих станков, оказалось ограниченным, препятствуя их широкому внедрению. Некоторое представление о степени усовершенствований можно получить из оценок Чэпмена (Charman, 1972), вычислившего время, необходимое для производства 100 фунтов хлопчатобумажной пряжи. Индийскому прядильщику, работавшему по «старой технологии», вручную, на это требовалось около 50 тыс. часов. Валки Аркрайта и мюль-машина к 1790-м гг. сократили это время примерно до 300 часов, а самодействующий станок — до 135 часов.

Несмотря на то что технологии прядения подверглись наиболее ярким усовершенствованиям, прогресс на других стадиях хлопчатобумажного производства тоже был впечатляющим. Хлопкоочистительная машина «коттон-джин», изобретенная в 1793 г. Илаем Уитни, обеспечила поступление дешевого хлопка-сырца на британские фабрики. В 1742 г. Льюис Пол получил патент на кардную машину, впоследствии усовершенствованную Аркрайтом, который первым применил большие валки при подготовке ровницы для «водяной рамы». Готовая пряжа отбеливалась с помощью хлора — этот процесс, разработанный в 1784 г. французским химиком Клодом Бертолле, в 1799 г. был модифицирован Чарльзом Теннантом, изготовившим хлорную известь из хлора и гашеной извести. Отбеливание хлором представляло собой принципиальное новшество, так как заключалось в окислении, а не в отмывании ткани от красителей; по оценкам историков химической промышленности, «последняя четверть XVIII в. не знала более важных достижений на этапе отделки текстильной продукции, чем искусство отбеливания» (Slow and Slow, 1952, p. 186). В 1783 г. Томас Белл изобрел металлические цилиндры для печати узоров на готовой ткани. Как полагал Эдвард Бейнс, один из первых историков британской хлопчатобумажной отрасли, печатный цилиндр Белла занимал то же место по отношению к ксилографии (ручная технология, использовавшаяся ранее в ситценабивном деле), какое «водяная рама» занима-

ла по отношению к прялке (Vaines, 1835, p. 265). В качестве внедрение машин шло медленнее. Первоначально совершенствовалось в основном лишь оборудование, применявшееся в надомном производстве, чем объясняется длительное процветание и выживание ткачей-надомников. В ткацком станке «дэнди», запатентованном Томасом Джонсоном в 1805 г., нить основы перемещалась автоматически, что ускоряло работу без каких-либо дополнительных усилий со стороны ткача. Первый механизированный ткацкий станок был создан в 1785 г. Эдмундом Картрайтом, предприимчивым священником-идеалистом, однако вполне работоспособной его машина стала лишь около 1815 г., а тонкая пряжа (подверженная более частым обрывам) начала использоваться на механических ткацких станках лишь в 1830-е гг.

Таким образом, в недолгий период с 1760 по 1800 гг. хлопчатобумажную промышленность накрыла волна лихорадочного изобретательства. Хлопок сочетает в себе качества, привлекательные и для потребителей, и для производителей: сделанные из него ткани хорошо красятся, легко отстирываются и гораздо лучше пропускают воздух, чем шерстяные и льняные. По сравнению с главными конкурентами — шерстью и льном, — обработка хлопкового волокна легче поддается механизации. Более того, предложение хлопка-сырца отличалось высокой эластичностью. Неудивительно, что использование хлопка возрастало темпами, невиданными в текстильной промышленности, благодаря чему хлопчатобумажная отрасль считается главным двигателем экономического роста на ранних этапах промышленной революции.

Еще с XVI в. английская шерстяная промышленность разделялась на две отрасли: изготовление шерстяных и камвольных тканей. Предварительное вычесывание шерсти в камвольной отрасли механизировалось медленнее всего. Несмотря на ряд запатентованных гребнечесальных машин, первые удачные гребнечесальные машины появились лишь в 1827 г. и были окончатель-

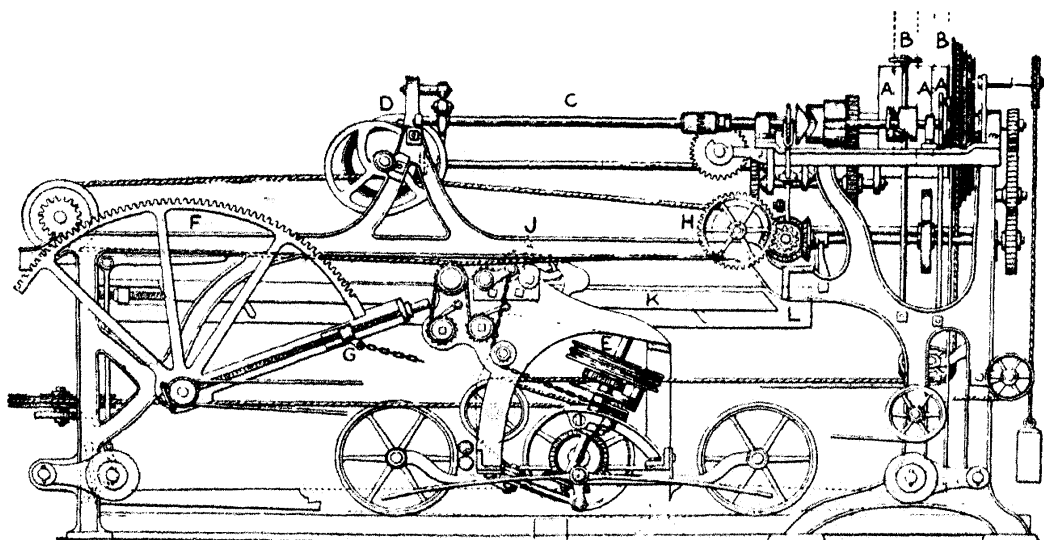


РИС. 28. Самодействующая мюль-машина
Ричарда Робертса (вид сбоку)

Источник: W. S. Murphy. *The Textile Industries*,
Vol. 3, Fig. 130. London, Gresham, 1910. E. Norman.

но усовершенствованы французом Жозуэ Гейльманом, взявшим патент на свою машину в 1845 г. С другой стороны, система Аркрайта с двойными валками была хорошо приспособлена для производства камвольной пряжи. В шерстяной отрасли механизация происходила в обратном направлении: сперва была механизирована подготовка сырья, и лишь затем — прядение. Кардные машины с водяным приводом работали в Йоркшире уже в 1770-х гг., в то время как производство шерстяной пряжи на мюль-машинах было налажено лишь в 1816 г. Изготовление камвольных тканей на механических ткацких станках началось после 1820 г., но здесь эти станки внедрялись медленнее, чем в хлопчатобумажной промышленности. С другой стороны, шерстяная пряжа была слишком непрочной для механических ткацких станков, и механизация в этом секторе задержалась до 1840-х гг. Ручное изготовление шерстяных тканей продержалось дольше, чем камвольное и хлопчатобумажное надомное ткачество. На стадии отделки шерстяных тканей инно-

вазии сталкивались с определенным сопротивлением, но и здесь механизация оказалась неизбежной.

Подобно шелку, камвольные ткани были тонким и сравнительно дорогим материалом, изготавливавшимся на так называемых жаккардовых станках — одном из самых впечатляющих изобретений той эпохи. Жаккардовый станок был в 1801 г. усовершенствован лионским ткачом Жозефом-Мари Жаккаром после сотни лет предпринимаемых французами попыток изобрести станок, который бы автоматически вплетал в ткань узоры (Usher, 1954, p. 288–295)⁵. Вид узора определялся карточками, в которых были пробиты отверстия, отображавшие информацию наподобие двоичного кода. В эти отверстия входили штырьки с присоединенными к ним проволоками, управлявшие работой станка. Жаккардовый станок обеспечивал экономию труда, так как заменял подручного автоматическим устройством, и при этом позволял ткать более разнообразные и сложные узоры. Более того, он устранял частые и дорогостоящие ошибки, совершавшиеся при работе на ручном станке. Несмотря на сопротивление французских ткачей, жаккардовый станок быстро внедрялся в лион-

5. Так называемый жаккардовый станок в реальности был изобретен двумя французами в конце 1720-х гг. Один из них, Базиль Бушон, был сыном органного мастера, что существенно, так как именно в органах впервые нашло непосредственное применение двоичное кодирование информации. Устройство Бушона усовершенствовал в 1728 г. Жан-Батист Фалькон. Бушон использовал для кодировки узоров перфорированную бумагу, в то время как Фалькон отдал предпочтение отдельным перфорированным картонкам. В 1775 г. великий инженер и изобретатель Жак де Вокансон, занявшись этой проблемой, предложил использовать цилиндр с пробитыми в нем отверстиями, прикрепив нити основы непосредственно к крючку, который управлялся иглами, входящими в эти отверстия. Хитроумное устройство де Вокансона так и не было доведено до работоспособного состояния. Вклад Жаккара состоял в сочетании самых удачных идей Фалькона и де Вокансона и в отказе от подручного, который по традиции помогал управлять вышиванием узора.

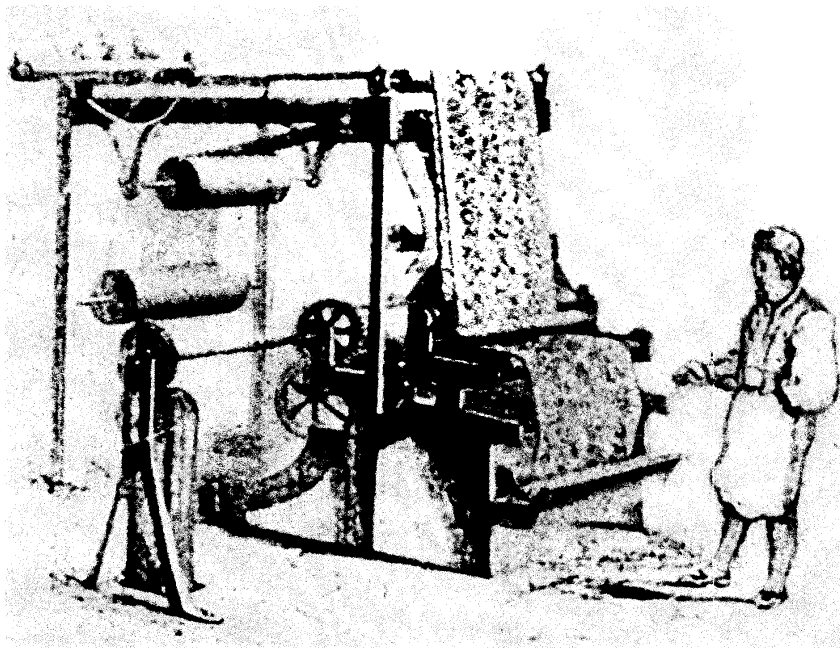


РИС. 29. Станок с цилиндрами для набивки ситца, изобретенный Томасом Беллом в 1785 г.

Источник: Archibald Clow and Nan L. Clow, *The Chemical Revolution*, Batchworth Press, London.

ском регионе. Уже через десять лет после его изобретения во Франции действовало 11 тысяч таких станков. После 1820 г. началось его распространение в Великобритании, ускорившееся в конце 1830-х гг. (Rothstein, 1977)⁶. Но если не считать жаккардового станка, шелководство, когда-то самое передовое из всех текстиль-

6. Жаккардовый станок подсказал Чарльзу Бэббиджу конструкцию его знаменитой «Аналитической машины» и вдохновил Ричарда Робертса на создание многошпиндельного сверлильного станка, оснащенного аналогичным управляющим механизмом: этот станок использовался для просверливания отверстий под заклепки в железных листах для трубчатого моста «Британия» (Rosenberg and Vincenti, 1978, p. 39). Эту же идею использовал американец Герман Холлерит, предложив хранить на перфокартах результаты американской переписи населения 1890 г.

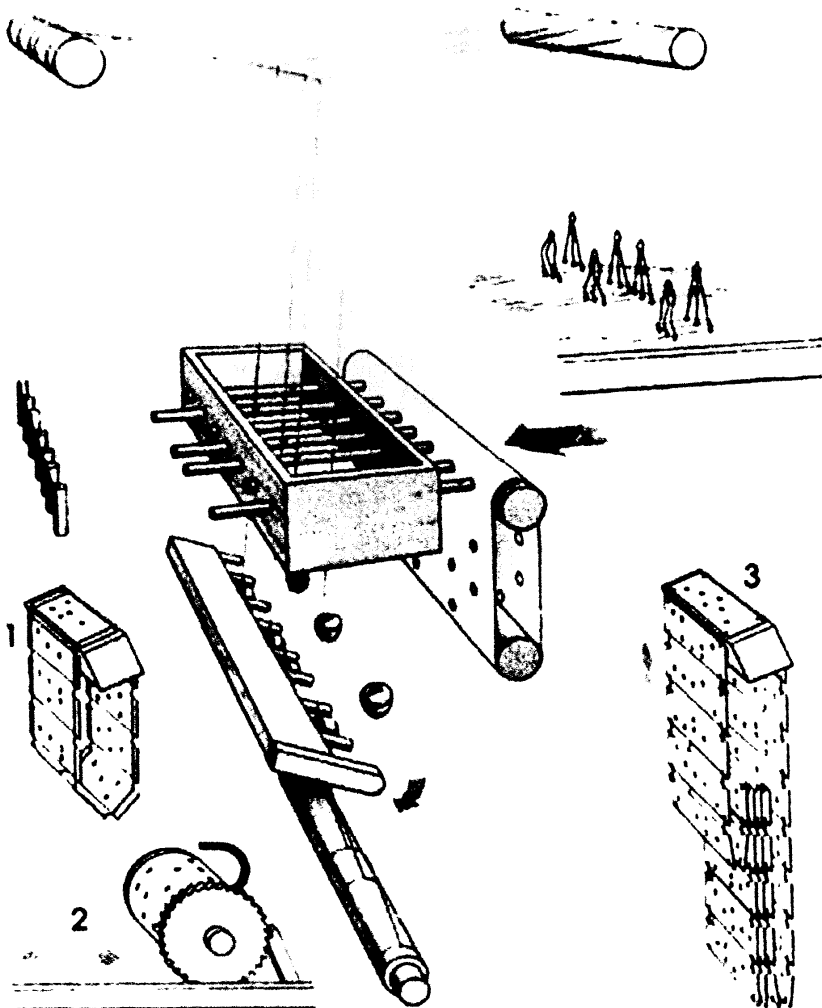


РИС. 30. Этапы создания жаккардового станка: 1) бумажная катушка Фалькона; 2) цилиндр де Вокансона; 3) бесконечная лента из карточек, предложенная Жаккардом. Управляющий механизм изображен в центре.

Источник: Macmillan London Ltd.

ных отраслей, пребывало в застое, и к 1825 г. считалось отсталым (English, 1958, p. 311).

В старинной и почтенной льняной отрасли механизация проходила с трудом. В льняной кудели встречаются волокна, содержащие резиноподобное вещество, которое необходимо растворить перед началом прядения. Толчком к ускорению работ послужили напо-

леоновские войны, во время которых материковая текстильная промышленность была отрезана от источников хлопка-сырца. Наполеон, заинтересованный в благополучии отрасли, обещал крупную награду тому изобретателю, который сделает для льна то же, что сделали Аркрайт и Кромптон для хлопка. В 1810 г. француз Филипп де Жирар усовершенствовал процесс «мокрого прядения», при котором кудель перед подачей на веретено вымачивалась в горячем щелочном растворе. Эта идея была внедрена в Лидсе в 1825 г., после чего механизация льнопрядения пошла быстрыми темпами. Предварительные этапы подготовки кудели, на которых материал трепался и вычесывался (примерно так же, как он вычесывается в шерстяном, камвольном и хлопчатобумажном производстве), — представлявшие собой надомную отрасль с высоким уровнем трудоинтенсивности, — были механизированы в 1830-е гг., хотя самая тонкая льняная пряжа все равно делалась из кудели, вычесанной вручную. Более того, применение механических станков в льноткачестве затруднялось из-за недостаточной эластичности льняных волокон, вызывающей обрывы туго натянутой нити. Даже в 1850 г. по всей Великобритании насчитывалось чуть более 1000 механических ткацких станков в льняной отрасли, по сравнению с 42 тыс. станков в шерстяной и камвольной и четверти миллиона — в текстильной отрасли. Технические сложности, связанные с механизацией льняного производства, привели к его резкому упадку, что имело катастрофические последствия для регионов, традиционно специализировавшихся на нем, таких как Ирландия и Западная Бельгия.

Прогресс в прочих отраслях

В число факторов, сделавших промышленную революцию возможной в конце XVIII в., а не веком или двумя ранее, несомненно, входило существование небольшой, но жизненно важной отрасли по изготовлению точ-

ных приборов и механизмов. В 1774 г. Джон Уилкинсон запатентовал машину, первоначально предназначенную для просверливания стволов чугунных пушек, в которой сверло и заготовка перемещались независимо друг от друга. Эта технология резко повысила точность сверления, и через два года Уилкинсон был нанят Болтоном и Уаттом для изготовления цилиндров и конденсаторов паровой машины. Не будет большим преувеличением сказать, что именно способность Уилкинсона и его коллег производить детали с той точностью, какая требовалась изобретателю, стала причиной различий между Уаттом и Тревитиком с одной стороны и Леонардо да Винчи с другой стороны. Такие станки, как строгальные, фрезерные, токарные, винторезные и т. д., позволяли придавать металлическим заготовкам точную геометрическую форму, что является принципиально важным в машиностроении и при стандартизации. Как выразился один историк техники (Paulinyi, 1986, p. 277), это был «самый важный шаг на пути к изготовлению машин машинами... [появилась] возможность использовать железо и сталь всюду, где это представлялось оправданным».

В отличие от текстильной промышленности, специалисты по конструированию и машиностроению представляли собой тесно сплоченную группу, делившуюся друг с другом секретами своего ремесла. В дополнение к династиям отцов и сыновей, таких как Джордж и Роберт Стефенсоны или Марк и Изамбард Брюнели, существовали династии мастеров и учеников. Самой знаменитой из этих династий была та, которую основал Джозеф Брама, получивший восемнадцать патентов, включая патенты на усовершенствованный ватеркловет, строгальный станок, сложные замки и станок для намотки пружин. В 1797 г. работавший у Браммы мастер Генри Модсли открыл собственное дело и изобрел винторезный станок, нарезающий винты с беспрецедентной точностью и по разумной себестоимости. Также Модсли построил множество строгальных, сверлильных, дол-

бежных станков, механических пил и т.д. (Woodbury, 1972). Знаменитые портсмутские машины, изобретенные Модсли вместе с Марком Брюнелем около 1801 г. для производства деревянных снастей и деталей для британского флота, работали автоматически, в смысле скоординированности и узкого разделения труда напоминая современные процессы массового производства, когда десять рабочих производят больше продукции, чем позволяла традиционная технология, требовавшая в 10 с лишним раз больше рабочих рук (Cooper, 1984). В свою очередь, Модсли обучил трех других инженеров — Ричарда Робертса, Джеймса Насмита и Джозефа Уитворта — каждый из которых также внес важный вклад в машиностроение. Насмит изобрел паровой молот, а также фрезерные и строгальные станки. Уитворт представил не менее 23 экспонатов для знаменитой выставки 1851 г. в Хрустальном дворце, прославившей британскую конструкторскую мысль. В число достижений Уитворта входили измерительная машина, способная производить измерения с точностью до одной миллионной доли дюйма, и стандартизация резьбы на винтах. Ричард Робертс был одним из самых блестящих инженеров своего времени. Он внес принципиальный вклад в полдюжины изобретений, включая многошпиндельный сверлильный станок, управлявшийся механизмом с двоичной логикой, аналогичным тому, который применялся в жаккардовом станке. Усовершенствовав механический ткацкий станок Картрайта, Робертс способствовал его превращению из курьеза, изобретенного эксцентричным прожектером, в фундамент британской хлопчатобумажной промышленности (одновременно предрешив судьбу британских ткачей-надомников). Самым знаменитым из его изобретений было самодействующее устройство (1830), которое, как мы видели, полностью автоматизировало работу на мюль-машине.

Заслуживают упоминания и другие конструкторы станков, не обязательно напрямую связанные с «династией» Браммы. В 1763 г. Джесси Рамсден построил де-

лительную машину для точного нанесения делений на окружность, что имело принципиальное значение для создания навигационных и геодезических инструментов. Свой вклад в конструкцию усовершенствованных станков внесли Мэттью Марри и Брайан Донкин. Достойным наследником Джона Смитона был Уильям Фэйрбэйрн, создававший водяные колеса, пароходы и котлы более передовой конструкции. В США Илай Уитни, Джон Хэлл, Симеон Норт, Томас Бланчар и другие внедряли новые станки, вымостив путь к созданию американской системы взаимозаменяемых деталей.

В керамической отрасли инновации происходили совсем не тогда, когда они делались в текстильной промышленности и в металлургии, и совсем в других местах. Здесь серьезную роль играл материк, а многие важные технические достижения были осуществлены до 1750 г. В XVII в. голландские мастера, пытавшиеся создать аналог китайского бело-синего фарфора, придумали, как делать посуду с оловянной глазурью, которой прославился Делфт. Секрет производства фарфора открыл в 1708 г. И. Ф. Бетгер, работавший на Августа Сильного, князя-электора Саксонии. Дрезденский фарфор производился в Мейсене по технологии, которую саксонцы держали в секрете. Лишь несколько десятилетий спустя эта технология стала доступна для других стран Европы. В Англии фарфор успешно заменяла керамика с соляной глазурью, производившаяся Джоном Эстбери из Стаффордшира приблизительно с 1720 г. Когда знаменитый Джозайя Веджвуд в 1759 г. основал свою фабрику в Барслеме, он мог опираться на почтенную традицию изготовления превосходной посуды. В предшествовавшем столетии британская керамическая промышленность в основном перешла на такое топливо, как уголь, а также на новое сырье, такое как комовая глина и кремень. Веджвуд заслуженно прославился рационализацией производства, использованием паровых машин и узким разделением труда, а также умением продавать относительно недорогую продукцию

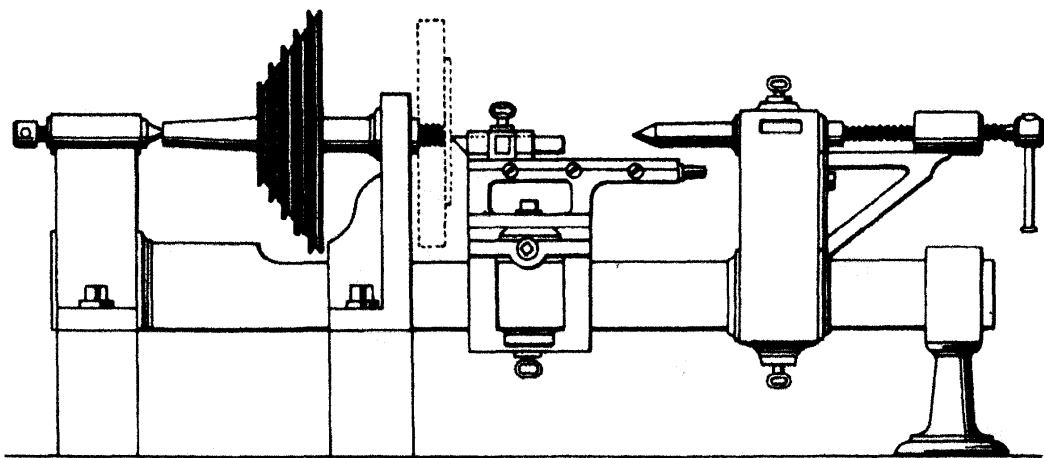


РИС. 31. Токарный станок Генри Модсли,
созданный в 1800 г.

Источник: Maurice Dumas, A History of Technology and
Invention, Vol. III, Crown Publishers Inc., New York.

спесивым покупателям, успешно конкурируя с более дорогим твердым фарфором, изготовлявшимся на материке. Однако Веджвуд также сделал ряд важных изобретений: он первым стал включать золото и платину в состав глазури для придания ей блеска, а труды по пирометрии обеспечили ему в 1783 г. членство в Королевском обществе.

В стекольной отрасли Великобритания тоже отставала от материка. Примерно в 1688 г. французские стеклодувы освоили производство листового стекла (являвшегося важнейшим видом продукции в этой отрасли) методом литья, позволявшим получать гораздо более ровную и плоскую поверхность, чем при более дешевом методе дутья. Большая королевская мануфактура в Сен-Гобене стала лидером в производстве оконного стекла и зеркал по новой технологии. Ее внедрение в Великобритании началось лишь в 1770-е гг., причем британская стекольная промышленность все равно оставалась в зависимости от французских секретов. С другой стороны, британцы начали варить стекло в отражательных печах, в качестве топлива используя уголь. Благодаря

закрытым тиглям дым не обесцвечивал стекло — французы освоили эту технологию лишь после революции (Scoville, 1950, p. 43). Самый важный прорыв в стекольной промышленности осуществил в 1798 г. швейцарец Пьер-Луи Гинан, который изобрел метод перемешивания расплавленного стекла в тигле с помощью пустотелого цилиндра из обожженной огнеупорной глины, обеспечивавший более равномерное распределение пузырьков воздуха в стекле. Эта технология позволяла получать оптическое стекло беспрецедентно высокого качества. Гинан держал ее в секрете, но его сын в 1827 г. продал ее французскому производителю, который, в свою очередь, перепродал метод Гинана стекольной компании братьев Ченс в Бирмингеме, вскоре вошедших в число лучших европейских производителей стекла.

В бумажной промышленности француз Николя-Луи Робер в 1798 г. запатентовал машину, производящую непрерывную бумажную полосу. Главная идея Робера заключалась в том, чтобы бумага высыхала на бесконечной ленте, сплетенной из проволоки, а не в применявшихся прежде формах, позволявших получать лишь отдельные листы. Принципы, разработанные Робером, усовершенствовал британский инженер Брайан Донкин, и в конце концов на их основе была создана машина Фурдринье, названная по имени лондонского книгоиздателя, первым успешно применившего ее на практике (Coleman, 1958, p. 179–190; Clapham, 1957, p. 416). Хотя бумажную промышленность обычно не относят к типичным отраслям промышленной революции, машина Фурдринье в реальности была революционным устройством. Благодаря ее применению время, необходимое для изготовления листа бумаги, сократилось с трех недель до трех минут, а пятеро работников бумажной фабрики могли обеспечить работой три тысячи человек. Кроме того, при приготовлении бумажной массы с 1790-х гг. также стало применяться хлорное отбеливание, сыгравшее ключевую роль в развитии хлоп-

чатобумажной отрасли, и это позволило использовать для производства бумаги крашеное и набивное тряпье.

Таким образом, Великобритания не обладала монополией на изобретения, но в случаях отставания она беспардонно заимствовала, имитировала и похищала чужие технические знания. Другой хороший пример того, как британцы осваивали новые технологии, созданные в других местах, мы найдем в химической промышленности. Бертолле, изобретатель хлорного отбеливания, был французом, как и Николя Леблан, разработавший процесс производства соды, носящий его имя. Реакцией соли с серной кислотой Леблан получал сульфат натрия, который при нагреве в присутствии известняка или угля распадается на соду и вредный побочный продукт — соляную кислоту. Процесс Леблана лег в основу современной химической промышленности и считается одним из важнейших изобретений той эпохи⁷. В Британии эта технология приживалась относительно медленно — лишь в 1820-е гг. здесь развернулось крупномасштабное производство соды по методу Леблана. Такую задержку обычно объясняют высоким налогом на соль, из-за которого искусственно полученная сода стоила дороже, чем сода растительного происхождения. Как только налог на соль был отменен, производство соды в Брита-

7. История Леблана служит примером тех рисков, которые подстерегают изобретателя. Французская академия назначила премию в 100 тыс. франков тому, кто найдет способ производства соды из морской соли. Леблан решил эту проблему в 1787 г., но не получил премию. Впрочем, вместе со своим нанимателем, герцогом Орлеанским, он в 1789 г. построил завод по производству соды в Сен-Дени. Трудно было выбрать более неудачный год для основания коммерческого предприятия совместно с видным представителем старого режима. Революционное правительство аннулировало патент Леблана под тем предлогом, что производство соды является вопросом национальной безопасности. Цена на соду резко упала, и Леблан в 1806 г. совершил самоубийство, отчаявшись получить какую-то компенсацию за свое изобретение. Гонорар за него был выплачен его наследникам лишь в 1855 г.

нии стало быстро развиваться и к 1850-м гг. уже давало в три раза больше продукции, чем во Франции (Naber, 1958, p. 10–14). Впрочем, в других сферах химической промышленности Великобритании шла впереди материка еще с середины XVIII в. Серную кислоту, известную как купорос и использовавшуюся при отбеливании и в металлургии, получали по процессу, изобретенному в 1666 г. во Франции, смешивая селитру с серой в больших стеклянных сосудах. Однако французы не спешили пользоваться своим изобретением, и в 1740 г. этот процесс освоил Джошуа Уорд, английский фармацевт, начавший производить серную кислоту в стеклянных камерах, после чего цена на нее упала примерно с 9 фунтов стерлингов до 10 шиллингов за фунт. В 1746 г. Джон Ройбек усовершенствовал разработанный им процесс производства серной кислоты в свинцовой камере, что упрочило британские позиции в этой отрасли. Лишь во второй половине XIX в. лидерство в химической промышленности прочно захватили немцы благодаря своим превосходным химикам.

Интересным примером международного сотрудничества при разработке новых технологий служит создание газового освещения. Хотя вклад этого изобретения в национальный доход, вероятно, был весьма скромным, оно имело большое значение в смысле влияния на качество жизни: улицы с газовым освещением были безопаснее, газовый свет в домах способствовал распространению грамотности, газовое освещение в театрах позволяло давать более изысканные представления, а газовый свет на фабриках делал ночную работу более дешевой и эффективной. До 1780 г. техника освещения мало изменилась со времен Античности. Лампы, заправлявшиеся рапсовым или каким-либо другим маслом, сильно коптели. Свечи, главным образом делавшиеся из сала, также коптели и давали зловонное пламя. Намного более качественные восковые свечи имели высокую стоимость, препятствовавшую их широкому применению.

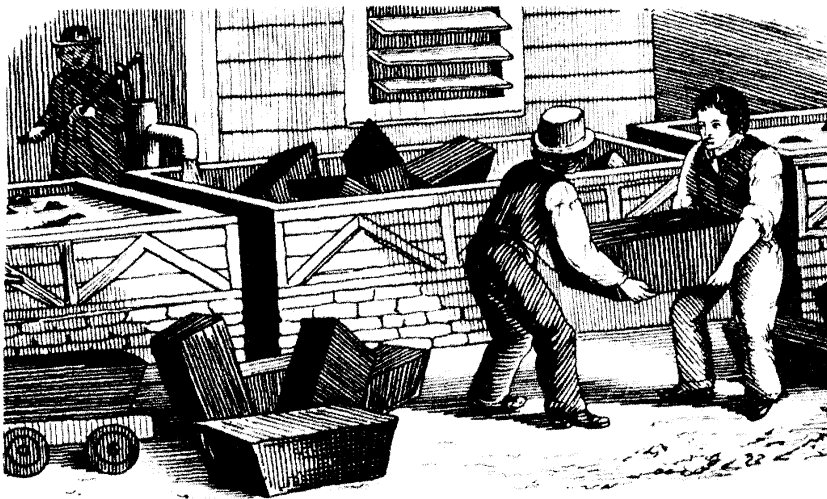
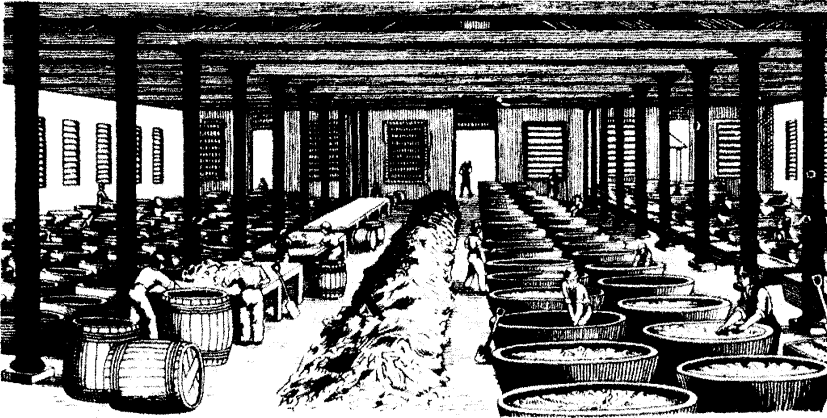
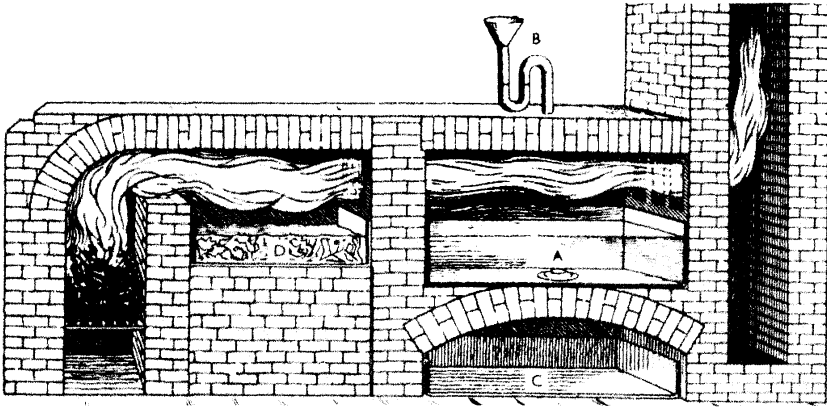


РИС. 32. Производство соды по методу Леблана: (i) печь, в которой происходит реакция; (ii) большие чаны, в которых выпаривается сода; (iii) подготовка соды для стекольного производства

Источники: (i) по С. Tomlinson. *The Useful Arts and Manufactures of Great Britain. Part II, Section: «The Manufacture of Soda»*. P. 33. London, 1848. E. Norman. (ii, iii) по С. Tomlinson. *Ibid.*, p. 26. D. E. Woodall.

Газовое освещение было создано усилиями немцев, англичан и французов. Использовать газ как источник света впервые предложили бельгийский физик Жан-Пьер Минкелер и немецкий фармацевт Г. Микель в конце 1780-х гг. В 1799 г. француз Филипп Лебон создал так называемую термолампу, в которой использовались древесный газ и горелка Аргана, изобретенная французом Эме Арганом в начале 1780-х гг.⁸ Термолампа Лебона предусматривала отдельную подачу газа и воздуха, а более тяжелые продукты сгорания собирались в специальном приемнике. В 1798 г. шотландец Уильям Мердок, работавший на фирму Болтона и Уатта (купившую право на использование горелки Аргана в Великобритании), стал освещать свою кузницу газом, получаемым из угля и вскоре доказавшим свое преимущество перед древесным газом. К 1807 г. газ уже освещал манчестерские хлопчатобумажные фабрики и лондонскую «Пэлл-Мэлл». Англичанин Сэмюэл Клегг доказал возможность централизованной выработки газа и его подачи отдельным потребителям по гидравлическим газовым магистралям. Его зять Джон Мэлэм создал в 1819 г. счетчик, измерявший количество газа, израсходованное каждым потребителем. После того как в 1815 г. в Европу вернулся мир, идея газового освещения быстро распространилась по материкам: благодаря трудам немецкого химика Вильгельма Лампадиуса, не зря носившего такую фамилию, в 1826 г. оно пришло на улицы Берлина. Дальнейшие инновации, такие как фильтрация газа через негашеную известь с целью устранения неприятного запаха,

8. Лампа Аргана содержала три важных новых элемента: пустотелый трубчатый фитиль, позволявший подавать воздух как изнутри, так и снаружи; цилиндрический стеклянный плафон, игравший роль дымохода; и механизм, позволяющий поднимать и опускать фитиль (Schivelbusch, 1988, p. 10–11). Подобно своему соотечественнику Леблану, Арган не смог извлечь выгоду из своей горелки, так как был не в состоянии воспрепятствовать многочисленным подражаниям. Он умер в Лондоне, ожесточившийся и впавший в нищету, в 1803 г.

вызываемого сероводородом, позволили снизить себестоимость газового освещения и повысить его качество.

В горном деле наблюдался лишь постепенный прогресс — эпоха промышленной революции почти не знала ярких достижений в этой сфере. Уголь занимал все более важное место в экономике — отчасти благодаря его использованию в машинах и в металлургии, а отчасти из-за того, что он все больше требовался растущему и процветающему населению для отопления жилья. Однако, помимо применения паровых машин для откачки воды из шахт, единственным радикальным изобретением в области угледобычи была безопасная лампа, сконструированная Хэмфри Дэви в 1815 г. Главным образом прогресс заключался лишь в улучшении вентиляции, применении рельсовых путей в подземных штреках и создании новых, более безопасных конструкций шахт. К 1830 г. начали использоваться вентиляторы с паровым приводом, еще больше снизившие риск взрывов. Тем не менее технические проблемы, связанные с механизацией труда шахтеров, не поддавались решению. Рост производства в этой отрасли сводился главным образом к сдвигу по кривой предложения, а не к смещению самой этой кривой, как в текстильной отрасли и в металлургии. Иными словами, объем производства в горнорудном секторе возрастал главным образом благодаря направлению в отрасль дополнительных ресурсов, а не благодаря новым технологиям, позволявшим удешевить продукцию или повысить ее качество без привлечения новых ресурсов.

Наконец, в самый разгар промышленной революции, в 1783 г., было сделано одно из величайших макроизобретений всех времен, которое, однако, редко упоминается в связи с ней. Речь идет о воздухоплавании — несомненно, эпохальном изобретении братьев Монгольфье в смысле своей новизны и оригинальности. Люди с незапамятных времен мечтали о полете, но не считая нескольких безуспешных попыток, он оставался недостижим. Попытки летать обычно сводились к оснащению

летуна крыльями и хвостом наподобие птичьих, при отсутствии самых элементарных представлений о принципах аэронавтики. Жозеф де Монгольфье первым избрал совершенно иной путь, который привел его к поразительному успеху. Монгольфье знал о том, что Генри Кавендиш в 1766 г. открыл водород — газ легче воздуха. Он полагал, что при горении образуется аналогичный газ, и если им наполнить закрытый сосуд, то тот окажется легче воздуха и взлетит. Как мы видим, эти рассуждения были отчасти ошибочными. Шар Монгольфье поднимался не из-за того, что был наполнен газом легче воздуха, а из-за того, что сам нагретый воздух расширяется и становится легче окружающего холодного воздуха. Это не помешало Монгольфье достичь мгновенного успеха. Через полгода после появления его идеи был произведен знаменитый опыт в Аннонэ. 21 ноября 1783 г. в воздух впервые поднялось двое людей, совершивших полет и оставшихся после него в живых. За исключением нечастых случаев использования в военном деле, воздухоплавание, разумеется, почти не имело непосредственного экономического эффекта. Однако не может быть особых сомнений в том, что изобретение воздухоплавания имело далеко идущие последствия. Немного найдется изобретений, которые бы более ярко доносили до людей идею о техническом прогрессе и предупреждали бы их о способности изобретательных и креативных людей управлять силами природы и создавать то, чего еще никто никогда не делал.

Технические достижения в британском производственном секторе позволили увеличить производство в многократных, невиданных прежде размерах. Стоимость хлопчатобумажной ткани в 1780–1850 гг. снизилась на 85%. Как показывает элементарный экономический анализ, в конкурентной экономике технический прогресс в производстве существующих товаров обычно ощущается потребителями в виде снижения цен. Спрос играет в этом процессе в основном пассивную роль, так как потребители реагируют на снижение цен, покупая

больше товаров или, как говорят экономисты, сдвигая вниз свои кривые спроса⁹. Технический прогресс приводит к появлению совершенно новых товаров и к росту качества прежних товаров. Таким образом, сдвиг предложения либо удовлетворяет уже существующий спрос, либо создает новые потребности, ранее не ощущавшиеся в явном виде. В любом случае нет смысла объяснять время и место промышленной революции экзогенными изменениями в потребительском спросе на товары и услуги.

Почему эти прорывы не случились раньше? Несмотря на то что инновации, к которым сводилась промышленная революция, в основном не опирались на новые научные знания, тем не менее перед инженерами промышленной революции, решавшими технические проблемы в металлургии, энергетике и текстильной промышленности, стояли очень непростые задачи. С учетом того, какие инструменты, материалы и ресурсы имелись в распоряжении самых талантливых людей Европы, неудивительно, что для решения большинства этих задач потребовалось так много времени. Те, кто вместе с Хобсбаумом (Hobsbawm, 1968, p. 38) утверждает, что в новых технологиях промышленной революции не было ничего такого, что помешало бы разработать их 150 годами ранее, путают научные знания с техническими возможностями. Какими бы несложными ни казались нам эти проблемы, для людей того времени они отнюдь не были таковыми. Даже в тех случаях, когда всего лишь требовалось на основе уже существовавших технических знаний построить новое работоспособное устройство, изобретателю нередко приходилось прикладывать значительные усилия. Такие этапы технического прогресса, как «изобретение» и «внедрение», еще не были четко разделены. В недавние годы проявилась тенденция к отрицанию роли ключевых персонажей

9. Подробнее об этом см.: Мокуг (1985), особ. гл. 1, 3 и 4.

в экономической истории и к объяснению промышленной революции действием неизбежных социальных сил. Этот подход в основном представляет собой реакцию на прежние бесхитростные истории о героических изобретателях, приписывавшие весь технический прогресс горстке блестящих индивидов. Однако есть опасность перегнуть палку в другую сторону. Изменения, произошедшие в британской экономике во время промышленной революции, несомненно, являлись результатом действия мощных экономических, социальных и демографических сил. Но идеи, изменившие мир, возникали в головах у изобретательных, практичных, сведущих в механике людей. Самих по себе идей недостаточно, что уже давно открыли для себя многие поколения отчаявшихся изобретателей. Не меньшее значение имеют сноровка и настойчивость. Сэмюэл Кромптон, фермер-изобретатель, писал, что в течение «по меньшей мере четырех с половиной лет посвящал каждый момент времени и все силы своего разума, равно как и все средства, которые приносили другие занятия, достижению одной лишь этой цели» (цит. по: Vaines, 1835, p. 199). Мысль об отдельном конденсаторе впервые посетила Уатта в 1765 г.; первую коммерчески успешную паровую машину он построил только в 1776 г. Создание самодействующего устройства потребовало от Робертса напряженных усилий (к которым его подталкивала забастовка прядильщиков 1824 г.), обошедшихся в 12 тыс. фунтов и шесть лет тяжелой работы. Помимо всего прочего, для изобретательства были нужны люди недюжинных способностей, такие как Уатт, Смитон, Тревитик и Робертс, а также люди недюжинной энергии, отваги и удачи, такие как Аркрайт и Болтон. Разумеется, появление талантов — процесс не вполне экзогенный; он зависит от стимулов и настроений. Вопрос, на который мы должны ответить, состоит в том, почему в некоторых обществах таланты мобилизуются на решение технических проблем, со временем целиком изменяющих производственную экономику, в то время как в других

обществах подобные таланты либо подавляются, либо используются в иных сферах.

Историю промышленной революции, разумеется, нельзя свести к рассказу о кучке великих изобретателей. Упомянутые выше люди составляли лишь малую долю тех, кто участвовал в создании новых технологий. На ступень ниже «суперзвезд» стояли сотни и тысячи инженеров, механиков, предпринимателей, мастеров и талантливых любителей, чей вклад в технический прогресс был менее ярким. Осваивая, модифицируя, совершенствуя, дополняя и доводя до ума прежние изобретения, именно они обеспечили успех нескоординированного, бессознательно осуществлявшегося совместного проекта, носившего название «промышленная революция». Кроме того, мы не должны забывать о существовании еще более многочисленных и уже совсем забытых изобретателей и выдумщиков, не сумевших сделать ничего работоспособного или обойденных более энергичными и более удачливыми конкурентами.

ГЛАВА 6

Поздние годы XIX века: 1830–1914

ОБЫЧНО считается, что до середины XIX в. технический прогресс шел более-менее независимо от научного прогресса, но затем наука и техника стали взаимодействовать все более тесно. Как мы видели, эта точка зрения верна лишь отчасти. Наука, и особенно ученые, были не вполне безучастны к техническим изменениям и до 1850 г. В 1600–1850 гг. техника кое-что взяла от науки, а еще больше — от ученых. Тем не менее мы лишь в немногих случаях можем заключить, что в основе конкретного изобретения лежал прорыв в научном понимании соответствующих химических или физических — или тем более биологических — процессов. После 1850 г. наука приобрела большее значение в качестве прислужницы техники. Все большее число технологий во всевозможных сферах — от гидроэнергетики до химической промышленности — зависело от научных достижений или вдохновлялось ими. Однако количество чисто эмпирических технических прорывов не уменьшилось, даже если снижалось их относительное значение. К этим вопросам мы еще вернемся в главе 7.

После 1850 г. технические изменения приобрели другую новую черту. Разумеется, в экономии за счет масштаба не было ничего нового. Еще Адам Смит подчеркивал выгоду разделения труда, и даже самый поверхностный наблюдатель знал, что многие виды машин станут намного дороже, если делать их маленькими и в небольших количествах. Более того, маркетинг, заимствование технологий, надзор за рабочими и по-

лучение новой информации обходились крупным фирмам дешевле, чем мелким. Фабричная система возникла тогда, когда надомному производству, в рамках которого размер фирмы ограничивался размерами домохозяйства, стало все сложнее поспевать за фабриками при освоении новых технологий¹. Массовое производство развивалось медленно, и к 1870 г. еще было большой редкостью. Однако в последней трети столетия эти тенденции стали более заметными. Обучение в процессе работы, высокая стоимость средств производства, эффект перелива (позитивные экстерналии), ощущавшийся многими производителями, сетевые технологии и чисто технологические факторы, такие, как экономия за счет масштаба, присущая железным дорогам, металлургии, химической отрасли и массовому производству, использующему взаимозаменяемые детали и непрерыв-

1. Как отмечалось выше, надомные отрасли были вполне способны к освоению новых технологий и росту производительности. Берг (Berg, 1985) неустанно указывает на значение этих достижений как источника экономического роста во время промышленной революции. Однако вопрос реально состоит не в том, вытеснили ли фабрики надомное производство из-за того, что, в отличие от домохозяйств, могли обеспечивать рост производительности и адаптироваться к нему, а в том, не было ли крупномасштабное производство более пригодным для применения новых технологий. Как отмечает Ландес (Landes, 1986), «техника имеет свои предпочтения». Правда, в некоторых случаях мы сталкиваемся с неоднозначными фактами. Берг (Berg, 1985, р. 243) цитирует Хилла (Hill, 1979), который утверждает, что первые «водяные рамы» были небольшими и прекрасно подходили для надомного производства, но благодаря Аркрайту лицензии выдавались лишь на крупные станки, из опасения исков о нарушении авторских прав. Однако срок действия его патента истек в 1785 г.; если бы «водяная рама» действительно больше годилась бы для использования в домохозяйствах, то она вернулась бы к надомникам. Но этого не случилось, так как к концу 1780-х гг. крупные мюль-машины и «водяные рамы» с приводом от водяного колеса или от паровой машины были уже вне конкуренции с точки зрения производственных издержек, и даже прялки «Дженни» во все большей степени перемещались на фабрики.

ные производственные процессы, — во все большей степени совместно способствовали снижению средних цен как на уровне отрасли, так и на уровне фирмы.

Значение этого наблюдения состоит в том, что в условиях возрастания прибыли за счет масштаба история техники приобретает иную окраску. Попросту говоря, возрастающая отдача и экономия за счет масштаба означают, что крупные фирмы более эффективны и производство обходится им дешевле. Уже давно известно, что возрастающая отдача несовместима с равновесной экономикой. И это тем более верно для экономики в эпоху технических изменений. Иными словами, стандартные инструменты экономического анализа не в состоянии объяснить наблюдаемые тенденции в сфере НИОКР, как и при распространении и освоении новых технологий. Брайан Артур (Arthur, 1989) показал, что в условиях роста прибыли рациональный выбор из нескольких конкурирующих технологий уже не гарантирует того, что выбранная технология будет наиболее эффективной. Технические изменения превращаются в неупорядоченный процесс, для описания которого больше годятся концепции современной эволюционной биологии, нежели статичные экономические инструменты. Как указывает Пол Дэвид, процесс технического развития в таком неупорядоченном мире неизбежно взывает к изучению истории (David, 1975, p. 16).

Особый случай возрастающей отдачи в сочетании с внешней экономией представляет собой ситуация, когда возрастает значение технологических систем и сетей. До 1850 г. техника состояла из более-менее изолированных островков знаний, в которых могли происходить неожиданные изменения производственных технологий, серьезно не затрагивавшие другие отрасли и других производителей. Впрочем, следует отметить ряд исключений из этого правила. Эти исключения наблюдались в тех случаях, когда производственные технологии складывались в сложные системы с взаимодействием отдельных компонентов. В таких условиях на эти компоненты

действовали структурные ограничения, затруднявшие резкие перемены. В качестве примера можно привести систему открытых полей, включавшую выращивание различных культур и разведение скота — компоненты, изменение которых сдерживалось необходимостью их соответствия друг другу. Можно упомянуть и парусный корабль — сложное по стандартам того времени устройство, в рамках которого взаимодействовали функции движения, управления, выбора курса, обороны и обслуживания. Вследствие структурных ограничений, присущих таким системам, технологии в сферах сельского хозяйства и судостроения развивались медленно и постепенно. После 1850 г. сложность технических систем возросла. Примерами технологических сетей служат железные дороги, телеграф, телефон, электро- и водоснабжение, а также сети по снабжению индивидов запасными частями и информацией. Как указывали Пол Дэвид и другие авторы, отдельные компоненты таких систем могут противодействовать изменению других частей системы вследствие необходимости сохранять совместимость с существующими технологиями². Впрочем, одновременно с повышением сложности технических систем после 1850 г. возрастало и умение изобретателей решать такие проблемы. Свободный рынок продемонстрировал впечатляющую способность задавать единые стандарты, соблюдаемые различными производителями, и координировать работу сложных сетей снабжения, однако известны также многочисленные провалы, подчеркивающие уязвимость рынков перед лицом сложных технических систем. Так, например, в мире существуют электрические сети с напряжением в 110 и 220 вольт, страны с право- и левосторонним движением, широкие и узкие железнодорожные колеи, электрические и дизельные локомотивы.

2. В качестве современного примера можно указать на провал попыток внедрить телевидение высокой четкости: проблемы совместимости не позволили американцам отказаться от устаревших систем цветного телевидения.

Во второй половине XIX в. важной чертой западной техники стало массовое производство, однако его прогресс не был ни неизбежным, ни повсеместным. Общая картина может быть еще более неупорядоченной, чем полагает Дэвид. Во многих отраслях мелкие фирмы упрямо цеплялись за жизнь. В частности, выживание мелких фирм гарантировалось массовым производством, поскольку, как указывают Сейбл и Зейтлин (Sabel and Zeitlin, 1985), многие устройства, необходимые для массового производства, было невозможно производить массово, и их поставками занимались мелкие рынки, требующие гибкости и индивидуального подхода. В частности, неделимость оборудования можно было преодолеть путем его совместного использования, создания кооперативов и аренды дорогостоящих средств производства вместо их приобретения. Подобные соглашения нередко были весьма затратными и со временем давали начало крупным фирмам, но лишь после длительной борьбы. Порой технический прогресс благоприятствовал мелким фирмам: благодаря освоению электричества каждый клиент оказался обеспечен эластичным источником энергии, а велосипед и автомобиль позволили выжить мелким транспортным предприятиям.

Конец XIX в. нередко называют эпохой стали и химической промышленности. Это справедливо, однако дело отнюдь не ограничивалось двумя этими отраслями. Здесь мы сможем дать лишь краткий и выборочный обзор настоящей лавины новых технологий, обрушившейся на мир в те годы.

Металлургия

К 1850 г. железный век окончательно вступил в свои права. Но железо во многих отношениях уступало стали. Детали машин и рельсы, сделанные из железа, быстро изнашивались, что влекло за собой большие эксплуатационные расходы; кроме того, железо было недоста-

точно прочным и гибким, что ограничивало его применение во многих сферах, включая машиностроение и строительство. Проблема заключалась не в том, как делать сталь, а в том, как делать дешевую сталь.

Генри Бессемер являет собой классический пример профессионального изобретателя-самоучки. История о том, как он открыл процесс производства дешевой стали, следует типичной схеме: вдохновение пришло к нему в ходе решения совершенно иной задачи (он бился над проблемой артиллерийского снаряда для нарезных пушек с высокой начальной скоростью выстрела). Неожиданное озарение подсказало ему принципиальную идею конвертера, но затем понадобились годы труда для того, чтобы понять, как и в каких условиях работает этот процесс и почему он не всегда дает нужные результаты. Работа бессемеровского конвертера основана на том факте, что чугун отличается от стали в основном процентным содержанием углерода, который может сгорать при продувке воздуха через расплавленный металл. При взаимодействии кислорода, содержащегося в воздухе, с углеродом, содержащимся в металле, выделяется много тепла, которое не дает чугуну остыть и затвердеть. Таким образом, добавляя необходимую дозу углерода или останавливая продувку в нужный момент, можно получить желаемое сочетание железа и углерода, а высокая температура и завихрения в расплавленной массе обеспечивают однородность смеси. Поначалу бессемеровская сталь имела очень низкое качество, но потом британский металлург Роберт Мушет обнаружил, что проблему решает добавление в расплавленный чугун зеркального чугуна — сплава железа, марганца и углерода — в качестве науглероживателя. Как вскоре выяснилось, другим недостатком бессемеровской стали было присутствие фосфора в руде, снижавшего качество стали, и потому сперва для бессемеровского процесса годилась лишь шведская и испанская руда. Дешевая сталь вскоре стала применяться не только для производства пружин и ножей: к 1880 г. из стали все чаще делались здания, корабли и рельсы.

Одновременно с Бессемером аналогичное изобретение сделал американец Уильям Келли, запатентовавший идентичный процесс в июне 1857 г., через год после того, как Бессемер выступил со знаменитым докладом перед Британской ассоциацией содействия развитию науки. В конце концов Бессемер и Келли заключили соглашение о скоординированном использовании своих патентов. Почти сверхъестественная синхронность обоих изобретений как будто бы подтверждает точку зрения Гилфиллана (Gilfillan, 1935) о том, что личность изобретателя не имеет особого значения, — изобретение все равно будет сделано, когда для него настанет время. Неясно, насколько обоснован такой вывод. В данном случае, как и во многих других, имелась «проблема», совместно задававшаяся осознанной рыночной потребностью и состоянием ремесла, которое определялось прежними изобретениями и суммой накопленных знаний. Эта «проблема» подвигла изобретательных людей к изучению различных способов ее решения. Оба пути могли быть не настолько независимыми, как обычно считается, и хотя нам не удастся доказать, что между ними не существовало каких-то скрытых, косвенных контактов при посредничестве третьих или четвертых сторон, независимость обоих изобретений будет оставаться под сомнением³.

Другой путь избрали металлурги на материке, совместно разработавшие процесс Сименса—Мартена, который сводится к совместной переплавке железа с низким содержанием углерода и чугуна с высоким содержанием углерода. При этом для предварительного нагрева топлива и воздуха используются горячие печные газы, а сталь нужного состава получается благодаря сочетанию чугуна с железом в соответствующих пропорциях. Изнутри мартеновская печь выкладывается

3. Сирил С. Смит (Smith, 1981, p. 384) утверждает, что почти за всеми случаями мнимо независимых одновременных изобретений скрываются невидимые связи в той или иной форме.

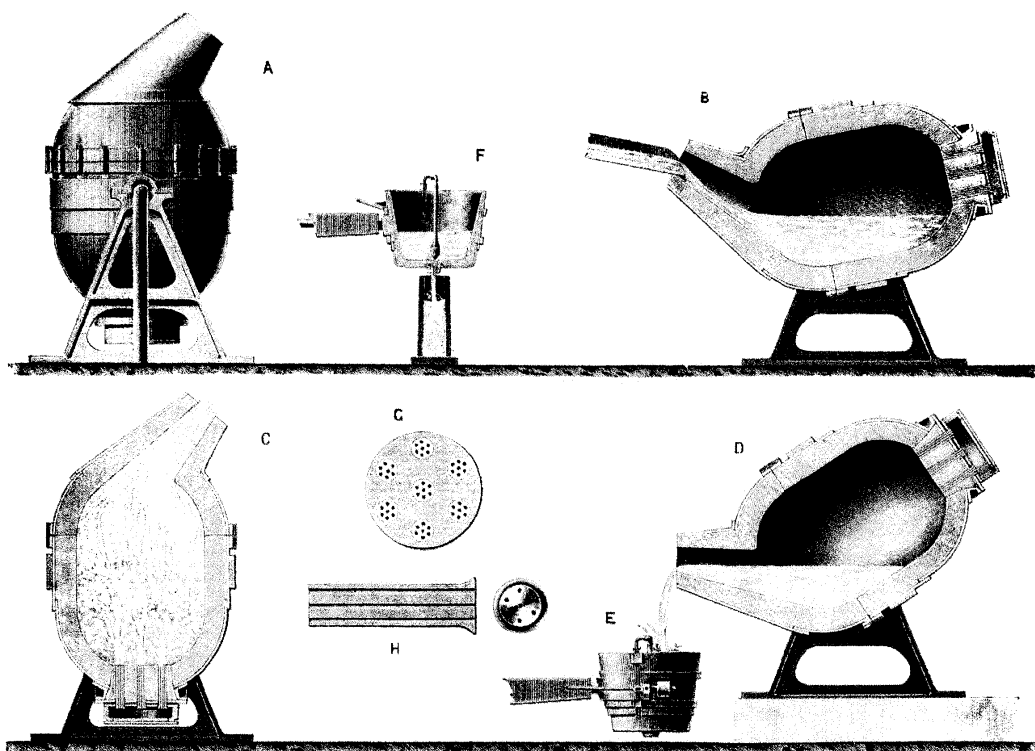


РИС. 33. Ранняя разновидность
бессемеровского конвертера (1860).
Дутье осуществляется через отверстия
в днище. После дутья в положении С
сталь выливается в ковш Е

Источник: Sir Henry Bessemer. As Autobiography,
PI. XV. Fig. 43. London, Offices of Engineering, 1905.

специальным огнеупорным кирпичом для поддержа-
ния высокой температуры. Мартеновский процесс по-
зволяет использовать железный лом и низкокачествен-
ное топливо, благодаря чему в долгосрочном плане он
более выгоден, чем бессемеровский. Для выплавки стали
по мартеновскому процессу требуется больше времени,
чем по бессемеровскому, но зато имеется возможность
тщательнее контролировать качество продукции. Кроме
того, бессемеровская сталь иногда по неизвестным при-
чинам ломалась под нагрузкой — в конце концов выяс-
нилось, что виной тому были мелкие включения азота.

В 1900 г. американский стальной король Эндрю Карнеги заявил, что будущее отрасли — за мартеновскими печами. Для процесса Сименса—Мартена, как и для бессемеровского, не годилась железная руда с большим содержанием фосфора, добывавшаяся на европейском материке. Ученые и металлурги делали все, что в их силах, чтобы преодолеть это затруднение, но решение нашли в 1878 г. два британских изобретателя-любителя Перси Гилкрест и Сидни Томас. Они предложили нейтрализовать вредную примесь, добавляя в огнеупорный кирпич известняк, который связывал фосфор, образуя шлак. Вероятно, мы не слишком ошибемся, если скажем, что без этого открытия не состоялась бы прославленная германская стальная индустрия. Оно не только обеспечило колоссальную экономию; помимо этого, немцы (немедленно освоившие «базовый» процесс) стали перерабатывать фосфорный шлак в полезное удобрение. В то время как бессемеровский и мартеновский процессы позволяли производить все больше стали по все более низким ценам, высококачественную сталь еще долго варили в Шеффилде по старой тигельной технологии (Tweedale, 1986).

Из всех отраслей металлургии производство стали претерпело самые драматические изменения, но яркие успехи в этой области после 1860 г. не должны заслонять от нас важных достижений на других этапах железоплавильного производства. К 1850 г. стандартным топливом для доменных печей, в которых из железной руды выплавлялся чугун, уже давно являлся кокс. Большинство доменных печей того времени имело высоту около 40–50 футов, а руда нагревалась в них примерно до 600°F (около 315°C). После открытия в округе Кливленд (Северный Йоркшир) залежей железной руды в конструкции доменных печей был сделан ряд усовершенствований, резко повысивших их эффективность. Высота печей постепенно достигла отметки в 80 футов и превысила ее, температура в печи возросла примерно до 1000°F (около 540°C), новые печи предусма-

тривали утилизацию печных газов и оснащались машинами для дутья. Американские изобретатели добавили ряд других новшеств, таких как продувка печи большими дозами воздуха под высоким давлением и непосредственная отливка готовых изделий из чугуна (Allen, 1977, 1981; Temin, 1964).

Химическая промышленность

Лидерство в химической промышленности захватила Германия. Хотя британцы не лишились способности к удачным ходам, время от времени открывавшим новые сферы приложения сил, терпеливый, систематический поиск решений людьми, получившими формальное научное и техническое образование, в большей степени отвечал немецким традициям. В 1840 г. Юстус фон Либих, профессор химии из Гиссена, издал свой труд «Органическая химия в приложении к сельскому хозяйству и физиологии», в котором объяснял значение удобрений и выступал за применение химикалий в сельском хозяйстве. Другие знаменитые немецкие химики, такие как Фридрих Волер, Роберт Бунзен, Леопольд Гмелин, Август фон Хофман и Фридрих Кекуле фон Штрадониц, — совместно создали современную органическую химию, без которой была бы невозможна химическая промышленность второй половины XIX в. И все же первое важное открытие в сфере современного химического производства сделал англичанин Уильям Перкин⁴. Восемнадцатилетний Перкин пытался найти способ получения искусственного хинина — антималярийного препарата, пользовавшегося большим спросом, поскольку примерно в то время европейцы приступили к обширным завоеваниям в тропических регионах. В ходе своих

4. Перкин обучался у фон Хофмана, который в то время преподавал в Королевском химическом колледже, и начал свои исследования под влиянием фон Хофмана и по его настоянию.

изысканий Перкин в 1856 г. случайно открыл пурпурную анилиновую краску, которая была названа мовеином и заменила аналогичный природный краситель. Три года спустя французский химик Эммануэль Верген открыл красную анилиновую краску — фуксин.

После этого немецкие химики приступили к поиску других искусственных красителей, и почти все дальнейшие успехи в этой области следует записать на их счет. В 1860-х гг. Хофман и Кекуле определили структуру молекул красителей. В 1869 г., после многих лет упорного труда, группа немецких химиков сумела синтезировать ализарин — красный краситель, прежде извлекавшийся из корней марены красильной, — и получила на него патент, опередив Перкина на один день. Открытие ализарина положило конец серии блестящих, но бессистемных достижений британцев, в то время как в Германии оно ознаменовало начало процесса, в ходе которого немцы захватили бесспорное лидерство в химии (Haber, 1958, p. 83). В 1874 г. Перкин, понимая, что ему не под силу конкурировать с немцами, продал свой завод и полностью посвятил себя исследованиям. Индиго сумел синтезировать Адольф фон Байер в 1880 г., однако полученный им индиготин все равно был дорогим. В данном случае фортуна благоволила к усердным: случайно разбив в 1897 г. термометр, химики, работавшие на *Badische Anilin und Soda Fabrik* (BASF), пришли к мысли использовать сульфат ртути как катализатор, и за десять лет синтетическое индиго полностью вытеснило натуральное (Holmyard, 1958b). Другой сферой, в которой британские химики поначалу конкурировали с немецкими, но в итоге потерпели поражение, являлось производство серной кислоты. В 1875 г. контактный процесс получения серной кислоты с участием катализатора разработали англичанин У. С. Сквайр и сотрудник BASF Клеменс Винклер, но в конце концов немцы стали главными специалистами по каталитическим процессам, позволившим им в XX в. полностью обеспечивать себя аммиаком, нитратами и селитрой. Благода-

ря знаменитому габеровскому процессу синтеза аммиака, разработанному в начале 1900-х гг. Фрицем Габером, и способу производства азотной кислоты из аммиака, открытому химиком BASF Карлом Бошем, Германия во время Первой мировой войны имела возможность производить взрывчатые вещества на основе нитратов и после того, как осталась без поставок чилийской селитры (Hohenberg, 1967, p. 29–30).

В течение XIX в. прогресс в химическом производстве продолжал обеспечиваться международными усилиями. В 1847 г. итальянец Асканио Собреро открыл нитроглицерин — самое мощное взрывчатое вещество из известных на тот момент. Но его склонность к самопроизвольной детонации служила причиной многочисленных несчастных случаев, один из которых привел к гибели шведского промышленника. Брат жертвы, Альфред Нобель, решительно приступил к задаче укрощения нитроглицерина и в 1866 г. обнаружил, что нитроглицерин в смеси с диатомовой землей полностью сохраняет свои взрывчатые свойства, однако взрывается лишь при детонации капсюля. Новое вещество, названное динамитом, применялось при сооружении туннелей и дорог, при добыче нефти и в карьерах. Непросто назвать другое изобретение, которое дало бы такую же большую экономию труда.

Промышленное производство удобрений начало ускоренно развиваться в 1820-е гг. Некоторые достижения в этой сфере были обязаны открытию таких ресурсов, как перуанское гуано, которое в больших количествах ввозилось в Англию, повышая урожайность ее полей. Другие являлись побочными продуктами промышленных процессов (Grantham, 1984, p. 199, 211). Дублинский врач Джеймс Марри в 1835 г. показал, что суперфосфат можно получать обрабатывая фосфориты серной кислотой. Однако главным прорывом стало издание в 1840 г. знаменитой книги Юстуса фон Либиха, заказанной Британской ассоциацией содействия развитию науки. Продолжателем его работ стал англичанин

Джон Беннет Лоус, на своей знаменитой экспериментальной сельскохозяйственной станции в Ротамстеде испытывавший идеи фон Либиха на практике. В 1843 г. Лоус основал завод по производству суперфосфата из минеральных фосфатов. Однако станция Лоуса осталась единичным явлением, и вскоре лидерство перешло к немцам. Отчасти так произошло потому, что у них были более талантливые химики. Поскольку физические и химические процессы в сельском хозяйстве намного более сложны, чем в промышленности, для их изучения требуется более углубленная теоретическая подготовка, и чисто интуитивный подход со временем стал давать все меньшую отдачу. Впрочем, в какой-то степени для успеха систематических исследований в этой сфере было нужно, чтобы к ним не предъявлялось «требование непосредственных практических результатов» (Grantham, 1984, p. 203). От частных предприятий едва ли можно было ожидать такого терпения, особенно в тех случаях, когда никто не обещал скорой и гарантированной компенсации. В Германии, особенно в Саксонии, сельскохозяйственные исследования субсидировались государственными учреждениями, а их результаты постепенно привели к колоссальному росту урожайности. Азотные удобрения производились из природной селитры (нитрата натрия), добывавшейся в Чили. Третий элемент, необходимый для роста растений — калий, — содержался в поташе, который получали из древесной золы. В 1870 г. главным источником поташа оставалась Канада с ее обширными лесами. Впрочем, к тому моменту уже начали эксплуатироваться залежи минеральных калийных солей в Штрассфурте в Центральной Германии, цена на поташ резко упала, и это удобрение стало применяться в массовом порядке. К 1900 г. производство поташа в Канаде полностью прекратилось (Miller, 1980).

В сфере производства соды большая работа была проделана инженерами, пытавшимися усовершенствовать процесс Леблана, который приводил к серьезному за-

грязнению окружающей среды, так как сопровождался образованием паров хлороводорода и темной щелочной золы. В 1836 г. английский промышленник Уильям Госсидж построил башни, в которых хлороводород абсорбировался падающей водой. Вместо процесса Леблана в конце концов стали использовать аммиачный способ получения соды из соли, изобретенный в 1861 г. бельгийцем Эрнестом Сольве. Аммиачный процесс был намного более эффективным, чем процесс Леблана — не только из-за того, что он почти не давал нежелательных побочных продуктов, но и благодаря возможности утилизировать использовавшиеся в нем аммиак и двуокись углерода. К середине 1860-х гг. этот процесс был усовершенствован, и Сольве, так же, как Перкин и Бессемер, стал очень богатым человеком.

Не всем изобретателям в сфере химических технологий так же везло. Американец Чарльз Гудьир, который в 1839 г. изобрел метод вулканизации резины, вымостивший путь к ее широкому промышленному использованию, умер, обремененный большими долгами. Другому американцу, Джону Уэсли Хайатту, в 1869 г. удалось создать первый синтетический пластик, названный им целлулоидом. Сперва целлулоид вследствие своей огнеопасности имел ограниченное экономическое значение и из него делали главным образом расчески, рукоятки ножей, клавиши пианино и детские погремушки, но это было только начало⁵. Прорыв в производстве синтетических материалов был осуществлен лишь в 1907 г., когда Лео Бакеланд, американец бельгийского происхождения, изобрел бакелит. Причина, по которой его создание так запоздало, заключалась в том, что прежде этому препятствовало состояние химической теории и практики (Vijker, 1987, p. 169). Тем не менее Бакеланд сам не вполне понимал сущность открытого им про-

5. Вопреки утверждениям некоторых авторов, Хайатту так и не удалось наладить производство целлулоидных бильярдных шаров (Friedel, 1979, p. 52).

цесса, так как макромолекулярные химические теории, объясняющие строение синтетических материалов, появились лишь в 1920-е гг. Наука и техника снова двигались вперед рывками.

Возможно, классическим примером «бесплатного завтрака», дающего резкий прирост благосостояния при незначительных затратах, являются тонкие химические технологии, которые после 1870 г. позволили привести порядок в доселе хаотическую сферу фармацевтики. Начало широкому применению анестезии положила королева Виктория, в 1853 г. пользовавшаяся хлороформом во время родов принца Леопольда. Дезинфицирующие вещества и антисептики, особенно фенол и бромиды, начали в больших количествах производиться после того, как Джон Листер открыл, что причиной инфекций являются микробы. Одним из самых замечательных достижений было открытие салициловой кислоты. Лечебные свойства ивовой коры были известны с древних времен, а в 1838 г. стало ясно, что ее активным компонентом является салициловая кислота. Сильная едкость этого вещества приводила к неприятным побочным эффектам, и в 1850-е гг. германская фирма *Bayer* начала экспериментировать с его различными производными. Одним из них была ацетилсалициловая кислота, синтезированная, а затем забытая. Вместо нее стал производиться и продаваться как анальгетик салицилат натрия. В 1899 г. работавший на фирме *Bayer* химик Феликс Хофман по наитию выдал пациенту, не переносившему побочных эффектов салицилата натрия, старый пузырек с ацетилсалициловой кислотой, и сразу же выяснилось, что это химическое соединение, впоследствии названное аспирином, представляет собой настоящее чудо-лекарство: эффективное, не имеющее серьезных побочных эффектов и дешевое в производстве. В течение нескольких месяцев его образцы были разосланы 30 тысячам врачей, и новое лекарство вскоре получило широчайшее распространение (Krantz, 1974).

Электричество

Подобно химии, электричество представляло собой сферу применения абсолютно новых знаний для решения экономических проблем. Об огромном экономическом потенциале электричества догадывались с начала XIX в. Хэмфри Дэви еще в 1808 г. продемонстрировал, что его можно использовать в целях освещения. Опираясь на открытия таких ученых, как Ханс Эрстед и Джозеф Генри, Майкл Фарадей изобрел в 1821 г. электродвигатель и в 1831 г. — динамо-машину. Однако возможность применения электричества все равно оставалась под большим вопросом⁶. Эксплуатация электродвигателей обходилась недешево: пока источником электричества оставались батареи, она в 20 раз превышала стоимость эксплуатации паровой машины (Passer, 1953, p. 212). С середины 1840-х гг. первоначальный энтузиазм по отношению к электричеству как к источнику дешевой энергии начал таять. Первой сферой эффективного использования электричества стала не энергетика, а телеграф. Его создание было итогом целого ряда изобретений, самые важные из которых сделали немец С. Т. Земмеринг, в 1810 г. продемонстрировавший возможности телеграфа, англичанин Уильям Кук, в 1837 г. получивший патент на телеграфный аппарат с пятью иглами, и американец Сэмюэль Морзе, изобретатель названной его именем кодировки, позволившей использовать аппарат с одной иглой. Первый работоспособный подводный кабель был в 1851 г. проложен компанией Томаса Крэмптона между Дувром

6. Когда некий посетитель Королевского института спросил Фарадея, какую пользу может принести его свежее изобретение, тот якобы ответил: «А какую пользу может принести новорожденный?». Тридцать лет спустя, в 1862 г., 70-летнему Фарадею устроили экскурсию по английским маякам, и он своими глазами мог увидеть, на что способна его «магнитная искра».

и Кале, оказавшись техническим триумфом, не превзойденным в течение 37 лет.

Телеграф, как и железная дорога, был типичным изобретением XIX в. в том смысле, что являлся комбинацией отдельных технических изобретений. Так же, как прочность цепи определяется прочностью ее самого слабого звена, так и надежность и эффективность системы никогда не может превышать надежность и эффективность ее самого слабого компонента. Дальняя телеграфная связь стала возможной лишь после множества последовавших изобретений и усовершенствований, для осуществления которых потребовались десятилетия. С большими сложностями была сопряжена прокладка подводных кабелей. Передававшиеся по ним сигналы нередко были слабыми и запаздывали, что приводило к искажению сообщений. Более того, сами кабели поначалу непозволительно быстро выходили из строя. Из 17700 километров кабеля, проложенных до 1861 г., в том году сохраняло работоспособность лишь 4800 километров, остальное же было утрачено. Трансатлантический кабель, по которому в августе 1858 г. обменялись сообщениями королева Виктория и президент Джеймс Бьюкенен, перестал работать уже через три месяца. Технология изоляции и армирования кабеля нуждалась в совершенствовании; кроме того, следовало решить проблему емкостного сопротивления (искажения сообщений при их передаче на большие расстояния). Для того чтобы телеграф стал вполне работоспособным, требовалось разобраться в физике передачи электрических импульсов. Фундаментальный вклад в этой области сделали физики, и в первую очередь Уильям Томсон (лорд Кельвин). Томсон изобрел специальный гальванометр, а также технологию отправки коротких импульсов противоположной полярности сразу же после главного импульса для повышения четкости сигнала (Headrick, 1990, p. 215–218). В смысле тесного сотрудничества между наукой и техникой телеграфная связь, несомненно, принадлежала к изобретениям второго поколения, в которых ведущую роль играла наука.

Телеграф оказал колоссальное влияние на общество XIX века — возможно, не менее сильное, чем железные дороги. Военное и политическое значение телеграфа было громадным, так же как его возможности по координации международных финансовых и товарных рынков. В отличие от железных дорог, его было нечем заменить — разве что сильно уступающими ему почтовыми голубями и семафорным телеграфом. Последний был изобретен французом Клодом Шаппом в 1793 г., но по большей части находился в монопольном владении властей. Никогда прежде информация не перемещалась быстрее людей. Более того, поскольку телеграфные сообщения часто пересекали государственные границы, для телеграфа требовалось то, без чего раньше обычно обходились технические инновации: международное сотрудничество. За подписанием двусторонних соглашений и договоров в 1850-х и начале 1860-х гг. последовало основание Международного телеграфного союза в 1865 г. Очевидно, при наличии соответствующих условий техника способна создавать требующееся ей институциональное окружение (Headrick, 1990, p. 204–208).

Освоение электричества как основного способа передачи и использования энергии в техническом плане оказалось еще более затруднительным, чем создание телеграфа. Для того чтобы поставить электричество на службу людям, требовалось придумать эффективный метод его производства с использованием других источников энергии, создать устройства для преобразования электричества обратно в кинетическую энергию, свет или тепло и разработать способ передачи электричества на большие расстояния. Кроме того, электрический ток может быть как постоянным, так и переменным и следовало принять решение о том, какому из двух вариантов отдать предпочтение.

В первую очередь, все зависело от электрогенераторов. Хотя Дэви еще в 1808 г. показал, что электричество может служить источником питания для дуговых ламп, те мало применялись для освещения, за исключением

маяков. Дуговая лампа Дэви питалась от дорогостоящих батарей; кроме того, проблемой являлось создание внутри нее вакуума. В 1860 г. итальянец Антонио Пачинотти построил динамо-машину с кольцевой обмоткой, способную непрерывно производить электрический ток. После того как в середине 1860-х гг. К. Ф. Варли и Вернер фон Сименс открыли принцип самовозбуждения, бельгиец З. Т. Грамм построил в 1870 г. динамо-машину с кольцевым якорем, которая являлась источником стабильного и непрерывного тока и при этом не перегревалась. Машина Грамма существенно снизила стоимость переменного тока. Проблему вакуума решил в 1865 г. Герман Шпренгель, создавший вакуумный насос. Лишь после этого дуговая лампа стала практичной. В 1876 г. русский изобретатель П. Н. Яблочков сконструировал усовершенствованную дуговую лампу («свечу»), работавшую на переменном токе. После этого на заводах, улицах, железнодорожных вокзалах и в общественных местах газовое освещение стали заменять дуговыми лампами. В 1878 г. Чарльз Ф. Браш из Огайо изобрел дуговую лампу высокого напряжения на постоянном токе, которая к середине 1880-х гг. вытеснила «свечу» Яблочкова (Sharlin, 1967a). Такие изобретатели, как Томас Алва Эдисон и Джордж Вестингауз, поняли, что электричество представляет собой технологическую сеть — систему совместимых и тесно взаимосвязанных изобретений. В этом отношении оно напоминало системы газового освещения, но электричество, в отличие от них, получило признание как система передачи энергии вообще. Особый интерес к технологическим системам проявлял Эдисон, чья способность видеть целостную картину и координировать усилия других исследователей равнялась его изобретательности (Hughes, 1983, p. 25–27).

В течение 1870-х гг. электричество получало все более и более широкое распространение. На Берлинской выставке 1879 г. демонстрировалась миниатюрная электрическая железная дорога, на Венской промышленной выставке 1883 г. экспонировались электрические одеяла

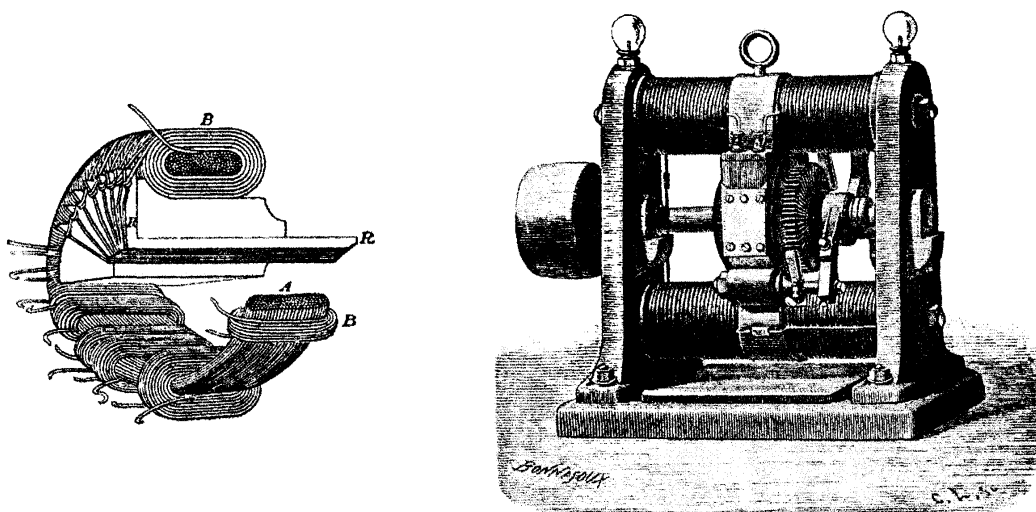


РИС. 34. Первые удачные динамо-машины, построенные З. Т. Граммом. Слева изображен типичный кольцевой якорь, справа — динамо-машина для коммерческого использования (1874)

Источники: J. Dredge (ed.). «Electric Illumination». Vol. 1. Fig. 125. London, Offices of Engineering, 1882. D. E. Woodall; S. P. Thompson, «Dynamo-Electric Machinery» (3rd ed., enl. and rev.). Fig. 87. London, Spon, 1888. D. E. Woodall.

и электроплитки, к 1884 г. во Франкфурте и Глазго ходили электрические трамваи. В начале 1880-х гг. Джозеф Суон в Англии и Томас Эдисон в США изобрели современную электрическую лампочку. Работавший в Америке хорват Никола Тесла в 1889 г. построил электрический многофазный мотор с питанием от переменного тока, впоследствии усовершенствованный Вестингаузом. Не меньшее значение имел трансформатор, первоначально изобретенный французом Люсьеном Голаром и его британским партнером Джоном Д. Гиббсом, а затем усовершенствованный американцем Уильямом Стэнли, работавшим на Вестингауза (Hughes, 1983, p. 86–92). Многофазный мотор и трансформатор Голара — Гиббса решили технические проблемы, связанные с использованием переменного тока, и тот стал удобнее постоянного

тока, передача которого на большие расстояния оставалась неэкономичной. Партия переменного тока, которую возглавляли Вестиңгауз и Тесла, одержала верх над сторонниками постоянного тока во главе с Эдисоном. К 1890 г., после решения главных технических проблем, электричество было приручено. Дальнейшее представляло собой цепочку микроизобретений, повышавших надежность и долговечность электроприборов и снижавших стоимость их эксплуатации. В 1900 г. лампа накаливания стоила впятеро дешевле, чем двадцатью годами ранее, и была вдвое экономичнее⁷.

Транспорт

Создание сталеплавильной отрасли, химической промышленности и систем электроснабжения опиралось на научные знания, без которых они оставались бы непрактичными. Однако технический прогресс в 1830–1914 гг. в значительной степени выражался в уточнении существовавших знаний и поиске новых сфер их применения. Более того, применение известных технологий в новых сочетаниях нередко требовало даль-

7. Электричество нашло неожиданное применение в электрохимии, которая на тот момент сводилась главным образом к получению алюминия. Свойства алюминия были известны с 1820-х гг., а в 1855 г. французский химик Сен-Клер Девиль стал производить алюминий методом электролиза, продавая этот металл по цене примерно в 200 долларов за килограмм, при которой он был пригоден лишь для использования в ювелирном деле и в других экзотических сферах. В 1886 г. Чарльз Мартин Холл, 22-летний студент колледжа Оберлин, усовершенствовал метод Девиля, используя расплавленный криолит и динамо-машину вместо вольтовых батарей, и цена на алюминий резко упала. После того как К. Й. Байер предложил в качестве сырья бокситы, а немец А. Вильм разработал процесс упрочнения при старении, алюминий приобрел большое значение в промышленности (Marie Voas Hall, 1976; Multhauf, 1967, p. 477–479; Cyril Stanley Smith, 1967c, pp. 599–600).

нейших изобретений, без которых новая идея не могла быть использована на практике. В пример можно привести железную дорогу. Ее нельзя назвать настоящим «изобретением», потому что в сущности она являлась не более чем комбинацией паровых машин высокого давления и железных рельсов. Идеей объединить паровую машину высокого давления с принципом рельса, уменьшающего трение между колесом и дорогой, мы обязаны гению Ричарда Тревитика, выдвинувшего такое предложение в 1804 г. В течение двух десятилетий инженеры сражались с новыми проблемами, связанными с эксплуатацией машин высокого давления, с равновесием тяжелых локомотивов, водруженных на железные рельсы, с конструкцией шатунно-кривошипного механизма, соединяющего поршень с колесами, с механикой подвески, с необходимостью делать более прочные и долговечные рельсы, с экономичностью парового котла. После того как усилиями таких инженеров, как Тимоти Хэкворт, Джордж Стефенсон и его сын Роберт, эти проблемы были решены, железная дорога не могла не стать одной из важнейших сил, определявших лицо XIX века. Первоначально предлагались самые разные конструкции локомотивов, но на знаменитом состязании в Рэйнхилле, состоявшемся в октябре 1829 г., бесспорным фаворитом оказалась «Ракета» Стефенсона. Однако очевидно, что стремительное распространение железных дорог в 1825–1850 гг. было бы невозможно без последующих усовершенствований — таких как горизонтальное расположение паровой машины, более удачная конструкция осей, тормозов, рессор, сцепки, железнодорожного полотна, туннелей, новые средства связи и т. д.

Также и пароход почти не содержал в себе подлинно новых идей. Гребные колеса, которыми оснащались ранние пароходы, были известны в Китае на протяжении столетий. Первые пароходы в реальности являлись парусниками со вспомогательными паровыми машинами, использовавшимися лишь при движении против ветра и приливных течений. *Savannah* — пер-

вый пароход, пересекший Атлантику — в течение всего 30-дневного плавания шел под паром лишь 80 часов. Лишь 14 лет спустя, в 1833 г., *Royal William* дошел из Квебека в Грейвсенд, почти не пользуясь парусами. Революцию в судоходстве произвели два крупных изобретения, сделанных во второй трети XIX в. Одним из них был гребной винт, представляющий собой пример изобретения, честь которого невозможно приписать какому-либо конкретному человеку. Идею гребного винта выдвинул в 1753 г. математик Даниил Бернулли, однако возможности винта лишь в начале 1830-х гг. удалось продемонстрировать французу Фредерику Соважу, получившему на него несколько патентов. Затем конструкцию винта усовершенствовали в 1838 г. в Англии швед Джон Эрикссон и Фрэнсис Смит. Вторым принципиально важным изобретением стала морская паровая машина. Машины высокого давления были малоприспособны для использования в море, так как на дне котла оседала морская соль, становясь причиной взрывов. Эту проблему решил созданный в 1830-х гг. и получивший широкое распространение около 1850 г. поверхностный конденсатор, в котором вода, охлаждавшая его, была отделена от воды, содержащейся в конденсаторе. Комбинированная паровая машина впервые была установлена на корабле в 1854 г. Во второй половине XIX в. на смену деревянным корпусам кораблей постепенно пришли железные. Деревянная конструкция неизбежно ограничивала размер судна. Крупнейшие корабли, построенные из дуба, имели длину не более 250 футов, а в среднем были намного меньше. Железо же позволяло строить корабли любой величины, и в то время как большинство издержек (а также водостойкость судна) возрастали пропорционально квадрату его размеров, тоннаж судна увеличивался пропорционально кубу размеров. Одним из первых это понял великий английский инженер Изамбар Брюнель. Он сконструировал первые большие железные винтовые трансатлантические пароходы — *Great Western* и *Great Britain*. *Great Eastern*, спущен-

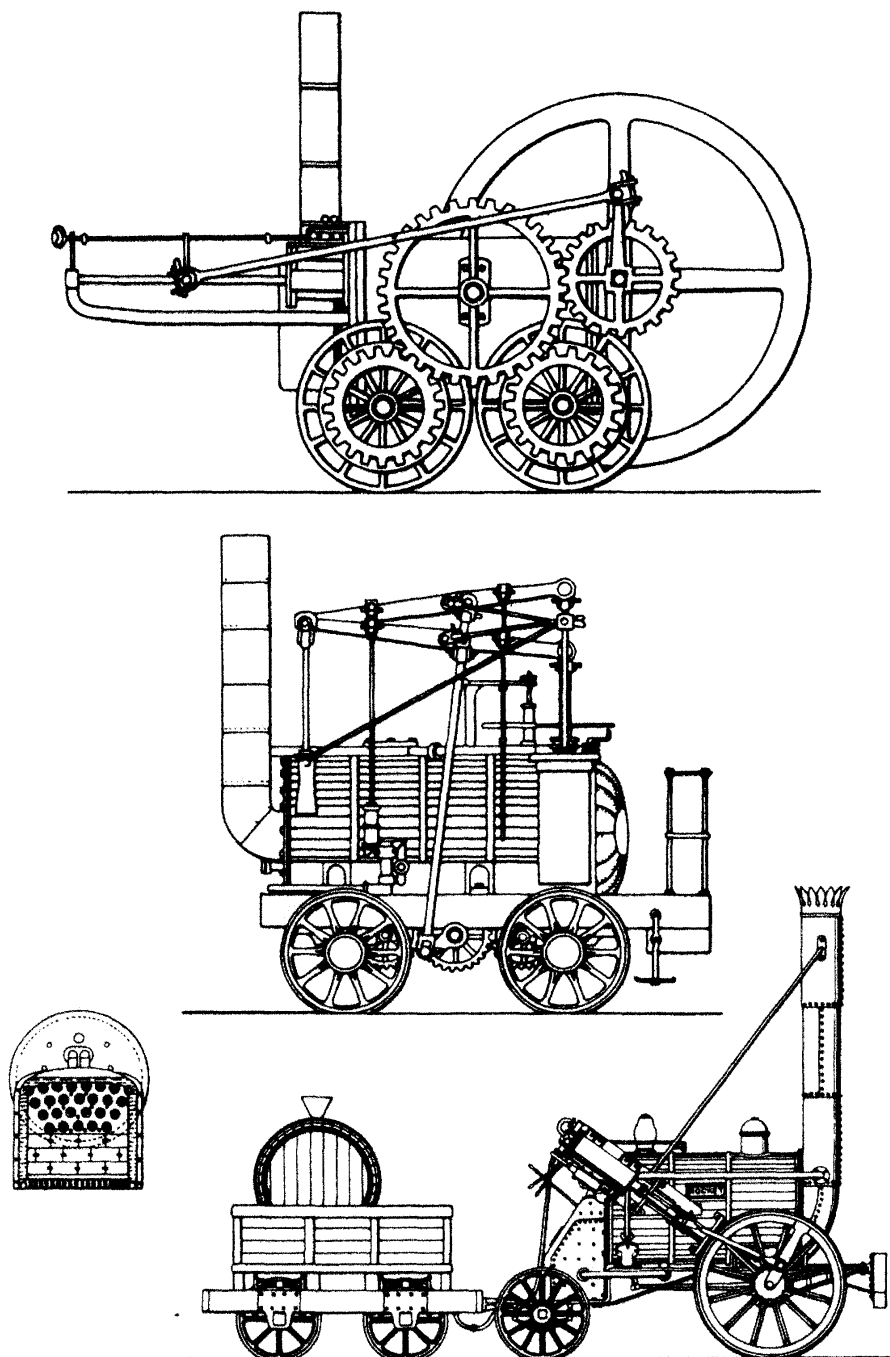


РИС. 35. Ранние локомотивы: первый паровоз
Тревитика (1803), «Пыхтящий Билли»
Уильяма Хедли, работавший в угольных копах,
«Ракета» Стефенсона, победившая
на состязаниях в Рэйнхилле

Источник: Maurice Dumas. A History of Technology and
Invention. Vol. III. Crown Publishers Inc., New York.

ный на воду в 1858 г., был крупнейшим кораблем, построенным в XIX в., достигая в длину почти 700 футов (Headrick, 1981, p. 143). В конце 1870-х гг. роль главного строительного материала начала переходить от железа к стали. Замена произошла относительно быстро: к 1891 г. из стали было сделано уже более 80% всех кораблей, строившихся в тот момент (Fletcher, 1910, p. 281). Рост размеров кораблей вел к снижению издержек судоходства: расходы на топливо и численность команды возрастали медленнее, чем водоизмещение. Таким образом, техническое новшество повлекло за собой экономию за счет масштаба.

Поначалу основное преимущество парохода заключалось в скорости и гибкости перевозок: в начале XIX в. британским отправителям писем в Калькутту порой приходилось ждать ответа по два года. Корабли нередко были вынуждены неделями дожидаться возможности пройти 80 миль вверх по реке Хугли от Бенгальского залива до Калькутты, а муссонные ветры препятствовали быстрому возвращению. К 1840-м гг. время поездки из Лондона в Калькутту сократилось до шести недель, а к 1914 г. этот путь можно было проделать за две недели (Headrick, 1988, p. 20). По мере снижения издержек пароходы превратились в опасного конкурента парусников, со временем одержав над ними полную победу.

Тем не менее прошли десятилетия, прежде чем новые кораблестроительные технологии вытеснили старые (Harley, 1973) — в частности, из-за того, что строительство деревянных парусных кораблей тоже стремительно совершенствовалось (Daumas and Gille, 1979b, p. 291–298; Davis, Gallman and Hutchins, 1991). В 1820–1860 гг. конструкция парусника полностью изменилась. Переделке подверглись и такелаж, и паруса: число парусов увеличилось и появилась возможность брать рифы (складывать или подвязывать часть паруса, тем самым уменьшая его площадь).

Парусные суда новой конструкции были быстроходнее и не нуждались в многочисленной команде. Вме-

сто канатов на них использовались более долговечные металлические тросы; деревянная оснастка также была заменена металлической. Корпуса кораблей стали более вытянутыми и обтекаемыми, а паруса уменьшились в размерах и выросли в числе. Венцом этого процесса стали знаменитые чайные клиперы, строившиеся американскими и британскими кораблестроителями после 1850 г. и способные развивать скорость до 15 узлов. Самые быстрые клиперы могли проделать путь из Китая в Великобританию за три месяца (Chatterton, 1909, p. 270). Пароходы вытеснили парусные корабли на коротких маршрутах, но на длинных дистанциях до самого конца XIX в. преобладали парусники. Харли (Harley, 1971) показывает, что причиной этому были различия в издержках, обусловленные характером технологий. Лишь в XX в. строительство океанских каналов и рост экономичности новых морских паровых машин привели к концу эпохи парусников.

Корабли обоих типов беспрецедентно быстро становились крупнее, мощнее и быстрееходнее. В то время как типичное судно 1815 г. не слишком отличалось от типичного судна 1650 г., к 1890 г. и торговые, и военные корабли имели уже мало общего со своими предшественниками полувековой давности. Результатом стало резкое снижение транспортных издержек. В первой половине XIX в. стоимость грузоперевозок сокращалась на 0,88% в год, отражая главным образом совершенствование парусных кораблей. После 1850 г. темпы этого снижения возросли до 1,5% в год — цифра более чем внушительная с учетом постоянного роста издержек на оплату рабочей силы. Несмотря на некоторые организационные новшества, нет особых сомнений в том, что снижение стоимости перевозок на трансатлантических рейсах было результатом технического прогресса (Harley, 1988).

В некоторых случаях технические решения были простыми, и с первого взгляда может показаться странным, почему к ним не пришли намного раньше. В те-

чение всего XIX века механики экспериментировали с устройством, которое бы позволило людям быстро перемещаться в сидячем положении. Предлагались велосипеды самых разных конструкций, предназначенные главным образом для прогулок. И все же лишь безопасный велосипед *Rover*, построенный в 1885 г. Джоном К. Старли, механиком из Ковентри, стал первым велосипедом современного типа, хорошо уравновешенным и легко управлявшимся. Его цепной привод и сбалансированность конструкции, обеспечивавшаяся наличием двух колес одного размера, не содержали в себе ничего такого, до чего не могли бы додуматься, скажем, Генри Модсли или Ричард Робертс. На примере велосипеда мы видим, что технические изменения не могут быть до конца объяснены ни чисто техническими факторами, ни чисто экономическими факторами, ни даже их сочетанием. Велосипед представлял собой новшество в чистейшем смысле слова; он не пришел на замену какому-либо старому, менее эффективному устройству. Люди, в 1890-е гг. сядившиеся на велосипед, прежде ходили пешком или пользовались общественным транспортом. Создание оптимальной конструкции велосипеда было сложным делом, поскольку во внимание приходилось принимать множество факторов, таких как скорость, комфорт, безопасность, элегантность и цена. Все их следовало учитывать и находить между ними компромисс. Их оптимальное соотношение могло сложиться лишь после длительных экспериментов (Pinch and Bijker, 1987)⁸. В случае абсолютно новых видов продукции обучение в процессе работы со стороны

8. Пневматические шины, без которых невозможна комфортная езда на велосипеде, были запатентованы в 1845 г. и успешно прошли испытания. Однако конные экипажи, очевидно, не нуждались в них в таком количестве, которое бы оправдывало их массовое производство, и это изобретение пребывало в забвении до тех пор, пока о нем в 1888 г. не вспомнил ветеринарный хирург из Белфаста Дж. Б. Данлоп, недовольный тряским трехколесным велосипедом своего десятилетнего сына.

потребителя не менее важно, чем обучение в процессе работы со стороны производителя. Велосипед превратился в массовое транспортное средство, а влияние, оказанное им на городской образ жизни, не поддается никаким оценкам. После нескольких лет дальнейших усовершенствований конструкция велосипеда окончательно сложилась, и после 1900 г. мы уже не видим особых новшеств. Велосипед в некотором смысле вымостиł путь для автомобиля и мотоцикла, став дешевым и демократичным, но все же личным транспортным средством. Хайрем Максим, изобретатель пулемета Максима (а также неудачного парового аэроплана), указывал, что «велосипед породил спрос нового типа, на который железная дорога не могла дать адекватный ответ. После того как выяснилось, что сам велосипед не в состоянии удовлетворить созданный им спрос... ответом стал автомобиль» (цит. по: Cardwell, 1972, p. 199–200).

Создание автомобиля представляет собой классический пример нового сочетания известных технологий и ряда важных оригинальных находок. Идею двигателя внутреннего сгорания впервые выдвинул Гюйгенс в XVII в. В 1824 г. Карно описал недостатки паровой машины и указал на нагретый воздух как на оптимальный потенциальный источник движущей силы. Несмотря на продолжительные исследования, оснастить паровой машиной безрельсовые экипажи оказалось затруднительно (Evans, 1981)⁹. В течение всего XIX века над

9. Не следует недооценивать паровую машину как альтернативу двигателям внутреннего сгорания. Технические достижения начала XX в. позволили братьям Стэнли сконструировать свой прославленный паровой автомобиль, который, по некоторым оценкам (McLaughlin, 1967), конструктивно и экономически ничем не уступал автомобилям с двигателем внутреннего сгорания. Паровой автомобиль был тише, обеспечивал более плавную езду, был проще в управлении и даже мог быть заведен за несколько минут, если не была отключена управляющая магистраль. Причина, по которой паровой автомобиль проиграл в конкурентной борьбе, возможно, заключалась в том, что вы-

проблемой создания двигателя внутреннего сгорания бились десятки изобретателей, осознававших его преимущества перед паровой машиной. Работающая модель газового двигателя была впервые сконструирована в 1859 г. бельгийцем Жаном-Этьеном Лемуаром и усовершенствована в 1876 г., когда немецкий коммивояжер Николаус Август Отто, изобретатель-самоучка, не имевший формального технического образования, построил четырехтактный газовый мотор. Он пытался решить эту проблему еще с 1860 г., когда прочел о двигателе Лемуара в газете. Первоначально Отто считал свою конструкцию лишь временным решением задачи о том, как достичь высокой степени сжатия. Четырехтактный двигатель Отто, до сих пор являющийся сердцем автомобиля, лишь впоследствии получил репутацию блестящего прорыва (Bryant, 1967, p. 650–657). Интересно, что четырехтактный цикл еще раньше был признан единственным способом, позволяющим сделать двигатель Лемуара эффективным. Опираясь на термодинамическую теорию Карно, французский инженер Альфонс Бо де Роша в 1862 г. описал эффективный двигатель внутреннего сгорания, работающий по принципу, сходному с предложенным Отто, и получил на него патент, хотя в итоге так им и не воспользовался. Впрочем, Отто сделал свое изобретение вне зависимости от теоретических выкладок Бо де Роша¹⁰. «Бесшумный» двигатель

сокое давление пара приводило к серьезным проблемам при обслуживании (Rae, 1967c, p. 124). Кроме того, паровой автомобиль братьев Стэнли требовалось заправлять водой через каждые 30 миль пути. Эта проблема усугублялась законодательным запретом на установку поилок рядом с дорогами, призванным предотвратить распространение болезней ног и рта среди скота.

10. Отто, видимо, никогда не читал брошюру Бо де Роша и поначалу не понимал принципов работы своего изобретения. Как отмечает Брайант (Bryant, 1966), двигатель Отто представлял собой еще один пример удачной разработки, сделанной при отсутствии серьезной научной основы.

Отто (названный так в знак отличия от раннего варианта, более шумного и не столь удачного), имел большой финансовый успех. Преимущество газового двигателя состояло не в его бесшумности, а в том, что, в отличие от паровой машины, его можно было включить и выключить почти мгновенно.

Изобретение Отто вполне отвечает канону классических изобретений промышленной революции, а биография самого изобретателя в ряде важных аспектов напоминает биографию Джеймса Уатта. И тот и другой внесли принципиальные усовершенствования в конструкцию существующего, но достаточно редкого устройства, превратив его в преобладающую систему. Успех пришел к ним обоим в значительной степени благодаря доверию и деловой проницательности их партнеров — ими были Мэтью Болтон в случае Уатта и Ойген Ланген в случае Отто. Обоих изобретателей сделали богатыми полученные ими патенты (хотя один из патентов Отто был признан недействительным вследствие того, что аналогичный патент раньше получил Бо де Роша). Оба поддерживали контакты с учеными, но в конечном счете добились успеха благодаря чистой интуиции.

Газовый мотор Отто вскоре перешел на новое топливо. Несколько ранее, в 1860-х гг., был разработан процесс перегонки нефти, получивший название «крекинг». Поначалу он использовался главным образом для получения масел, парафина и тяжелых нефтяных фракций, а бензин считался опасным побочным продуктом перегонки. В 1885 г. два немца, Готлиб Даймлер (ранее работавший с Отто) и Карл Бенц, сумели построить четырехтактный двигатель типа Отто, работавший на бензине, который смешивался с воздухом в примитивном испарительном карбюраторе. В двигателе Бенца использовалась электрическая система зажигания с питанием от аккумулятора, предвосхищавшая современные запальные свечи. Вскоре на автомобиле нашли применение и пневматические шины Данлопа, перво-

начально предназначавшиеся для велосипедов. В 1893 г. Вильгельм Майбах, работавший у Даймлера, изобрел современный поплавковый карбюратор. В число других усовершенствований, добавленных около 1900 г., входили радиатор, дифференциал, заводная рукоятка, рулевое колесо и педаль тормоза. Автомобиль и велосипед оказали на технику примерно такое же влияние, что и механические часы пятью столетиями ранее: создание и починка этих устройств требовали идей и навыков, заимствованных из многих других сфер¹¹.

Одновременно продолжала совершенствоваться конструкция и повышаться экономичность паровых машин, хотя этот процесс сопровождался уменьшением отдачи, а новых революционных достижений становилось все меньше. После 1850 г. ученые постепенно разобрались в принципах работы паровой машины. Немецко-французский физик Анри Реньо в начале 1850-х гг. выяснил физические свойства пара, а в 1859 г. шотландец Уильям Ренкин издал свое знаменитое «Руководство по паровым машинам» — практический справочник для инженеров. Американец Джордж Корлисс внес много усовершенствований в конструкцию паровых машин, в итоге построив прославленную машину *Centennial*, демонстрировавшуюся на Филадельфийской юбилейной выставке 1876 г. — самую большую и мощную паровую машину из когда-либо построенных. В 1860–1914 гг. паровые машины постепенно становились более экономичными, дешевыми, простыми в обслуживании и тихими, но не подвергались никаким радикальным изменениям. Бо-

11. Как полагает Розенберг (Rosenberg, 1976, p. 24), опыт, накопленный при производстве велосипедов, впоследствии с успехом использовался в автомобильной промышленности. Из тех производителей велосипедов, которые перешли на более крупные изделия, наиболее известны, конечно, братья Райт, строители первых удачных аэропланов. Другой пример — Стерлинг Эллиотт из Уотертауна (Массачусетс), который в 1902 г. изобрел рулевое управление со шкворневым шарниром, использующееся в автомобилях.

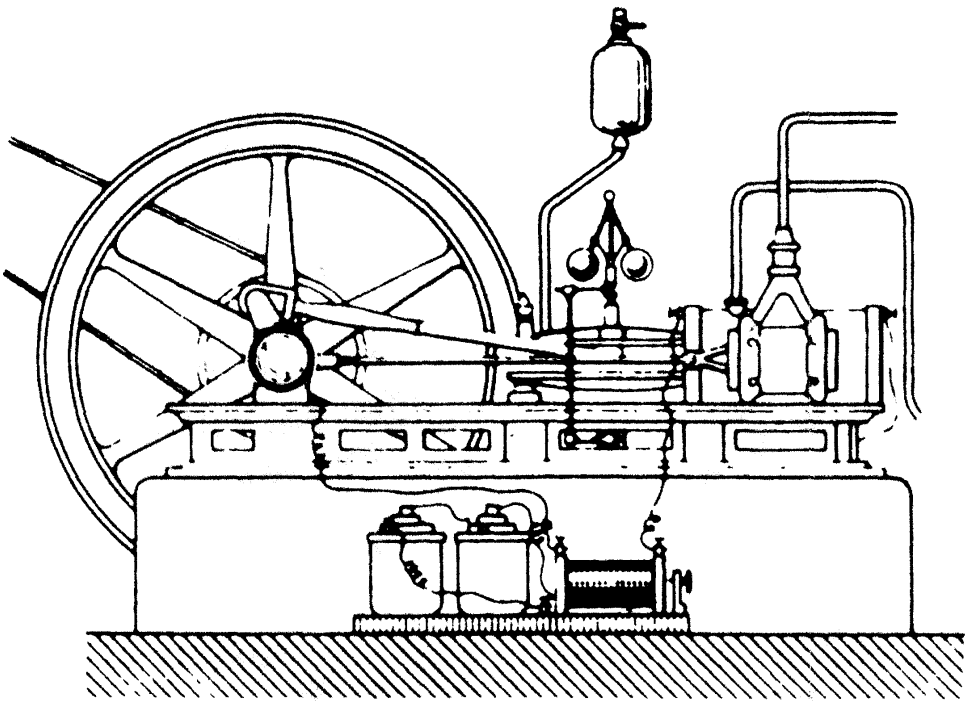


РИС. 36. Газовый двигатель,
построенный Ленуаром в 1860 г.

Источник: по J. W. French. «Modern Power
Generators». Vol. 2. Fig. 320. London, Gresham
Publishing Company, 1906. E. Norman.

лее революционная концепция лежала в основе паровой турбины, изобретенной Чарльзом Парсонсом в 1884 г. и представлявшей собой возвращение к идее геронового «эолипила». Проблема, которую решили Парсонс и работавший независимо от него в Швеции Гюстав де Лаваль, заключалась в том, что поршневые паровые комбинированные двигатели (машины-компаунды) могли развивать лишь ограниченную скорость¹². Для того что-

12. Турбины, построенные Парсонсом и де Лавалем, сильно различались своей конструкцией. На примере турбины мы видим, как опасны поверхностные обобщения в отношении изобретений, появляющихся, «когда настало их время». Хотя Парсонс и де Лаваль добились успеха почти одновременно, не менее 200

бы приводить в действие электрогенераторы и суда, требовалась намного более высокая скорость вращения, и ее давала турбина: построенный Парсонсом в 1884 г. прототип развивал 18 тыс. оборотов в минуту, и его пришлось оснастить редуктором. К 1900 г. турбина стала серьезным соперником традиционных паровых машин. Успех разработок Парсонса во многом основывался на полученном им теоретическом образовании, и его пример должен предостеречь нас от поверхностных обобщений, согласно которым отставание британской техники в этот период было вызвано научной отсталостью. Если наука была многим обязана паровой машине в первой половине XIX в., то во второй половине века она с лихвой выплатила свой долг (Hall, 1978, p. 99).

К концу XIX в. паровая машина подверглась атаке с еще одного направления: Рудольф Дизель сконструировал двигатель внутреннего сгорания, работа которого основывалась на идее о том, что горючую смесь в камере сгорания путем сжатия можно нагреть до точки самовоспламенения, что позволяло преобразовать всю энергию сгорания в полезную работу. В 1897 г. Дизель построил первый двигатель, работавший на тяжелом жидком топливе, и после десятилетия дальнейшей работы и усовершенствований дизельные двигатели стали повсюду вытеснять паровые машины. Дизельный двигатель представляет собой типичное изобретение времен второй промышленной революции. Подобно Уатту и Тревитику, Дизель был изобретателем-«рационализатором», в первую очередь стремившимся обеспечить максимальную эффективность. При этом он был отнюдь не дилетантом, а квалифицированным немецким инженером, применявшим самые передовые научные технологии. Он начал с попыток создать двигатель, работающий по теоретическому циклу Карно,

патентов на газовые и паровые турбины было выдано в одной только Великобритании за 1784–1884 гг. Очевидно, ни одна из них не была работоспособной.

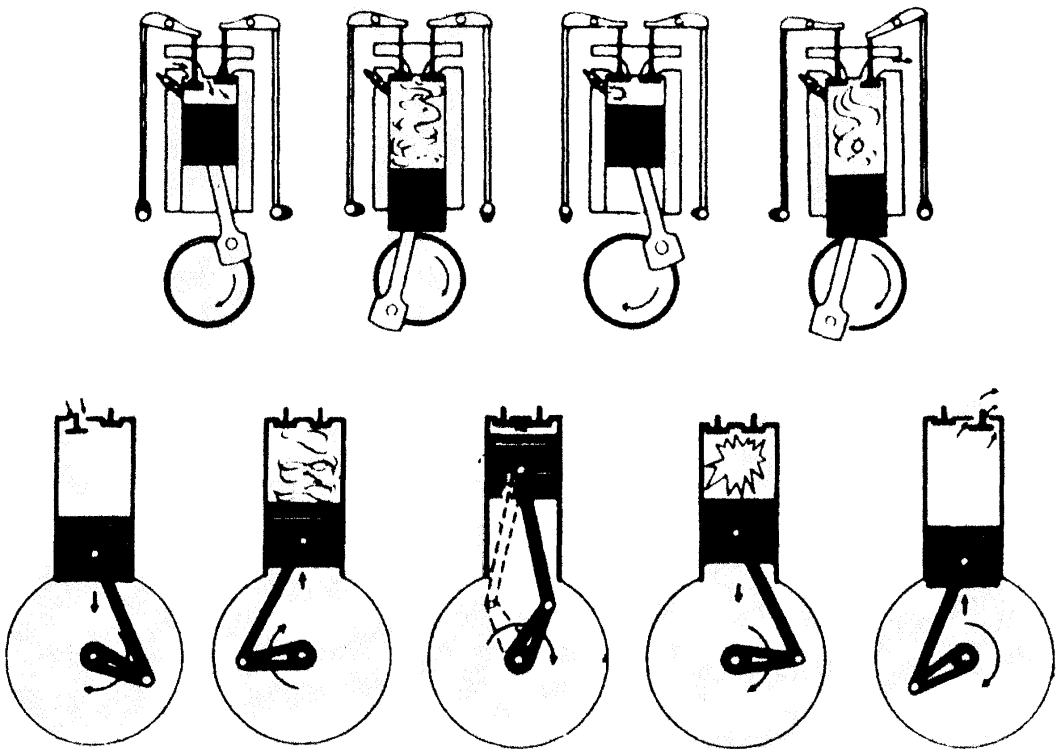


РИС. 37. Два основных типа двигателя внутреннего сгорания.

Сверху — принцип работы четырехтактного двигателя Отто. Снизу — пять этапов работы дизельного двигателя с воспламенением топлива путем сжатия

Источник: Umberto Eco and G. B. Zorzoli, *The Picture History of Inventions*. © Gruppo Editoriale Fabbri-Bompiani, Sonzongo, Etas S.p.A.

согласно которому максимальная эффективность обеспечивается при изотермическом расширении, обеспечивающем отсутствие энергетических потерь и к тому же допускающем использование дешевого, грубого топлива (первоначально двигатели Дизеля работали на угольной пыли). Выяснилось, что изотермическое расширение неосуществимо и ключевой чертой современных дизелей является воспламенение топлива путем сжатия, ко-

торое Дизель поначалу считал несущественным побочным фактором (Bryant, 1969).

Благодаря железной дороге, пароходу, велосипеду и автомобилю транспорт стал более дешевым, быстрым и надежным. Торговая прибыль, обеспеченная этими инновациями, представляет собой очевидное связующее звено между шумпетерианским и смитианским ростом. По утверждению Маршалла (Marshall [1890], 1930, p. 674), снижением транспортных издержек обеспечивалось три четверти производственного прогресса. Как Маршалл вывел эту цифру, не вполне ясно, и современные историки экономики, вероятно, не согласятся с ней. Однако последствия удешевления транспорта окажутся глубокими и многообразными, если мы признаем существование положительной обратной связи между ним и техникой (Szostak, 1986). Рост мобильности содействовал распространению самой техники: техническая информация перемещалась из страны в страну вместе с иммигрантами, с машинами, продававшимися в далекие страны, и с техническими книгами и журналами. Повышенная мобильность также означала усиление международной и межрегиональной конкуренции. Общества, невосприимчивые к техническому прогрессу — от Японии до Турции, — чувствовали свое отставание и уязвимость по мере того, как их собственная удаленность становилась все более слабой защитой.

Производственные технологии

С чисто экономической точки зрения можно сказать, что самым важным изобретением был не очередной химический краситель, более совершенный двигатель или даже электричество, поскольку большинству описанных выше изобретений, за исключением стали, можно было найти менее эффективную и более дорогостоящую, но работоспособную замену. Однако существовала одна инновация, которая при взгляде из XX века окажется

очень прибыльной с учетом обеспеченной ею социальной экономии. Речь идет о так называемой американской системе производства, предусматривающей сборку изделий из отдельных деталей, выпускаемых в массовом порядке. Современное производство немислимо без взаимозаменяемых частей. Называть эту систему американской не вполне справедливо: идея о том, что взаимозаменяемость обеспечивает колоссальную выгоду при производстве и обслуживании, была известна европейцам еще в XVIII веке, и французские, а впоследствии и британские, инженеры в полной мере осознавали ее экономический потенциал¹³. Более того, в 1850-е гг. под американской системой понималась даже не взаимозаменяемость, а скорее выполнение последовательности операций с помощью высококачественных, специализированных станков — главным образом при обработке

13. Можно утверждать, что первым примером взаимозаменяемых частей являлся разборный шрифт. Шведский инженер-новатор Кристофер Польхем использовал взаимозаменяемые части еще в 1720 г. В 1785 г. Томас Джефферсон, который в то время был послом во Франции, сообщал, что французский оружейник Оноре Блан делает мушкетные затворы из полностью взаимозаменяемых частей. Подобно многим другим французским техническим достижениям, изобретение Блана было погублено завистливыми конкурентами: под давлением со стороны других оружейников Блан был вынужден закрыть свой завод в 1797 г. Распространенное мнение о том, что Европа отставала от США в освоении взаимозаменяемых частей, по большей части является мифом и в отношении Великобритании. Многие элементы взаимозаменяемости уже в 1801 г. использовались на портсмутских верфях, где производились абсолютно идентичные снасти для кораблей. В 1832 г. лондонский механик Брайан Донкин построил бумагоделательную машину с непрерывной лентой, поражающую американских посетителей той легкостью, с которой ее можно было починить, заменив сломавшуюся деталь новой, взятой с полки. С 1840-х гг. принцип взаимозаменяемости без устали пропагандировал инженер Джозеф Уитворт (Musson, 1975a). Другими британскими инженерами, экспериментировавшими со стандартными деталями, являлись Джон Бодмер, Джеймс Насмит и производитель локомотивов Дэниэл Гуч (Musson, 1981).

дерева, — а также повышенная скорость операций и последовательная подача сырья. Как указывает Фергюсон (Ferguson, 1981), механизированное массовое производство и взаимозаменяемость деталей не идентичны друг другу, и первое не обязательно подразумевает последнее.

Система взаимозаменяемых деталей не являлась «изобретением». Со временем она превратилась в чрезвычайно эффективный способ производства товаров и услуг, чему способствовали предшествовавшие достижения изобретателей — особенно производителей точных станков и дешевой стали. Для полной взаимозаменяемости детали должны быть абсолютно идентичными, что невозможно без высокого уровня точности и контроля за качеством производства. Сейчас мы понимаем, что достижение полной взаимозаменяемости — дело более трудное, чем считалось прежде. Использование взаимозаменяемых деталей медленно распространялось после 1850 г., причем недавние исследования показывают, что американская система внедрялась намного более нерешительно и постепенно, чем полагали ранее. Многие американские фирмы — такие, как *McCormick*, *Singer* и *Colt* — были обязаны своими успехами другим факторам, помимо полной взаимозаменяемости (Hounshell, 1984; Howard, 1978). Поначалу изделия, состоящие из взаимозаменяемых частей, были дороже и производились в основном на государственных оружейных заводах, для которых качество было важнее цены (Howard, 1978; M. R. Smith, 1977). Лишь после гражданской войны американская промышленность, а за ней и европейская, постепенно освоила методы массового производства. Технология взаимозаменяемых частей доказала свое преимущество и постепенно вытеснила умелых ремесленников, работающих долотом и напильником — сперва в оружейном деле, а затем в производстве часов, насосов, замков, механических жаток, пишущих и швейных машин, после которых настала очередь двигателей и велосипедов. Хотя в долгосрочном плане подлинная

взаимозаменяемость была неизбежна, ее распространение в Европе замедлялось двумя факторами: неспособностью производить особенные товары высокого качества, которые издавна обеспечивали верность клиентов опытным ремесленникам, и сопротивлением со стороны рабочих, понимавших, что массовое производство делает их навыки ненужными (Cooper, 1984).

С взаимозаменяемостью был связан и другой, не менее важный процесс — освоение непрерывных методов производства, когда рабочие стоят на месте, а обрабатываемые изделия подаются прямо к ним. При этом наематель может контролировать скорость выполнения операций и свести к минимуму время простоя между операциями. Честь изобретения такой системы обычно приписывается американцу Оливеру Эвансу, внедрившему ее на своей знаменитой мельнице в штате Делавэр. С помощью Архимедовых винтов и бесконечных лент перемещение зерна происходило полностью автоматически. На мельнице, и тем более на скотобойне, как отмечал Зигфрид Гайдион (Giedion, 1948, p. 94n), производится не сборка, а, скорее, разборка продукции. Производство же в большинстве случаев подразумевает именно сборку и соединение, и потому непрерывные процессы постепенно проникли и туда вместе с бесконечными лентами, перемещавшими материалы и детали от одного рабочего к другому. Первая конвейерная линия, о которой имеются документальные свидетельства, работала на бисквитной фабрике в Дептфорде (Великобритания) с 1804 г. В 1839 г. по аналогичному принципу была организована работа в машиностроительной мастерской Дж. Дж. Бодмера. Однако лишь в последней трети XIX в. непрерывные методы производства стали применяться в широких масштабах, особенно на знаменитых скотобойнях в Чикаго и Цинциннати. На автомобильном заводе Генри Форда концепция взаимозаменяемых деталей сочеталась с процессами непрерывного производства, что позволило собирать сложные механизмы и продавать их по невысокой цене, в качестве «народно-

го» автомобиля. Как указывает Гайдион (Giedion, 1948, р. 117), исключительный успех автомобилей Форда был связан с тем фактом, что он, в отличие от Оливера Эванса, мог опираться на уже вполне развитые принципы непрерывного производства и взаимозаменяемости. Успех зависит не только от способностей и энергии изобретателя, но и от готовности современников использовать новинку.

Сельское хозяйство и пищевая промышленность

Уровень жизни населения в первую очередь зависит от снабжения продовольствием и питания. Новые технологии XIX века влияли на снабжение продовольствием с точки зрения его производства, распределения, сохранения и, наконец, приготовления. В сельском хозяйстве продолжалось освоение новых методов, связанных с разведением фуражных культур и стойловым содержанием скота, хотя во Франции и в большинстве регионов Восточной Европы этот процесс шел медленно. На сцену вышли новые приспособления и орудия, но в этом отношении рост производства тормозился традиционными препятствиями, стоявшими на пути прогресса в сельском хозяйстве: изобретения, успешно применявшиеся в конкретных условиях, в других местах оказывались бесполезными. Механическую жатку, изобретенную в 1832 г. американцем Сайрусом Маккормиком для плоских, обширных полей Среднего Запада, пришлось подвергнуть многочисленным модификациям, прежде чем она стала пригодна для Европы (David, 1975, р. 233–275). Для определения прав собственности на селе большое значение имела колючая проволока, придуманная в 1868 г. Майклом Келли из Де-Калба в штате Иллинойс. Ее следует считать одним из тех простых, но принципиальных изобретений, идея которых после их создания кажется совершенно очевид-

ной¹⁴. Из новых культур, внедренных примерно после 1830 г., заслуживает упоминания сахарная свекла. Французский инженер Бенжамен Делессер разработал процесс рафинирования свекловичного сахара в 1812 г., однако свекловичный сахар стал серьезным конкурентом тростникового сахара лишь после 1840 г.

Продуктивность сельского хозяйства в значительной степени обеспечивалась массовым применением удобрений. Крестьяне учились пользоваться нитратами, калийными удобрениями и фосфатами, производившимися химической промышленностью. Кроме того, из Перу в больших количествах ввозилось гуано (птичий помет). В США крупные бойни делали удобрения из костей животных и серной кислоты. Рост производительности европейского сельского хозяйства трудно себе представить без постепенного перехода от натуральных удобрений, источником которых в основном являлись домашние животные, к химическим удобрениям, выпускавшимся на коммерческой основе. Удобрения были не единственным достижением науки, нашедшим применение в сельском хозяйстве: такие фунгициды, как «бордосская смесь», изобретенная в 1885 г. французским ботаником М. Милларде, помогли победить ужасную картофельную гниль, которая сорока годами ранее опустошила Ирландию.

14. Кардуэлл (1968, р. 114) ссылается на колючую проволоку как на пример изобретения, которое могло быть сделано практически в любую эпоху, но до Келли просто никому не приходило в голову. Несомненно, появление колючей проволоки невозможно объяснить одним лишь фактором спроса: во время огораживания земель в Великобритании отдельные участки земли приходилось отгораживать друг от друга дорогостоящими изгородями и заборами. Разумеется, стальная проволока в 1870 г. была дешевле, чем раньше, но она использовалась для изготовления кольчуг еще в Средние века. Таким образом, подобно тачке и функциональной пуговице, колючую проволоку следует считать чисто эмпирическим изобретением, время появления которого не поддается объяснению.

Технический прогресс за рамками сельского хозяйства оказывал многообразное влияние на снабжение продовольствием. Стальные сельскохозяйственные орудия, дренажные и ирригационные трубы, паровые молотилки, рядовые сеялки и механические жатки медленно, но верно обеспечивали рост производства продовольствия и сельскохозяйственного сырья. Однако здесь в большей степени, чем где-либо еще, старое сопротивлялось новому и современные орудия и приемы сосуществовали с ручными операциями, не менявшимися в течение веков. Механизация сельского хозяйства сталкивалась с рядом серьезных технических проблем. Многие сельскохозяйственные работы, такие, как прополка, сбор плодов и дойка, — производились движениями пальцев, в противоположность машущим или рубящим движениям руки. Мы уже видели, как трудно оказалось заменить человеческие пальцы механическим приспособлением при прядении; почти во всех сферах сельского хозяйства изобретателей встречали аналогичные трудности.

Второй причиной, замедлившей механизацию сельского хозяйства (по сравнению с промышленностью), была нехватка источников энергии. В большинстве промышленных процессов производство осуществляется там, где имеется источник энергии. Это обстоятельство облегчало освоение более эффективных источников энергии. С другой стороны, в сельском хозяйстве источник энергии в большинстве случаев необходимо доставлять к месту производства (то есть в поле), вследствие чего пахоту, боронование, жатву, грабление, вязку снопов приходилось производить с помощью тягловых животных в течение долгого времени после того, как промышленность и транспорт освоили паровую машину¹⁵. Механизации относительно рано подверглись

15. Попытки использовать паровую машину при полевых работах привели к созданию парового плуга Джона Фаулера в Великобритании (1850) и паровых тракторов в США около 1830 г. Одна-

лишь те операции, которые могли быть выполнены рядом с источником энергии: молотилка, построенная в 1784 г. шотландцем Эндрю Мейклом, быстро получила широкое распространение, как и веялка, изобретенная в 1777 г. лондонским механиком Джеймсом Шарпом. Эти машины в первой половине XIX в. были оснащены паровым приводом, но оставались своего рода исключением. Все эти проблемы решил двигатель внутреннего сгорания, и накануне Первой мировой войны по обе стороны Атлантики начали внедряться тракторы и комбайны. В 1880 г. в США сбор урожая пшеницы на участке в один акр в среднем занимал 20 человеко-часов; к 1935 г. эта величина сократилась до 6,1 часа.

Для историка, изучающего экономическое благосостояние, особый интерес представляет сфера приготовления пищи и ее консервирования. Недостаточное питание и непреднамеренное потребление недоброкачественной пищи в течение веков оставались одним из главных источников людских страданий. Идею консервирования пищи путем ее герметичной упаковки сразу после приготовления впервые выдвинул Никола Аппер в 1795 г. Первоначально Аппер консервировал продукты в стеклянных сосудах, но в 1812 г. англичанин Питер Даренд предложил использовать для этой цели банки из луженой жести, которые вскоре доказали свое превосходство над стеклом. К 1814 г. Брайан Донкин уже поставлял консервированные суп и мясо для британского королевского флота. Консервирование также представляет собой хороший пример технологии, опережающей науку, поскольку лишь после эпохальных открытий Луи Пастера стало ясно, почему консервированные продукты не портятся, а к концу века выяснилось, что оптимальная температура консервирования составляет около 240°F (115°C). Консервы играли важную роль при снабжении армий во время американской гражданской

ко, за исключением стационарных молотилок, паровая машина не нашла применения в сельском хозяйстве.

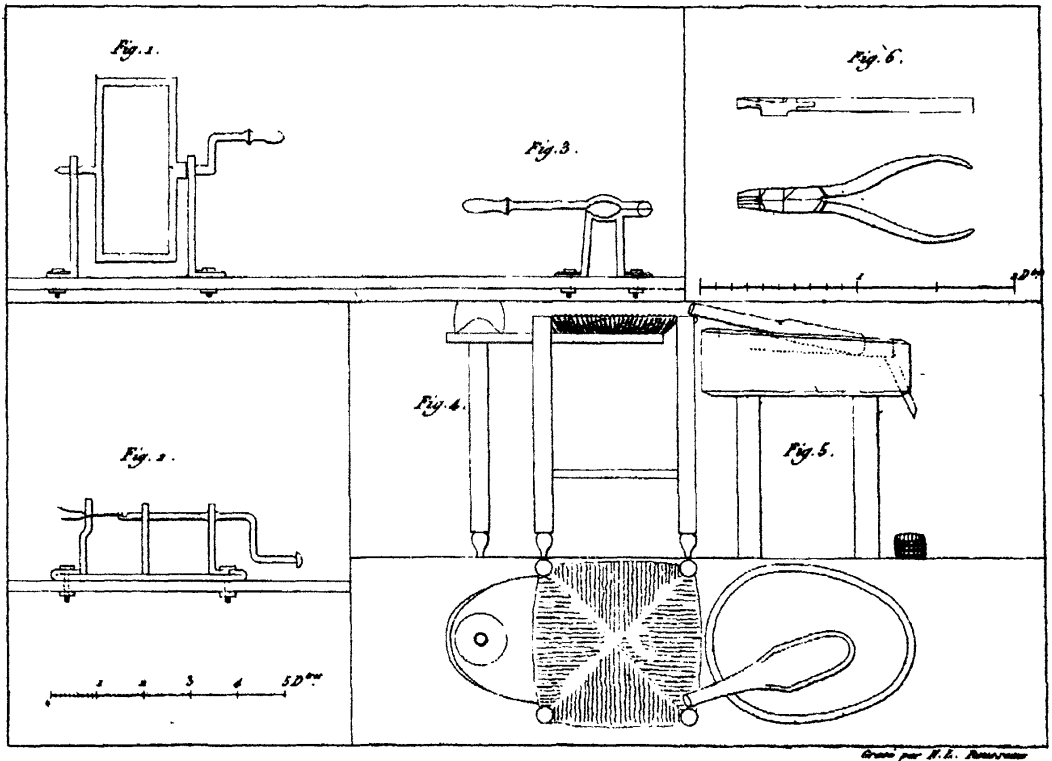


РИС. 38. Консервирование пищи на раннем этапе.
Аппарат Аппера

Источник: Archibald Clow and Nan L. Clow,
The Chemical Revolution, Batchworth Press.

войны и позволили резко увеличить потребление овощей, фруктов и мяса в стремительно растущих городах.

В обиход входили и другие способы сохранения пищи. Гейл Борден в 1850-е гг. изобрел сухое молоко, которое помогло северянам победить в гражданской войне, а ему самому принесло состояние. К концу столетия этот же метод стали успешно применять для приготовления суповых концентратов и яичного порошка. Центробежный молочный сепаратор, изобретенный Гюставом де Лавалем в 1877 г., вскоре стал краеугольным камнем молочных кооперативов в Дании, Нидерландах и Ирландии. Сам Пастер разработал метод стерилизации бутылкованного коровьего молока. Кроме того, сохранять продукты помогал холод. В XVIII в. лед хранился в специальных ледниках, а в начале XIX в. возник междуна-

родный рынок льда, хотя в теплое время года лед стоил так дорого, что покупать его могли лишь богатые. С 1834 г. (когда в Великобритании был выдан первый патент на производство льда) по 1861 г. (когда в австралийском Сиднее был построен первый завод по производству замороженного мяса) постепенно развивались и совершенствовались механические методы охлаждения и заморозки. К 1870 г. мясо, перевозившееся из США в Англию, сохранялось путем охлаждения до $29-30^{\circ}\text{F}$ (от $-1,6$ до -1°C). Однако более эффективным было его замораживание примерно до 14°F (-10°C). В 1876 г. французский инженер Шарль Телье построил первое судно-рефрижератор *Frigorifique*, которое отплыло из Буэнос-Айреса во Францию с грузом замороженного мяса. К 1880 г. на европейские столы уже поступала говядина и баранина из Южной Америки и Австралии. Европейские фермеры страдали от этой конкуренции, но потребитель, чье благосостояние в конечном счете является главным показателем экономического прогресса, оказался в большом выигрыше. Вообще технические достижения настолько снизили стоимость продовольствия, что после 1870 г. уже не потребители, а фермеры обращались во многих странах за помощью к властям. Снижение стоимости белков по отношению к углеводам не только увеличило, но и значительно улучшило европейский рацион.

Прочие секторы

Две отрасли, сыгравшие ключевую роль на ранних этапах промышленной революции, после 1830 г. развивались относительно медленно, однако по-прежнему обеспечивали серьезный прирост производительности. Главную техническую проблему в горном деле удалось преодолеть путем использования сжатого воздуха. В 1849–1856 гг. были изобретены такие пневматические инструменты, как цилиндрическая фреза для работы

в забоях. Однако механические орудия полностью вытеснили кирку и лопату лишь к концу столетия.

В текстильной отрасли следует выделить такую крупную инновацию, как швейная машина. На первых этапах промышленной революции швейная промышленность отставала от прочей текстильной индустрии, несмотря на предпринимавшиеся во многих странах попытки создать машину, которая бы заменяла движения человеческой руки в процессе шитья. За шестьдесят лет до 1846 г. в США, Великобритании, Франции, Австрии и Германии было изобретено шестнадцать различных машин, предназначенных для шитья (Thomson, 1984, p. 249)¹⁶. Поначалу эти машины были неработоспособными, но после 1830 г. на горизонте начало просматриваться решение. Изобретение швейной машины обычно приписывают американцу Элиасу Хоу, но он всего лишь усовершенствовал принципиальную деталь — челночный стежок, запатентованный в 1846 г., — и построил свою конструкцию из металла. Важная идея, воплощенная в устройстве швейной машины, заключалась в отказе от имитации движений швеи и в использовании двойной нити и иглы с ушком, находящимся вблизи острия, что позволяло делать шов из двух переплетающихся нитей. Для усовершенствования швейной машины больше всего сделал Исаак Меррит Зингер, оснастивший ее ножным приводом. По самым осторожным оценкам, рост производительности, обеспеченный использованием швей-

16. Вероятно, самый большой вклад в создание швейной машины внес француз Бартеlemi Тимонье, который построил в 1830 г. работоспособную модель, делавшую челночный стежок и потому представлявшую собой сочетание швейной и вышивальной машины. Тимонье столкнулся с ожесточенной оппозицией со стороны портных. Его парижская фабрика по пошиву армейской формы, на которой он установил свое новое устройство, в 1840-е гг. дважды подвергалась нападениям, в ходе которых швейные машины были уничтожены. Подобно многим другим французским изобретателям, Тимонье доживал свой век обнищавшим и озлобленным человеком.

ной машины, достигал 500% (Schmiechen, 1984, p. 26). Впоследствии она нашла применение при производстве обуви (швейная машина для обуви была сконструирована Маккеем в 1861 г.) и ковров (1880 г.). Ежегодное производство швейных машин возросло с 2200 в 1853 г. до полумиллиона в 1870 г. В отличие от многих других изобретений в текстильной отрасли швейная машина не требовала строительства фабрик, так как не нуждалась в централизованном источнике энергии. Напротив, она сохранила источник заработка для надомных рабочих (главным образом женщин) и привела к созданию системы знаменитых потогонков. Взаимозаменяемые детали не сразу нашли применение в швейных машинах; компания *Singer* добилась успеха главным образом благодаря блестящему маркетингу, но использовала труд квалифицированных сборщиков долгое время спустя после того, как ее конкуренты перешли на полностью взаимозаменяемые детали (Hounshell, 1984, p. 67–123).

В остальных сферах текстильной промышленности после 1850 г. всего лишь завершались процессы, начавшиеся ранее. Чесание шерсти, долгое время не поддававшееся механизации, стало развиваться после внедрения в 1850-х гг. гребнечесальной машины Листера и Донисторпа, обеспечившей оживление йоркширской камвольной индустрии. На материке, особенно в Эльзасе, широко применялась чесальная машина Хайльмана. В прядении «водяная рама», преобладавшая до 1860-х гг., постепенно вытеснялась кольцепрядильной машиной, которую изобрел в 1828 г. род-айлендский механик Джон Торп. В отличие от мюль-машины, в которой крутка нити обеспечивалась совместным действием валков и вращающихся веретен, в кольцепрядильной машине для этой цели применялся бегунок, установленный на быстро вращающемся кольце. Бегунок направляет нить и обеспечивает ее намотку на веретено. Кольцевое прядение представляло собой непрерывный процесс и требовало меньшей квалификации и силы, чем работа на мюль-машине. С другой стороны, качество пря-

жи, особенно тонкой, при этом методе было не очень высоким. Кольцевое прядение не получило широкого распространения до второй половины XIX века, но затем стремительно завоевало американскую текстильную индустрию. Впрочем, британский Ланкашир сохранял верность мюль-машинам: этот факт издавна интригует историков экономики, так как демонстрирует очевидное нежелание британской промышленности осваивать более передовую технологию¹⁷. В ткацком деле механический станок после 1850 г. продолжал вытеснять ручное ткачество, но автоматизация пришла сюда лишь после того, как Дж. Г. Нортроп построил в 1894 г. первые автоматические ткацкие станки. За двадцать лет они произвели в американской ткацкой отрасли такой же переворот, какой самодействующая машина Робертса осуществила в 1830 г. в британской прядильной промышленности. Впрочем, к тому времени британская текстильная индустрия утратила свои передовые позиции и не спешила переходить на станок Нортропа.

Механизация в текстильной индустрии во второй половине XIX в. носила характер «зачистки». Те отрасли, которые по той или иной причине остались в стороне от промышленной революции, теперь попали в ее водоворот. Хорошим примером может служить трикотажная отрасль. Чулочная рама Ли, изобретенная в 1589 г., оставалась краеугольным камнем вязального процесса до конца XIX века. Единственным важным усовершенствованием, внедренным за эти годы, являлось приспособление для вязания рубчатых тканей, которое изобрел в 1758 г. Джедедаия Стратт, впоследствии ставший партнером Аркрайта. Нередко утверждается, что технический прогресс в вязании тормозился низкими зарплатами, так как работники фактически не имели никакого альтернативного занятия (Wells, 1958, p. 598). В качестве другого фактора, предположительно препятство-

17. Распространение кольцепрядильной машины по-разному интерпретируется в Sandberg (1974) и Lazonick (1981).

вавшего механизации, называется мятежный характер ноттингемских вязальщиков, якобы отпугивавший потенциальных новаторов. Впрочем, подобные факторы присутствовали и в других отраслях, где явно не сумели воспрепятствовать прогрессу. Главная проблема, с которой сталкивалась механизация вязания, носила чисто технический характер: тонкий механизм, изменявший ширину вязаной трубки, от которой зависело качество чулок, было трудно приспособить к мощному двигателю. После того как технические проблемы были в конце концов решены Мэтью Таунсендом в конце 1840-х гг. и Уильямом Коттоном в начале 1860-х гг., вязание механизировалось так же быстро, как и другие отрасли.

Наконец, вкратце рассмотрим то, что уместнее всего было бы назвать информационными технологиями, хотя употребление этого термина может показаться анахронизмом. После изобретения телеграфа в 1830-х гг. в этой сфере стал преобладать «современный» тип развития, когда практика следует за теорией. Так, эксперименты немецкого физика Германа Гельмгольца с воспроизведением звука вдохновили шотландского уроженца Александра Грэма Белла, логопеда и преподавателя Бостонского университета, на работу по созданию телефона (1876). Такие усовершенствования, как коммутатор (1878) и катушка Пупина (1899), сделали телефон одним из самых удачных изобретений в истории. То, что отныне наука вела за собой технику, а не наоборот, мы видим также на примере радиотелеграфа (Aitken, 1976). Принцип телеграфной связи — хотя никто этого не подозревал — неявно присутствовал уже в теории электромагнитных волн, чисто математически выведенной Джеймсом Клерком Максвеллом в 1865 г. Существование электромагнитных волн, предсказанное Максвеллом, было в конце концов доказано в серии блестящих экспериментов, проведенных в 1888 г. Генрихом Герцем. Англичанин Оливер Лодж и итальянец Гульельмо Маркони в середине 1890-х гг. применили идеи этих теоретиков для создания беспроводного телегра-

фа, а в 1906 г. Ли де Форест и Р. О. Фессенден продемонстрировали, что с помощью радиоволн можно передавать не только сигналы Морзе, но и звук.

Наука не играла особой роли при изобретении другого устройства, оказавшего колоссальное влияние на информационные технологии, — пишущей машинки. Идея такого приспособления представляется концептуально очевидной, но его отладка затянулась из-за ряда мелких технических проблем, таких как сцепление соседних букв при печати. Эти проблемы в конце концов сумел решить Кристофер Л. Шоулз из Милуоки, считающийся 52-м изобретателем пишущей машинки. В 1874 г. Шоулз продал свой патент компании *Remington*, и это положило начало небольшой революции в делопроизводстве. Более сложными были технические проблемы в печати. Набор текста оставался трудоемким и медленным процессом, и необходимость в усовершенствованиях становилась все более острой по мере повышения уровня грамотности и возрастания потребности в информации в конце XVIII — XIX вв. Впервые печать с цилиндров нашла применение около 1780 г. при набивке хлопчатобумажных тканей. В 1812 г. печать газет и книг с цилиндров успешно освоил работавший в Лондоне германский иммигрант Фридрих Кениг. Первая ротационная печатная машина была построена в 1846 г. в Филадельфии. Горизонтальный цилиндр, на котором размещался печатный материал, вращался, соприкасаясь с небольшими цилиндрами, соответствовавшими отдельным страницам, которые подавались от одного цилиндра к другому с помощью автоматических захватов. Эта машина, замысел которой принадлежит Роберту Хоу, проникла в Европу, где ее стали использовать многие крупные газеты. Она работала быстро, но требовала больших трудовых усилий. Шрифтолитейная машина, не менее революционная в том плане, что шрифт каждый раз отливался заново с помощью автоматического процесса, была усовершенствована в США в 1838 г.; к 1851 г. она распространилась по всей Евро-

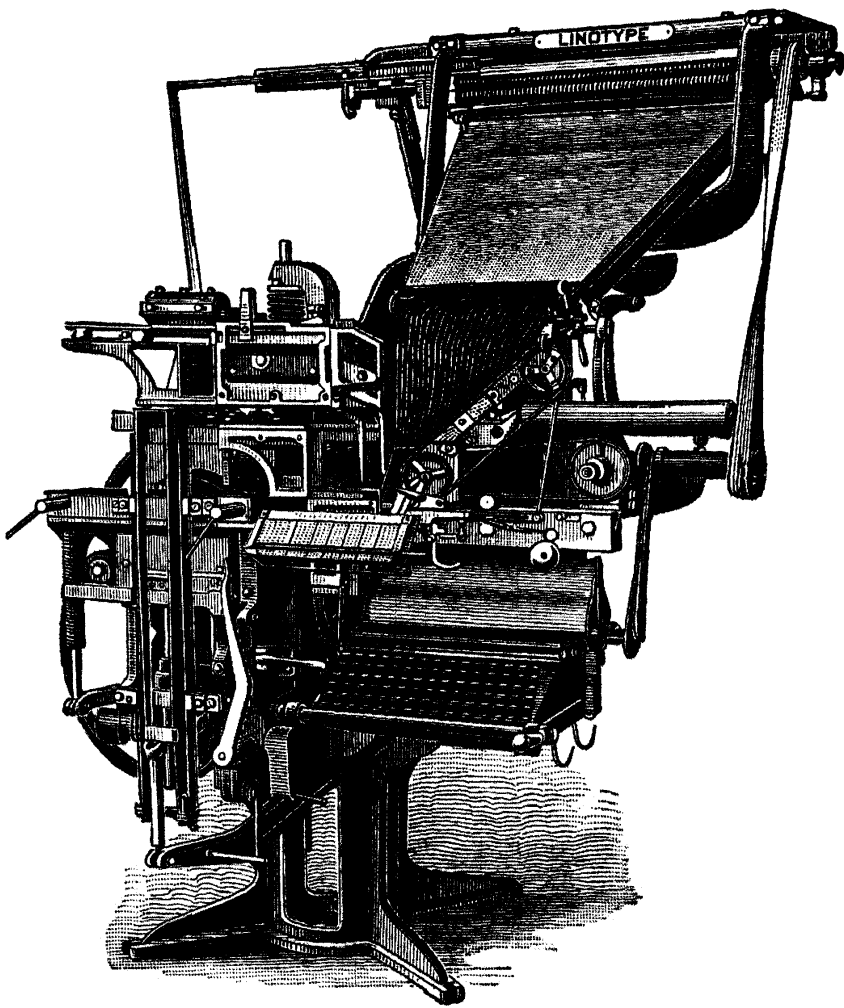


РИС. 39. Линотип, изобретенный Мергенталером.

С помощью клавиатуры наборщик составляет из бронзовых литер строки, играющие роль форм, в которые заливается типографский сплав

Источник: Linotype S. P. A., Milan.

пе. Альтернативным вариантом являлся изобретенный Генри Бессемером (знаменитым металлургом) пианотип, снабженный клавиатурой, на которой работал наборщик. В течение какого-то времени одновременно использовалось огромное количество технологий автоматического набора. Где-то между 1886 и 1890 гг. эмигрировавший в США из Германии Отмар Мергенталер изобрел линотип, набиравший и отливавший каждую

строку по очереди с помощью клавиатуры, управлявшей сотнями матриц, из которых составлялся набор. Линотипы в первую очередь использовались для печати газет; книги набирались на монотипе — работавшей по тому же принципу машине, созданной в 1890-х гг. По мере роста спроса на бумагу возникла потребность в освоении нового сырья, и после длительных экспериментов около 1873 г. был отлажен процесс производства бумаги из древесной массы.

Помимо печатного слова, изменениям подверглось и воспроизведение изображений. В 1798 г. польский печатник Алоиз Зенефельдер изобрел литографию как способ размножения рисунков. В XIX в. постепенно развивалась фотография, использовавшая хорошо известное свойство солей серебра чернеть под воздействием света. В 1830-е гг. два француза, Жозеф Н. Ньепс и Луи Дагер, открыли метод фиксации фотографических изображений, а англичанин У. Г. Фокс Тальбот разработал процесс печати фотографий на бумаге, запатентованный в 1841 г. и позволявший сделать сразу много копий. В 1888 г. Джордж Истмен сконструировал камеру *Kodak*, добавив еще один пункт в растущий список товаров длительного пользования, становившихся доступными зажиточным людям в западных странах.

* * *

В XX в. техника развивалась так быстро и стала настолько многообразной, что сколько-нибудь подробное описание этого процесса выходит за рамки наших возможностей. Современная эпоха отличается сохранением более «научного» подхода к разработке новой техники, и многие изобретения были бы невозможными без достижений в математике, физике, химии и биологии, сделанных после 1870 г. Через триста лет после смерти Фрэнсиса Бэкона его мечты о развитии техники и повышении материального благосостояния путем постоянного расширения их научной основы стали реальностью. Однако никуда не делись и, вероятно, никуда

не денутся вненаучные источники изобретательства — интуиция, удача и вдохновение. Корпоративные исследовательские коллективы не смогут полностью заменить изобретателей-одиночек — так же, как стратегические компьютеры не заменят блестящих полководцев. Технический прогресс в наше время более эффективен в том смысле, что сейчас совершается меньше ложных шагов и проще избежать тупиков. Однако XX век не сумел избавиться от двух дилемм, обычных для всех прежних эпох. Первая из них связана с тем фактом, что некоторые устройства удастся сделать работоспособными задолго до того, как становится понятно, как и почему они работают. Подобная эмпирическая методология применяется до сих пор, особенно в медицинских и биологических исследованиях («попробуй каждую бутылку на полке»), чем объясняется, например, мучительно медленный прогресс в лечении рака. Вторую можно назвать проблемой Леонардо да Винчи: мы можем изобретать самые разные устройства и механизмы, о которых известно, что они теоретически возможны, но не все из них удастся построить из-за отсутствия соответствующих технологий. В числе подобных узких мест, свойственных нашей эпохе, можно назвать выработку электроэнергии без долгосрочного ущерба для окружающей среды, надежные и эффективные методы контрацепции, борьбу с насекомыми и сверхбыстрые перемещения на большие расстояния.

Разница между XIX и XX веками заключается в техническом оптимизме нашей эпохи. Несмотря на колоссальный прогресс, в XIX в. считалось, что техника имеет ограниченные возможности и в конечном счете неспособна избавить человечество от бедности. Источники этого пессимизма были разными. Большинство экономистов соглашались с Рикардо, утверждавшим, что уровень жизни рано или поздно будет определяться прожиточным минимумом или каким-либо другим потолком, задаваемым демографическими факторами. Еще в 1890 г. Альфред Маршалл в своих «Принципах»

сводил экономику к изучению мелких непрерывных изменений, не признавая внезапных прорывов. Несмотря на полтора столетия инноваций, многие из которых были достаточно внезапными и революционными, Маршалл все равно вслед за Лейбницем считал, что природа не делает скачков. И экономисты были не одинокими в этом убеждении. Физики открыли законы термодинамики, а вместе с ними — и ограничения на выработку энергии. Геологи начали привлекать внимание общественности к тому, что запасы полезных ископаемых не бесконечны, после чего некоторые экономисты, включая У. С. Джевонса, стали делать ошибочные предсказания о неминуемом энергетическом кризисе. Параллельно развивалась теория эволюции, в аналогичном ключе утверждавшая, что долгосрочные изменения обычно бывают медленными и постепенными. С другой стороны, XX век принес понимание того, что возможности техники безграничны, что сама она может развиваться скачкообразно и что прогресс ограничивается лишь склонностью общества к уничтожению условий для ее развития. Через двадцать лет после Маршалла Шумпетер писал о «спонтанных и прерывистых изменениях», и в это же время возникала новая физика, в которой ключевое место занимали понятия критической массы и квантовых скачков.

К 1914 г. западный мир уже много десятилетий находился в состоянии экономического роста, а разрыв между ним и остальным миром стал огромным. Источником этого экономического роста стала тройная прибыль, обеспечивавшаяся торговлей, накоплением капитала и техническим прогрессом. Прибыль от торговли всех уровней по-прежнему возрастала, но по мере роста эффективности транспортных и информационных сетей предельные эффекты торговой экспансии начали сокращаться. По мере дальнейшего снижения издержек торговли, таких как расходы на транспорт, связь и страхование, сокращалась и дополнительная прибыль в смысле дохода на единицу сэкономленных издержек. В (чисто

теоретическом) предельном случае снижения этих издержек до нуля дальнейший рост прибыли от торговли становился невозможным. Более того, смитианский рост всегда уязвим от политических факторов. В конце 1870-х гг. распространение протекционизма частично компенсировало прибыльность, которую приносили железные дороги и пароходы; август 1914 г. принес с собой полный крах сложившейся системы. Рост доходов обеспечивало и расширение капитала, но к 1900 г. капитал из технически прогрессивных стран, таких как Великобритания и Франция, перетекал или в недавно заселенные регионы в Северной Америке и Австралии, или в относительно менее развитые европейские экономики, что приводило либо к резкому снижению отдачи, либо к искажениям на рынках капитала и их неэффективности, либо и к тому, и к другому. В любом случае накопление капитала само по себе являлось столь же слабым фундаментом для дальнейших экономических изменений. Лишь технический прогресс способен в одиночку обеспечивать экономический рост, поскольку только он не влечет за собой снижения отдачи. И все же техника могла стать не только благом, но и проклятием. Угрозы, связанные со второй промышленной революцией, в полной мере проявились во время Первой мировой войны. Это была война стали, война отравляющих газов, война моторов. Изобретения, которые могут принести беспредельное процветание, в той же мере способны стать источником беспредельных страданий.

Таким образом, устойчивый рост обеспечивается техническими изменениями. Не экономический рост является их причиной; они сами — причина экономического роста, и мы не найдем им замены. Историки любят оценивать конкретные инновации в смысле их последствий, то есть в смысле снижения издержек при использовании новой технологии в сравнении со следующей наилучшей альтернативой. Некоторые инновации, такие как железная дорога, пароход или кольцевое прядение, при таком подходе встают на скромное место, при-

надлежащее им по праву. Печатный станок, кортовский процесс пудлингования и прокатки, а также химические удобрения, возможно, приобретают непропорционально большое значение. Но в своей совокупности все изобилие появившихся в 1750–1914 гг. инноваций — как чисто технических, так и организационных — приводит нас к «аксиоме незаменимости». Если бы не технические изменения, прочие виды экономического прогресса неизбежно остановились бы и Европа оказалась бы в таком же положении, в какое попали Римская империя и Китай. Встает вопрос: почему этого не случилось?

Часть III
Анализ и сопоставления



Возможные причины технического прогресса

ПОЧЕМУ в одних странах происходят технические изменения, а в других — нет? Далее технический прогресс будет рассматриваться в первую очередь с точки зрения предложения: откуда берутся все эти бесплатные завтраки? Такие заявления, как «необходимость — мать изобретения», в этом контексте звучат явной чепухой. Людские аппетиты ничуть не изменяются со временем, и необходимость присутствовала всегда — в отличие от возможности удовлетворить ее. По сути, гораздо ближе к истине будет утверждение «изобретение — мать необходимости», в том смысле, что новые технические возможности нередко влекут за собой выявление прежде не распознававшихся желаний¹. «Спрос» на технику — это вторичный спрос, то есть в конечном счете

1. Уайт (White, p. 222) указывает на то, что этот сомнительный афоризм восходит к XII в., и ссылается на многочисленные контр-примеры. Также и Чиполла (Cipolla, 1980, p. 181) утверждает, что «необходимость ничего не объясняет; ключевой вопрос состоит в том, почему одни группы реагируют конкретным образом на нужды и желания, которые в других группах остаются неудовлетворенными». Веблен (Veblen, 1914, p. 314–317) презрительно отзывался об этом афоризме как об «образце некритического рационализма» и саркастически утверждал, что изобретение «всегда и повсюду» было матерью необходимости. Шумпетер (Schumpeter, 1939, vol. 1, p. 85) считал, что для появления той или иной инновации в ней должна ощущаться определенная нужда, но что та почти никогда не диктует то решение, которое поможет ее удовлетворить, и по сути нередко остается неудовлетворенной в течение неопределенно долгого времени.

он определяется спросом на товары и услуги, которые техника позволяет обеспечивать; спрос на технику саму по себе ничтожен или вовсе отсутствует. Соответственно, структура предпочтений задает направление поиска новых технических знаний — так же, как относительные цены на факторы производства (стоимость рабочей силы по отношению к стоимости капитала и сырья) могут задавать его уклон в сторону экономии того или иного фактора. Но определяет ли спрос общую интенсивность этого поиска, степень его успеха, освоение инноваций и, соответственно, технологическую креативность общества?

Если техническую информацию рассматривать просто как очередной фактор производства — притом, что производители стремятся к тому, чтобы предельные усилия, связанные с его созданием, и проистекающие из него выгоды равнялись друг другу, — то независимые изменения спроса должны повлечь за собой рост изобретательской активности и, соответственно, технические изменения. Если технический прогресс происходит именно таким образом, то техника должна быть аналогична рабочей силе: когда спрос на какой-то товар возрастает, то предприниматели увеличивают его производство, нанимая больше рабочих. Разумеется, вопрос в том, можно ли «нанять» технику подобно труду или капиталу. На протяжении почти всей истории человечества технический прогресс, в отличие от нашей эпохи, происходил отнюдь не в специальных исследовательских лабораториях, которые финансируются из бюджета НИОКР и следуют стратегиям, определяемым корпоративными планировщиками и проистекающим из маркетингового анализа. Движителем технического прогресса служили новые идеи и предложения, возникавшие если не случайно, то как минимум совершенно непредсказуемо. Возможно, что условия спроса влияли на темп появления этих идей и на их конкретное направление, но не этими условиями определялось, будет ли общество технологически креативным или нет.

Если технические изменения служат источником очень дешевых завтраков, когда выгоды в большинстве своем резко превосходят стоимость изобретения, то дальнейший рост спроса может давать незначительный эффект. В конце концов если желание получать больше товаров и услуг ненасытно и если в случае макроизобретений социальная выгода обычно превышает социальные издержки, то «избыточный спрос» на технику является непреложным фактом жизни. Таким образом, предельные изменения спроса должны были слабо сказываться на темпе инноваций. Из этого не следует, что изобретатели и изобретательская активность в прошлом не реагировали на вознаграждение — мы хотим лишь сказать, что это вознаграждение не обязательно находилось в тесной корреляции с изменениями спроса. Коротче говоря, факторы спроса не были ничтожными, но интуитивное представление о наличии определенной симметрии между спросом и предложением, выступающей в качестве одной из движущих сил технического прогресса, весьма сомнительно².

Более того, упор на факторы спроса в попытке объяснить не одно только направление новаторской деятельности, а общий *уровень* технической креативности, влечет за собой опасность попасть в замкнутый круг. Спрос не являлся экзогенной переменной. Он всегда и повсюду сдерживался доходом. Разумеется, доход может возрастать по множеству причин, включая рост населения, торговли и специализации, или естественные события, такие как изменения климата. Но еще со времен Средневековья технические изменения сами явля-

2. В этом отношении технический прогресс тоже напоминает географические открытия. Мудрые слова Адама Смита (Smith, [1776], 1976, book II, p. 68) об открытиях применимы и к техническому прогрессу: «Создание европейских колоний в Америке и Вест-Индии не проистекало из необходимости; и хотя принесенная ими польза была очень велика... этого еще не понимали в момент их создания и это не было причиной их создания».

лись одним из главных факторов, определяющих доход. Представляется, что уже к 1700 г. Европа была богаче, чем все неевропейские экономики, и этот разрыв главным образом обеспечивался техническим прогрессом. Таким образом, некорректно ссылаться на возросший доход как на фактор спроса, подталкивающий к разработке новых технологий. Короче говоря, реальный доход определяется техникой, а не наоборот, хотя этот процесс часто усложняется из-за наличия обратной связи и других аспектов³.

Разумеется, свою роль играют и предпочтения. Многие издержки, связанные с внедрением той или иной новой технологии, могли казаться современникам избыточными, даже если они и не выглядят таковыми в ретроспективе. Устойчивый процесс инноваций требует существования индивидов, готовых идти на большой риск, а порой годами ждать компенсации (если она вообще ожидается). Со стороны первопроходцев нередко необходимы колоссальные умственные и физические усилия. Соответственно, склонность к риску, предпочтения в отношении досуга и временные предпочтения становятся ключевыми факторами, определяющими темп инноваций в конкретном обществе. Однако стоимость технического «завтрака», приготовленного изобретателями и новаторами — лишь часть общих социальных издержек. В некоторых случаях технические изменения влекут за собой серьезные экологические последствия, такие как загрязнение и вырубка лесов. Подобные изменения не обязательно носят деструктивный характер, но в той мере, в какой они подразумевают утрату природой ее прежнего девственного состояния, они обычно сопровождаются какими-либо издержками. Помимо этого, существуют социальные издержки, связанные с рабочей силой: отмирание профессий, вынужденная миграция рабочих, организаци-

3. Подробный анализ этого вопроса в контексте промышленной революции см.: Мокуг (1985).

онная перестройка производства, а в некоторых случаях и структурная безработица. Экономисты, как правило, полагают, что большинство из этих издержек — явления в лучшем случае временные. Тем не менее технический прогресс едва ли когда-либо был парето-предпочтительным, то есть оборачивался улучшением для всех, кого он затрагивал: кому-то он приносит выигрыш, кому-то — проигрыш, и победители почти никогда не платят компенсацию проигравшим, даже если у них есть такая возможность. Чем сильнее неприязнь к изменению существующего экономического порядка, тем меньше вероятность того, что в данной экономике сложится климат, благоприятный для технического прогресса.

Таким образом, общие издержки освоения новой технологии складываются из двух частей — из частных издержек, которые несут изобретатели, и из социальных издержек, которые несет общество в целом. Как правило, социальные издержки превышают частные, хотя последние не всегда ничтожны. Изобретательство обычно связано с решением чрезвычайно сложных проблем. Задним числом мы получаем очень искаженное представление об этом процессе; *ex post* технические проблемы неизбежно выглядят более простыми, чем *ex ante*. В техническом прогрессе не было ничего естественного и неизбежного. Он наблюдался во многих обществах, но ни одно из них, кроме западного, не сумело превратить его в устойчивый и едва ли не бесконечный процесс непрерывной экспансии. Как в прошлом, так и в настоящем под технологически креативными обществами можно понимать те из них, которые порождают инновации, обеспечивающие выгоду, резко превышающую издержки изобретательства и внедрения, и соответственно оборачивающиеся бесплатным завтраком.

После того как изобретение было окончательно отлажено, его выгоды могли многократно окупить издержки, связанные с его разработкой, но перед этим обычно приходилось проделать долгий и утомительный путь,

конечный результат которого определялся удачей, талантом и упорством. Более того, некорректно учитывать лишь издержки, понесенные известными (а следовательно, удачливыми) изобретателями, поскольку на одну удачу приходились сотни провалов, хотя неудачники могли прикладывать не менее доблестные усилия, чем их коллеги, достигшие успеха. С точки зрения *ex post* технический прогресс мог обойтись без этих неудачников. Но с точки зрения *ex ante* и крупные, и мелкие изобретатели работали, никогда заранее не зная о том, будут ли их труды успешными, и потому все они в равной степени повышали уровень технологической креативности. Предыдущее столетие в этом отношении оказалось более благоприятным: как гласит известный штамп, величайшим изобретением XIX века стал сам рецепт изобретения. Наука преподнесла в дар технике теорию, тщательные изменения и точные инструменты, после чего значение интуиции уменьшилось.

Каждому обществу присуще, хотя и в разной степени, стремление к стабильности. Принцип «лучшее — враг хорошего» извечно был заклятым врагом технического прогресса. Под техническим консерватизмом подразумевается тенденция пользоваться определенной технологией лишь потому, что она была в ходу в предыдущие эпохи. Экономисты обычно отмахиваются от такого консерватизма как от иррационального, затратного, а потому нежизнеспособного явления. Однако недавние исследования, обзор которых приводит Куран (Kuran, 1988), внушают нам идею о том, что экономическая теория может и должна изучать консерватизм. Куран делает различие между личным и коллективным консерватизмом. Самое интересное объяснение личного консерватизма сводится к так называемой ограниченной рациональности — неспособности индивидов обрабатывать большие объемы информации и манипулировать ими, что затрудняет оценку альтернативных вариантов. Похоже, что ограниченная рациональность особенно ярко проявляется применительно к техни-

ческому прогрессу, поскольку технические изменения обычно связаны с оценкой довольно сложной информации. Разумеется, из этого не следует, что техника не подвержена изменениям — однако в случае относительно мелких изменений, включающих выбор между альтернативами, лишь несущественно отличающимися друг от друга, мы получим тенденцию к сохранению статус-кво. На коллективном уровне общество может быть консервативным даже тогда, когда индивиды не консервативны. Это происходит в тех случаях, когда хорошо организованные группы заинтересованы в сохранении статус-кво перед лицом более удачной альтернативы. Далее в данной главе мы вернемся к этому вопросу. Технический консерватизм порождает экономическую инерцию — представляется, что этот термин удачно описывает историю большинства когда-либо существовавших обществ. Влияние устоявшегося статус-кво, традиций, обычаев, правил и приверженности прецеденту всегда было мощным препятствием для инноваций и развития. Там, где идет технический прогресс, он неизменно сталкивается с серьезным противодействием.

Технические изменения — это игра против природы, а не против других игроков; фон Нейман и Моргенштерн называли ее «игрой Робинзона Крузо». Изобретение возникает на индивидуальном уровне, и потому мы должны рассматривать факторы, определяющие индивидуальную креативность⁴. С другой стороны, индивиды живут не в вакууме. Движущие силы, вынуждающие их осваивать, улучшать и внедрять новые технологии или просто вносить мелкие усовершенствования в свою повседневную деятельность, определяются институтами и сложившимися в обществе настроениями. Именно на этом уровне технические изменения превра-

4. Как отмечал один историк техники (White, 1968, p. 105), «группа не может придумать ничего такого, что сначала не придумано кем-то одним».

щаются из изобретения, игры против природы, в инновацию — сложную игру с положительной суммой, которая ведется с участием множества игроков и в условиях очень неполной информации⁵. Как указывал К. С. Льюис, «власть человека над природой нередко оказывается властью одних людей над другими, осуществляемой при посредстве природы как орудия» (цит. по: Расеу, 1986, р. 12). Впрочем, главной целью невоенных технологий является не власть, а богатство.

Физическое и социальное окружение заметно сказывается на действиях индивида, хотя не оно одно несет ответственность за их результаты. Далее мы попытаемся показать, какие факторы на совокупном уровне определяют склонность членов общества к изобретательству и какие факторы побуждают прочих к использованию этих изобретений. Впрочем, сперва было бы полезно изучить некоторые факторы, которые явно или неявно учитывают в своих мыслях и поступках индивиды в своей одинокой борьбе с законами физики, химии и биологии.

Ожидаемая продолжительность жизни

Боулдинг (Boulding, 1983) утверждает, что ожидаемая продолжительность жизни — важный фактор, определяющий уровень технического прогресса. Люди, жи-

5. Удачное описание различия между играми двух этих типов принадлежит Рудольфу Дизелю, который выделял два этапа технического прогресса: зарождение концепции и вынашивание идеи — счастливый период умственной творческой работы, в ходе которой преодолеваются естественные препятствия; и внедрение изобретения (что мы сегодня назвали бы инновацией), представляющее собой «борьбу против глупости и зависти, апатии и злобы, тайное противостояние и открытый конфликт интересов — ужасный период борьбы с людьми, мучительный даже в случае достижения успеха» (цит. по: Klemm, 1964, р. 346).

вущие очень недолго, не имеют времени или стимулов для того, чтобы искать новые знания. В прежние эпохи такие знания в большинстве случаев добывались методом проб и ошибок, который отнимал очень много времени, и потому им редко пользовались при невысокой ожидаемой продолжительности жизни. Кроме того, при малой (и неизвестной) ожидаемой продолжительности жизни у человека не возникает стимула к экономии, позволяющей скопить средства на покупку или сооружение средств производства, воплощающих в себе технический прогресс. Малая ожидаемая продолжительность жизни подразумевает высокую субъективную норму дисконта, то есть слабое терпение и нежелание откладывать удовлетворение своих желаний, притом, что практически всякий технический прогресс невозможен без определенного воздержания. Однако более внимательное рассмотрение этого аргумента порождает некоторые сомнения. Ожидаемая продолжительность жизни — концепция усредненная. Характерная для отсталых обществ величина ожидаемой продолжительности жизни примерно в тридцать лет получается вследствие усреднения по многим людям, из которых одни умерли в первые годы жизни, а другие в целом прожили не меньше, чем жили люди на Западе в начале нынешнего века⁶. Более того, у нас почти нет фактов, которые бы говорили о росте ожидаемой продолжительности жизни до 1750 г. в Европе, однако темп технических изменений явно повысился задолго до этого времени. Может быть, данная теория верна, но предсказанные ею эффекты настолько незначительны, что их затруднительно наблюдать эмпирически.

6. Продолжительность жизни некоторых средневековых изобретателей и ученых: Иоганн Гутенберг — 70 лет; Роджер Бэкон — 72 года; Альберт Великий — 87 лет; Герард Кремонский — 73 года; арабский химик Аль-Джабир — около 94 лет.

Питание

С большей вероятностью техническая креативность общества определяется уровнем его питания. Хорошо известно, что скрытый голод, то есть существенное долгосрочное абсолютное недоедание, не приближает смерть и даже не сказывается на здоровье, но снижает уровень энергии индивида, превращая его в летаргичное, вялое существо. Таким образом организм отвечает на недостаток питания, и то, что нередко называют ленью, в реальности является результатом, а не причиной бедности и недоедания. Разумно ожидать, что в обществах, в которых распространен скрытый голод, будет сложнее найти инициативу и амбицию, необходимые для экономического прогресса.

Особенно пагубную форму скрытого голода представляет собой синдром младенческого дефицита белков (IPDS). Значительное недополучение белков по сравнению с минимальным уровнем, необходимым для роста организма в первые 18–24 месяца жизни, необратимо затормозит умственное развитие. Специалисты по демографической истории согласны с тем, что различия в уровне питания ведут к заметным различиям в росте, биологическом созревании, скорости старения, сопротивляемости болезням, плодовитости и т. д. Имеются серьезные причины подозревать, что нервная система и мозг не защищены от этих влияний. Если недостаточное питание может в существенной степени снизить средний уровень реализованного интеллекта населения, то оно, скорее всего, сильно скажется на темпах технического прогресса. Отказ от устоявшихся приемов работы, особенно в том случае, если прежняя технология использовалась долгое время, требует энергии и инициативы, так же, как и способности четко размышлять на чисто интуитивном уровне. Для того чтобы оценить, работает ли данная идея, новатор должен проводить некое умозрительное различие между условной

и безусловной вероятностью; иными словами, он должен быть в состоянии представить себе результат данного изменения при сохранении всех прочих условий. Подобное мышление требует проведения мысленных экспериментов и, соответственно, умения размышлять. Повреждения мозга, вызванные неадекватным питанием, необратимо лишают человека этой способности⁷. Таким образом, может оказаться, что некоторые общества обладают более существенными объемами интеллекта на душу населения не из-за каких-то биологических различий между расами, а вследствие бедности и невежества в отношении питания, необходимого детям.

Важен ли более высокий средний уровень интеллекта? Этот вопрос служит предметом дискуссий. Очевидно, что, если IPDS и был важен в прошлом, он все же не предотвратил появления исключительно креативных индивидов, обладающих высоким интеллектом. Неадекватное питание в первую очередь сказывается на низших слоях общества — рабах, крестьянах и рабочих. Если технические изменения — особенно внедрение новых устройств, применяемых в повседневной работе, — требуют сотрудничества со стороны руководства и рабочей силы, то уровень адаптируемости и интеллекта, присущий рабочей силе, вполне может сказываться на финальном результате. Технический прогресс в этом отношении не является гомогенным. Высокая квалификация рабочей силы содействовала внедрению инноваций в сельском хозяйстве, горном деле и судоходстве. В сфере производства и услуг, особенно на современных фабриках и при предоставлении услуг массового характера, например в сетевых фастфудах, большее значение могут иметь дисциплина, послушность и готовность подчиняться отупляющему распорядку. Как

7. Углубленный анализ питания младенцев в европейском прошлом с точки зрения содержания белков и его вероятного влияния на умственное различие, а через него — на технический прогресс, см.: Williams (1988).

недавно отмечал Райт (Wright, 1987, p. 326), вполне возможна ситуация, когда гении создают технические системы, а работают на них идиоты. В более отдаленном прошлом, до эпохи массового производства и единообразных компонентов, подобные системы были менее вероятны. Эпоха крестьян и ремесленников требовала интеллекта и сообразительности при непосредственной работе с любой техникой.

Готовность к риску

На способность общества порождать индивидов-новаторов влияет и структура предпочтений, связанных с риском. Изобретения и инновации почти всегда связаны с известной готовностью идти на риск. Даже маргинальные изменения известного и проверенного производственного метода являются своего рода игрой. В прошлом, когда системы социального обеспечения были далеки от совершенства или не существовали, угроза потерпеть крах в деловом предприятии, связанном с внедрением новой технологии, ощущалась намного острее, чем сейчас. В сельском хозяйстве эксперименты с новыми приемами или культурами зачастую влекли за собой вполне реальный риск голода. Более того, в эпоху до появления массового производства даже успешные изобретения приносили лишь ограниченную выгоду. Средневековые изобретатели и изобретатели раннего нового времени не могли даже и мечтать о карьере таких изобретателей XIX и XX вв., как Джордж Вестингауз, Чарльз Холл или Эдвин Лэнд, обративших свои блестящие идеи в огромные состояния и создавших корпоративные империи, основанные на массовом производстве. Понятно, что при относительно небольших ожидаемых выгодах и менее надежной позиции самих изобретателей изобретения и инновации в прошлом были более рискованным делом, чем в нашу и недавнюю эпоху.

Экономисты полагают, что большинство индивидов не склонны к риску, однако нам немного известно о факторах, определяющих степень такой склонности. Некоторые факторы, задающие готовность идти на риск, находятся в зависимости от уровня развития экономики — например, от существования институтов, создающих возможность диверсификации. Готовность идти на риск также определяется формой функции полезности, которая отчасти носит индивидуальный характер. Кроме того, известное значение может иметь структура домохозяйства. Глава большой семьи при прочих равных условиях будет вести себя более осторожно, чем глава нуклеарной семьи, так как от него зависит больше людей. Хозяева династических семейных фирм считали себя зрителями предприятий, которые существовали до них и просуществуют еще долго, и потому могли быть более осторожными, чем менеджеры недолговечных компаний. Другим возможным фактором являлись изменения в распределении дохода, так как те индивиды, чья общественная позиция находится под угрозой, более склонны к риску (Vrenner, 1983). В данном случае важную роль могут играть возможности для диверсификации, предоставляемые крупными деловыми предприятиями. Однако, пока у нас нет хорошей теории, описывающей показатели, от которых зависит склонность к риску, мы не сможем сказать ничего определенного на эту тему.

Готовность к риску — всего лишь один из факторов, привносящих неопределенность в уровень интенсивности инноваций. В интересном фрагменте Шумпетер (Schumpeter, 1950, p. 74) указывает на важный принцип, связанный с инновационной деятельностью в условиях неопределенности. Если индивиды хронически преувеличивают свои шансы на успех, то их поведение может показаться рискованным, а общество получит больше технических изменений по сравнению с ситуацией, когда индивиды верно оценивают свои шансы. Подобный оптимистический уклон может до некоторой степени уравновешивать типичную тенденцию к недостатку

технических изменений (вследствие того, что социальные выгоды, как правило, сильно превосходят частные выгоды). Многие выдающиеся изобретатели умерли в бедности и безвестности, и это говорит о том, что хотя частная прибыль от социально полезных изобретений *ex post* была низкой, они все равно совершались, так как изобретатели переоценивали величину частной прибыли (Nye, 1991).

Географическое окружение

Ситуация еще больше усложнится, если мы покинем уровень индивидуальной креативности и приступим к изучению некоторых социальных факторов, влияющих на технические изменения. Воздействие физического и культурного окружения на степень технической креативности конкретного общества — вопрос чрезвычайно спорный, в частности из-за непроясненности самой концепции причинности. Если в саду вырос цветок, можем ли мы «объяснить» его существование, не выходя за пределы простых монопричинных рамок? Благоприятное окружение складывается из солнечного света, воды, соответствующего химического состава почвы, а также отсутствия вредителей, града и хулиганящих детей. Однако истинная «причина» существования цветка — посадивший его садовник. Лишь немногие из внешних факторов являются строго необходимыми или достаточными, и они лишь допускают существование цветка, а не являются его причиной в прямом смысле слова. В некоторых случаях экономические и социальные условия играют роль фокусирующих устройств, определяя направление уже существующего креативного потенциала и давая ему выход. Все это ведет к известной путанице, в которой мы попытаемся разобраться, изучив ряд ключевых элементов того географического, социального и экономического окружения, в котором происходят технические изменения.

Связь между физическим окружением и техническими изменениями выявить непросто, хотя иногда кажется, что она лежит практически на поверхности (Rosenberg, 1976, essays 12–14). Например, процесс распространения водяных мельниц, в раннем Средневековье изменивших экономику Европы к северу от Альп, как будто бы находился в очевидной зависимости от климата (Strayer, 1980). В дождливой Северной Европе имелось больше пригодных мест, и может показаться естественным, что, когда в раннем Средневековье центр притяжения сдвинулся на север, водяные мельницы стали использоваться более интенсивно и благодаря обучению в процессе работы их конструкция подверглась совершенствованию. Но такое объяснение не выдерживает критики. В дождливой Англии вскоре насчитывались тысячи водяных мельниц, а в дождливой Ирландии их было мало. В Северной Италии и во многих частях Галлии имелось много мест, подходящих для строительства водяных мельниц, но лишь небольшая их доля использовалась римлянами. Те были достаточно сведущи в гидравлике для того, чтобы строить мельницы даже в тех местах, где течение воды было медленным или нерегулярным (Reynolds, 1983). Тем не менее у нас почти нет свидетельств о том, что римляне широко использовали свой опыт для улучшения мест, на которых строились мельницы. От водяных мельниц не было особой пользы в засушливых регионах Центральной Азии и Северной Африки, и потому в тех местах появилась удачная замена — ветряная мельница. Но почему же азиатская ветряная мельница не сделала для восточных экономик того же, что водяные мельницы сделали для Западной Европы? Аналогичным образом те страны, в которых имелись обширные запасы угля, могли бы стать естественными лидерами в его использовании и в применении паровых машин. Из моделей обучения в процессе работы или в процессе использования следует, что вероятность усовершенствования технологии возрастает при ее более интен-

сивном применении. Однако не все технические изменения можно объяснить моделями обучения. С той же легкостью можно утверждать, что инновации стимулировались поиском замены, а не дополнений. Экономике, не имеющие угля, были бы заинтересованы в разработке более экономичных технологий, или в создании двигателей, работающих на альтернативных видах топлива, или в освоении производств, не требующих большого расхода энергии.

Аргументацию в защиту предполагаемой связи между доступностью ресурсов, их использованием и техническими изменениями приводит Ригли (Wrigley, 1987, p. 15). По его мнению, резкий прирост производительности во время промышленной революции объяснялся тем, что в распоряжении у британских рабочих оказались обширные ресурсы энергии (то есть угля). Потребление угля на душу населения с 1775 по 1830 гг. утроилось, и потому можно заключить, что промышленная революция стала возможной благодаря удачному расположению Великобритании на вершине угольной горы. В конце концов, если бы не было угля, то потребность такой страны, как Британия, в древесине в начале XIX в. стала бы колоссальной (Wrigley, 1987, p. 79). Однако у Ригли недостаточно подчеркивается то, что не наличие ресурсов могло определять технологию, а наоборот. Потребление угля возросло, потому что технические изменения привели к его более широкому использованию. Уголь был доступен на протяжении столетий и использовался в различных промышленных процессах. Во время промышленной революции технологии добычи угля слабо изменились по сравнению с технологиями, использующими уголь. Как мы видели, паровые машины совершенствовались параллельно с водяными колесами, и потому уголь мог быть менее принципиальным фактором, чем полагает Ригли. При отсутствии угля изобретательность, проявленная при его применении, могла быть направлена на поиски замены. Такие бедные углем регионы, как Швейцария, Северная Ирландия и Ката-

лония, сумели освоить альтернативные источники энергии или отрасли с низкой энергоемкостью.

Примером трудностей, связанных с такой интерпретацией, которая ставит технику в зависимость от ресурсов, служит история внедрения кокса в британской металлургической отрасли. Традиционно переход на кокс связывался с ростом цены на древесный уголь, вызванным вырубкой лесов (см.: Ashton, 1924, p. 8–9; Clow and Clow, 1956). Однако Флинн (Flinn, 1959; 1978) приводит цифры, доказывающие ошибочность этой точки зрения. Впрочем, более важен тот факт, что попытки заменить дерево углем в качестве топлива делались в самых разных отраслях начиная еще с XVI в. Как мы видели, в том столетии ископаемое топливо успешно вытеснило древесный уголь во многих производственных процессах — от мыловарения до пивоварения — задолго до того, как кокс стал применяться при выплавке железа. Это произошло по той причине, что при производстве топлива на основе каменного угля стоимость рабочей силы в пересчете на одну калорию в целом была ниже, чем при выработке древесного угля. Понимая это, металлурги экспериментировали с углем как с топливом для доменных печей начиная с середины XVI в. Абрахам Дерби отличался от многих прочих безымянных и забытых изобретателей, тоже пытавшихся решить эту проблему, лишь тем, что он преуспел — отчасти благодаря тому, что был знаком с производством солода (для которого требовался кокс), отчасти благодаря удаче.

Почему поиски замены в одних случаях приводили к успеху, а в других — к неудаче? Одно из крупнейших преимуществ, имевшихся у Европы, заключалось в большом поголовье крупных домашних животных, которые совершенно отсутствовали в доколумбовой Америке и Африке и были редкостью во многих странах Азии⁸.

8. Харрис (Harris, 1977, p. 42) доходит до решительного заявления о том, что отсутствие домашних животных в доколумбовой Америке «объясняет, почему Колумб „открыл“ Америку,

Возможно, этот дефицит скота наблюдался с древнейших времен: взрослым африканцам и жителям Восточной Азии присуща врожденная недостаточность лактазы, затрудняющая переваривание больших доз свежего молока (хотя они могут переваривать такие молочные продукты, как масло и сыр). Однако отсутствие тягловых животных не помешало коренным американцам изобрести колесо: они использовали его в игрушках, а потом потеряли к нему интерес (Crosby, 1986, p. 43). Очевидно, им никогда не приходило в голову применять колесо в таких устройствах, как блоки, зубчатые передачи и водяные мельницы. Можем ли мы возлагать за это вину на отсутствие домашних животных? Повозки, в которые впрягались люди, существовали по всему Восточному полушарию: принцип колеса не ставился в зависимость от наличия конкретной формы движущей силы. Там, где не хватало тягловых животных, их место занимали люди — так появились тачки и рикши. Более того, если общество по той или иной причине не может использовать лошадей, верблюдов или буйволов, то найдется ли лучший стимул для разработки технологий, позволяющих обойти это препятствие, таких как альтернативные источники энергии (например, ветряные мельницы), удобрения и белки? Однако доколумбова Америка не преуспела в создании таких технологий, а может быть, никогда особенно и не старалась. Также и вырубка лесов и дорогая древесина не стали стимулом для совершенствования угольных шахт в Китае, которые, по сообщениям британцев, в 1870-е гг. были невероятно примитивными (Brown and Wright, 1981, p. 66–67).

Таким образом, мы имеем две теории, объясняющие связь между естественными ресурсами и техническим прогрессом. Согласно первой из них, обилие естественных ресурсов способствует дополнительным инновациям, согласно второй, скудость естественных ресурсов

а не поватены (другое название — поухатаны; племя североамериканских индейцев. — *Примеч. пер.*) „открыли“ Европу».

вследствие их истощения или роста населения стимулирует поиск замены. Ни из одной из этих теорий не следует, что естественные ресурсы (или их отсутствие) являются необходимым или достаточным условием для возникновения технологической креативности, однако обе они подразумевают наличие сильной корреляции, различающейся знаком⁹. Эти теории не обязательно противоречат друг другу, однако они дают нам неверную модель. История демонстрирует самые разные результаты взаимодействия экономики со своим окружением, и корреляция между ними почти никогда не носит причинный характер¹⁰. В этой модели экономика становится технологически креативной под воздействием подлинно экзогенной переменной, какой бы та ни была. С учетом этой креативности наличие ресурсов будет лишь одним из факторов, определяющих направление инноваций, согласно выражению Розенберга (Rosenberg, 1976) играя роль фокусирующего устройства. Скудость ресурсов, подобно спросу, является управляющим механизмом, а не перводвигателем технического прогресса; машину приводит в движение мотор, а не рулевое колесо.

9. Этот парадокс ставил в тупик многих видных исследователей, изучавших экономическую историю техники. Ашер утверждал, что дефицит рабочей силы в Европе, слабозаселенной в начале Средневековья, благоприятствовал «определенным видам» инноваций — очевидно, тем, которые обеспечивали экономию труда. Однако на следующей странице он указывает, что обилие скота в Северной Европе по сравнению с его нехваткой в Средиземноморье способствовало развитию технологий, в тот период опиравшихся на использование тягловых животных (Usher, 1954, p. 182–183). Некоторые столь же неубедительные рассуждения на эту тему и примеры приводимых аргументов см. в: Rosenberg (1976, p. 122–123 и п. 51).

10. Например, в Восточной Европе выращивали лен, в то время как Великобритания имела легкий доступ к хлопку. Льняная отрасль, в отличие от хлопчатобумажной, плохо поддается механизации. Однако различие в темпе инноваций в Великобритании и России в 1750–1830 гг. едва ли можно объяснить одним лишь этим обстоятельством.

Зависимость от пути развития

Более убедительная версия теории о роли естественных ресурсов основывается на эффектах перелива при использовании прежних технологий, которые сами детерминированы окружением, и таким образом учитывает и географию, и историю. Хороший пример подобных процессов — эффект перелива, создаваемый в горнорудной отрасли. Разумеется, рудники возникали там, где имелись те или иные полезные ископаемые. Но шахтеры были вынуждены бороться с водой, и потому они работали над совершенствованием насосов, что влекло за собой создание более точных сверлильных станков и прочих приспособлений, которые в конечном счете способствовали возникновению паровых машин и современной гидроэнергетики. Горное дело требовало познаний в металлургии, химии, механике и строительстве; слияние такого множества отраслей знаний — пусть до 1800 г. те были чисто эмпирическими и ненаучными по нашим стандартам — не могло не повлечь за собой дальнейшего технического прогресса. В число великих новаторов, вышедших из горнорудной отрасли, входили Агрикола, Эркер, Ньюкомен, Бирингуччо, Польхем, Уатт и Стефенсон. Аналогичный феномен просматривается в позднем Средневековье в Голландии, чье местоположение определяло склонность голландцев к мореходству. Изначально будучи нацией рыбаков, голландцы шли от одного знания к другому: от кораблестроения к изготовлению парусов и канатов, к использованию ветряных лесопилок, а затем и к развитию отраслей по заготовке продовольствия. Так голландский морской сектор способствовал развитию зависевших от него технически прогрессивных секторов.

Такое объяснение технического прогресса кому-то может показаться тривиальным, а кому-то — ошибочным. Идея о том, что технические изменения зависят в первую очередь от своего собственного прошлого, из-

вестна как зависимость от пути развития (David, 1988). Описывать эту автокорреляцию пытались с помощью самых разных механизмов. Один из них, предложенный Дэвидом (David, 1975), сводится к тому, что техническим изменениям свойственна «локализация», то есть люди в первую очередь обучаются уже используемым технологиям, вследствие чего более передовые экономики будут лучше знакомы с передовыми технологиями, что позволит им оставаться на переднем крае прогресса¹¹. Таким образом, общества, креативные в прошлом, получают преимущество над другими. Другое объяснение того, почему технический прогресс зависит от прежних успехов, гласит, что те порождают дисбаланс и создают узкие места в родственных и дополнительных сферах, тем самым стимулируя дальнейшие инновации. Эта точка зрения, связанная с именем Ландеса (Landes, 1969), была уточнена и переформулирована Розенбергом (Rosenberg, 1976), который указывал, что подобные дополнения играют роль «фокусирующих» устройств в ходе дальнейшего прогресса. Такие теории правдоподобны, но они оставляют ряд нерешенных вопросов. Как подчеркивает Паркер (Parker, 1984, p. 38), один из них сводится к тому, что механизм такого типа работает лишь тогда, когда нет возможности изменить распределение ресурсов. В противном случае любое узкое место легко преодолевается путем перемещения рабочей силы и капитала в те отрасли, в которых остались старые технологии. Другая сложность состоит в том, что эти теории

11. Особый случай технических изменений такого типа представляют собой, по выражению Перссона (Persson, 1988, p. 7–13), «эндогенные» технические изменения, под которыми он имеет в виду более-менее автоматические технические изменения, являющиеся побочным продуктом процесса проб и ошибок, опыта и того, что он называет «экономией за счет практики». Перссон никак не объясняет, почему эти изменения происходили в данное время и в данном месте, как ничего не говорит о том, какую роль играют другие виды технологической креативности.

будут работать лишь в том случае, если предложение новых технологий достаточно эластично для того, чтобы дополнительный поиск технических решений действительно давал желаемые результаты. Любое фокусирующее устройство будет бесполезно, если в его окуляры не попадает ни один реальный объект.

Для нас в настоящий момент значение зависимости от пути развития состоит в том, что некоторые пути обеспечивают непрерывный прогресс, а другие заводят в тупики. Поскольку невозможно заранее предсказать, куда ведет какой путь, то, что в ретроспективе выглядит как технологическая креативность, может быть результатом прежнего удачного выбора, а техническая отсталость может оказаться просто ценой ставки на медленную лошадь. В некоторых случаях технический выбор, первоначально представлявшийся удачным, в конце концов приводил к стагнации. Примером может служить переход ирландского сельского хозяйства на картофель как на основную культуру в XVIII в. Акр земли под картофелем, давал втрое больше калорий, чем акр земли, засеянный зерновыми, и потому переход на картофель выглядел совершенно оправданным с точки зрения роста производительности. Однако в дальнейшем урожайность зерновых возрастала значительно быстрее, чем урожайность картофеля, и это создавало впечатление, что регионы, специализировавшиеся на картофеле, пребывают в стагнации. Второй пример — верблюжье седло, изобретенное примерно между 500 и 100 гг. до н. э. В результате его внедрения верблюды постепенно вытеснили колесный транспорт во многих областях Ближнего Востока и Северной Африки (Bulliet, 1975; Hill, 1984b). Хотя принцип колеса продолжал эксплуатироваться в этих экономиках — если не на транспорте, то в промышленности, — колесо в обычном смысле слова вышло там из употребления. Локальные результаты обучения в процессе использования верблюдов как транспортного средства были однозначно менее впечатляющими, чем в странах, использующих колесный

транспорт¹². Верблюды способствовали экономии ресурсов, позволяя не строить обычные дороги и не стимулировали строительство железных дорог.

В любом случае из этих логических цепочек не складывается вполне убедительная картина технических достижений. Было бы ошибочно думать, что ничто так не способствует техническому прогрессу, как технический прогресс. Примеры постепенного угасания успешных инноваций, так же как и неожиданных «рывков» в прежде отстававших обществах (скажем, в Германии после 1850 г.), демонстрируют неадекватность этих моделей. Почему горнорудные регионы в Южной Германии и Англии порождали намного более заметные эффекты технологического перелива, чем горнорудные регионы в Швеции, венгерской Словакии или в Северной Испании? Почему голландцы были намного более искусными мореходами, чем, скажем, ирландцы? И почему в Португалии после 1500 г. не наблюдалось эффектов перелива, аналогичных нидерландским? Используя метафору Линна Уайта, можно сказать, что подобные эффекты, основанные на законах природы, способны открывать двери, но не от них зависит, пройдет ли в эти двери экономика. И напротив, если дверь кажется закрытой вследствие прежнего технологического выбора, всегда возможно выбить эту дверь и перейти к другой технологии. Ни природа, ни история не в состоянии навсегда запереть общество в технологическом тупике.

Принцип зависимости технических изменений от пути развития, когда их курс определяется главным об-

12. Буллиет (Bulliet, 1975, p. 222–223) утверждает, что верблюд стал причиной появления «обществ, не знавших колеса» (по крайней мере на транспорте), которые в итоге прониклись «бессознательным предубеждением в отношении колесных повозок». Об этом свидетельствует отсутствие тачек на стройках в современном Тегеране, а также та медлительность, с которой передвигалась османская полевая артиллерия.

разом прежними событиями, можно расширить, хотя при применении подобных моделей необходимо соблюдать осторожность. Связи с прошлым следует выявлять, а не предполагать. Возможно, что регионы, специализировавшиеся на производстве часов и приборов, имели значительное преимущество в плане инноваций, поскольку от часовщиков и изготовителей приборов требовались большие способности, а также хорошее знакомство с материалами и с механикой. Поэтому не удивительно, что многие инженеры и изобретатели, прославившиеся во время британской промышленной революции, вышли из рядов часовщиков и приборостроителей. Порой несколько выдающихся людей создавали «школу», которая набирала инерцию и выпускала все новые и новые поколения инженеров и изобретателей. Британская машиностроительная индустрия в конце XVIII — начале XIX в. и немецкая химическая промышленность в XIX в. своим успехом были частично обязаны подобным традициям. Тем не менее многие традиции угасли или заходили в тупик. Таким образом, очевидно, что для объяснения технических успехов недостаточно знать их историю.

Стоимость рабочей силы

Согласно родственной гипотезе, техническая креативность стимулируется высокими заработками и дефицитом рабочей силы. Эта гипотеза, известная как тезис Хаббакука (Habbaquik, 1962), гласит, что высокая заработная плата в XIX в. подхлестнула технический прогресс в США и, в частности, способствовала созданию американской системы производства, основанной на взаимозаменяемых деталях. Обзор соответствующей литературы в целом выходит за рамки нашей книги, однако несколько замечаний о связи между высокой стоимостью рабочей силы и техническим прогрессом будут здесь уместны. Идея о том, что высокие заработки обя-

зательно поощряют технологическую креативность, вытекает из ложного представления о том, что технический прогресс — это, в первую очередь, процесс выбора между более-менее эквивалентными альтернативами и что этот выбор зависит от цен на факторы производства. Несомненно, мы можем привести примеры ситуаций, когда такой выбор приходится делать, но они не отражают его сущности. Согласно тезису Хаббакука, высокие заработки должны стимулировать изобретения, способствующие экономии труда. Однако у нас нет убедительных доказательств того, что технический прогресс в прошлом шел преимущественно в этом направлении (von Tunzelmann, 1981, p. 158). Маклеод (MacLeod, 1988, p. 158–181), анализируя мотивы получения патентов в Англии XVIII в., показывает, что целью инноваций в первую очередь объявлялись экономия капитала или повышение качества продукции, притом что «экономия труда» была названа целью изобретения лишь в 3,7% случаев. Вообще говоря, стремление к экономии труда в XVIII в. усилилось, но под ним зачастую понималось совсем не то, что имел в виду Хаббакук. Изобретатели пытались заменить рабочих машинами с тем, чтобы подорвать влияние профсоюзов, или потому, что не доверяли своим работникам.

Более того, смещенные технические изменения — понятие относительное. Если данная инновация экономит труд, то после ее внедрения капиталовооруженность должна возрасти. Но в большинстве случаев абсолютное количество капитала и труда, требовавшееся для производства одной единицы продукции, снижалось, даже если затраты труда сокращались быстрее, чем затраты капитала. Производитель, будь то независимый ремесленник или крупный фабрикант, постарается в максимальной степени снизить издержки вне зависимости от того, что экономится — труд или какой-либо иной фактор производства. Издержки на оплату труда остаются издержками, невзирая на то, дешев ли труд или нет. Новшества, экономящие труд, приведут к ро-

сту прибыли даже в экономиках с низкими зарплатами и потому будут взяты на вооружение. Более того, изобретения, позволяющие производить вещи, более простые в эксплуатации и в обслуживании, более приятные на вид и более долговечные; изобретения, избавляющие рабочих от тяжелого труда и экономящие их силы; и, наконец, изобретения, сокращающие потребность в топливе, сырье и воде, а также износ станков и оборудования были привлекательны как в экономиках с высокими заработками, так и в экономиках с низкими заработками. Похоже, что изобретения, экономящие труд, в эпохи стабильных или медленно снижающихся реальных заработков (например, в последней трети XVIII в.) делались так же часто, как и в периоды роста заработков.

Вообще говоря, из истории известны случаи, когда высокие заработки или дефицит рабочей силы вследствие высокой смертности или забастовок стимулировали разработку инноваций, направленных на экономию труда¹³. И наоборот, дешевый и имеющийся в изобилии труд препятствовал механизации (Samuel, 1977, p. 47). В тех случаях, когда механизация требовала приобретения крупных и дорогостоящих средств производства, воплощавших в себе новые технологии, относительные цены на капитал и труд вполне могли приниматься во внимание, по крайней мере в краткосрочном плане. Однако подобные случаи до 1870 г. были редки, и некоторые примеры этого явления не выдерживают провер-

13. Идею о том, что трудовые конфликты могли стимулировать изобретательность, выдвигал уже Маркс. Самый знаменитый пример — изобретение Робертсом самодействующей мюль-машины в ответ на бедственное положение манчестерских хлопчатобумажных промышленников, страдавших от забастовки опытных операторов мюль-машин. Другие примеры изобретений, которые, по словам Маркса, «становились для капитала орудиями против восстания рабочего класса», включают в себя цилиндры для набивки ситца, жатку Маккормика, гребнечесальную машину и дыропробивную машину Ричарда Робертса (Rosenberg, 1976, p. 118–119; Bruland, 1982).

ки. Например, медленный технический прогресс в производстве угольного газа в Великобритании в 1870-е и 1880-е гг. объяснялся дешевым трудом, а когда заработки в этой отрасли в 1880-е гг. стали расти, производители якобы быстро внедрили инновации, экономившие труд. Мэтьюз в своей недавней статье (Matthews, 1987) убедительно разоблачает эту теорию и показывает, что новые технологии в производстве газа (такие как новые источники энергии и технологии сжижения газа) стали доступны лишь после 1885 г. и, вероятно, были бы освоены, даже если бы уровень зарплаток остался прежним. В аналогичном ключе предполагалось, что *vallus*, римская жатка, не получила распространения, потому что она сэкономила труд, а почти нигде в Римской империи не ощущалось нехватки в рабочей силе (Pleket, 1967). Однако К. Д. Уайт (White, 1969) указывал, что *vallus*, по словам описывавших ее авторов, давала экономию как труда, так и времени. Пожалуй, еще более важно то, что отсутствие недостатка в рабочей силе — не то же самое, что и бесплатный труд. Пока рабочим приходится что-то платить, любая машина, экономящая труд, будет повышать эффективность производства.

Наука и техника

Являлось ли когда-либо предложение научных идей и знаний сдерживающим фактором при разработке новой техники? Росту (Rostow, 1975) усматривает в научной революции XVII в. ключевое различие между Западом и Востоком. Ранее «наука не могла внушить лицам, имеющим доступ к ресурсам или контроль над ними, что существуют такие способы изучения физического мира, которые позволяют систематически трансформировать его им на благо» (р. 31). Всегда существовало множество, так сказать, метатехнических знаний, которыми вдохновлялась техника — сознательно или бессознательно. Будет уместным еще раз сослаться на проводившее-

ся Фрэнсисом Бэконом классическое различие между изобретениями, зависящими от состояния знаний (как научных, так и ненаучных), и изобретениями, которые могли бы быть сделаны едва ли не в любой момент времени. Представляется, что до 1850 г. самые важные изобретения — от корончато-штыревого спускового механизма до «коттон-джина» — носили эмпирический характер и роль метатехнических знаний при их создании была ничтожной. Однако порой видимость бывает обманчивой: как уже говорилось, теория машин Галилея имела большое значение для всех последующих достижений в механике. Даже самый главный эмпирик и прагматик среди всех изобретателей, Джон Смитон, вдохновлялся экспериментальными методами, разработанными Ньютоном, в которых воздействие отдельных факторов оценивается путем изменения какого-либо компонента при постоянстве всех прочих условий. Пэйси (Pacey, 1975, p. 137) указывает, что научная революция XVII в. познакомила инженеров с «методом составных частей», при котором проблема анализируется путем ее разделения на отдельные составляющие, более удобные для изучения, чем проблема в целом. Джейкоб (Jacob, 1988, p. 208) утверждает, что наука XVIII в. обучила производителей и торговцев «думать механистически», то есть с точки зрения понятных и контролируемых физических процессов.

На практике провести различие между наукой и техникой не так-то просто. Жиль (Gille, 1978, p. 11–12), внимательно изучавший эту проблему, предлагает руководствоваться критерием предназначения: цель науки состоит в понимании, а цель техники — в принесении пользы. Хотя Жиль полагает, что на Западе до эпохи Ренессанса наука не играла заметной роли, он, по-видимому, согласен с Ростом в том, что упадок науки мог привести к остановке дальнейшего прогресса. Однако из приведенного им самим обзора следует, что корреляции между научными достижениями и техническим прогрессом можно трактовать как помощь, оказывае-

мую наукой технике, так и наоборот. Более того, любая корреляция между наукой и техникой может оказаться ложной в том смысле, что и наука, и техника вполне могут являться функциями других социальных факторов. Не отрицая того влияния, которое научные идеи и научная практика, а также некоторые отдельные ученые иногда оказывали на технический прогресс в эпоху барокко и на ранних этапах промышленной революции, все же отметим еще раз, что «научные знания», какими мы их понимаем сегодня, до 1850 г. почти никогда не являлись сдерживающим фактором технического прогресса. Связь между научным и техническим прогрессом, как указывал Отто Майр (Maier, 1976), ставит в тупик главных знатоков и науки, и техники. Более того, такой выдающийся историк науки, как Кан (Kuhn, 1969, p. 428), выступил с поразительным заявлением об отрицательной корреляции между этими явлениями, поскольку социальные условия, благоприятные для развития науки, вредны для техники, и наоборот.

Как показывают в своей работе Массон и Робинсон (Musson and Robinson, 1969), британские изобретатели и промышленники во время промышленной революции поддерживали постоянные контакты с учеными. Такие инженеры и механики, как Смитон, Уатт, Тревитик и Стефенсон, переняли у ученых рациональную веру в упорядоченность природных явлений и физических процессов, узнали от них, как важны точность измерений и контроль за ходом эксперимента, на их примере научились проводить логическое различие между причинностью и корреляцией, а также прониклись уважением к количественным методам и математике. Во многих случаях новые знания, полученные учеными, просачивались дальше и оказывали скрытое влияние на постановку вопросов и поиск решений. Например, создание паровой машины было бы немыслимо без опытов Торричелли и Герике, открывших атмосферное давление; машины Смитона и Модсли вряд ли были бы возможны без галилеевской теории механики. До 1800 г.

физические науки действительно почти не могли принести этим инженерам непосредственной пользы, однако и научные методы, и отдельные идеи становились как источником вдохновения для технических прорывов, так и маяком, указывавшим к ним путь¹⁴.

В некоторых случаях удачно поставленные эксперименты раскрывали истину, даже несмотря на неполноту или ошибочность научных принципов. Бертолле, изобретатель хлорного отбеливания, считал, что хлор — сложное вещество, а не элемент. Изобретатели воздушных шаров полагали, что те летают, потому что их наполняет вещество легче воздуха, выделяющееся при нагреве. Но был бы воздушный шар изобретен без открытий Кавендиша или в том случае, если бы Джованни Альфонсо Борелли в 1680 г. не продемонстрировал, что люди физически не в состоянии летать, как птицы? Еще один пример того, как ошибочные научные принципы могут привести к верным идеям, нам дает металлургия. Лучшие умы европейской науки столетиями пытались разгадать природу стали. Флогистонная теория, господствовавшая в физике XVIII в., резко стимулировала интерес к составу полезных материалов. Предположение о том, что сталь представляет собой чистую форму железа с добавлением флогистона, не помешало французскому Рене Реомюру издать в 1722 г. знаменитую книгу, в которой он утверждал, что сталь — промежуточное состоя-

14. Теория была довольно ненадежным источником вдохновения в годы первой промышленной революции. Например, в сфере гидроэнергетики французский математик Антуан Паран вычислил, что максимальный КПД водяного колеса составляет лишь $\frac{1}{27}$ естественной силы потока и что оптимальная скорость колеса равняется $\frac{1}{3}$ скорости потока. Эти вычисления получили всеобщее признание, хотя они были неверными и не соответствовали эмпирическим наблюдениям. В сфере ветряной энергетики опыт и теория использовались в 1780-е гг. для определения оптимального размера и формы лопастей мельниц. Выяснилось, что фактически оптимальной является вогнутая форма и искривленная поверхность лопастей, столетиями использовавшихся на голландских ветряных мельницах.

ние между чугуном и чистым железом. Швед Тоберн Бергман, другой убежденный флогистонист, в 1781 г. открыл, что различие между чистым железом, сталью и чугуном заключается в количестве содержавшегося в них «плюмбаго». Вскоре после этого выяснилось, что «плюмбаго» — это просто уголь, то есть чистый углерод (Cyril S. Smith, 1981, p. 35–44). К 1820-м гг. роль углерода в железе и стали была уже вполне понятна, и без этих знаний вряд ли были возможны дальнейшие достижения в сталеплавильной отрасли.

Считается общепризнанным, что во второй половине XIX в. роль науки в обеспечении технического прогресса существенно возросла. Однако оригинальные, энергичные, смелые, наделенные воображением, но в принципе необразованные, полагающиеся на интуицию и бессистемно работающие изобретатели, какими они были в XVIII в., никуда не делись и после 1850 г.¹⁵ По сути, изобретатели такого типа оставались заметным явлением и в XX в. В целом представляется вероятным, что большинство важных изобретений, сделанных за последние 150 лет — от сталеплавильных конвертеров до химиотерапии рака, от консервирования пищи до аспартама — вошли в обиход задолго до того, как люди поняли, как они работают, и соответственно, систематические исследования в этих сферах сводились к упо-

15. Классическая защита изобретателя-одиночки проводится в работе «Истоки изобретения» (Jewkes, Sawers and Stillerman, 1969), авторы которой полагают, что «во многих сферах знаний открытия по-прежнему совершаются теми, кто рыщет по поверхности вещей там, где воображение и развитая наблюдательность, подкрепленные лишь простейшими техническими средствами, способны принести богатые результаты» (ibid., p. 169). Также все чаще признается, что участие индивидов в разработке и распространении инноваций непрерывно сокращается. Хотя содержащееся в Langrish et al. (1972, p. 14) утверждение о том, что «„новатор-одиночка“ — практически нонсенс», конечно же, является преувеличением, оно отражает важный аспект современного технического прогресса.

рядоченному методу проб и ошибок. Доля таких изобретений снижается, но до сих пор остается большой.

Наука после 1850 г. взяла на себя задачу показывать не только то, что *будет* работать, но и то, что *не будет* работать. В 1853 г. разносторонний изобретатель Джон Эриксон создал «калорическую» машину, устроенную по принципу регенерации выделенного тепла. Она была неработоспособной, так как ее изобретатель не понимал элементарного положения термодинамики, согласно которому машина не может снова и снова использовать то же самое тепло, потому что оно превращается в энергию (Bryant, 1973). Даже самые одаренные изобретатели-самоучки все сильнее ощущали потребность в сотрудничестве с людьми, получившими систематическое образование. Например, Томас Эдисон нанял математика Фрэнсиса Р. Аптона и химика Реджинальда Фессендена (который впоследствии внес важный вклад в понимание принципа модуляции радиоволн), чтобы те облекали его идеи в строгие формулировки. Воодушевленные дилетанты по-прежнему играли ключевую роль в изобретательском процессе, и их незашоренность нередко была необходима для первоначального прорыва. Однако на стадии «внедрения» все более важными становились научная подготовка и систематическая работа. Изобретателям приходилось либо становиться специалистами самим, чтобы остаться при деле, либо сдаваться (Hounshell, 1975).

Религия

Особый интерес при объяснении технических изменений в долгосрочной перспективе представляет религия. Разумеется, религия, особенно в прошлом, была социально детерминированным явлением. Собственно, история относительно редко давала индивидам возможность самим выбирать себе веру. Будучи заданными, религиозные представления становились ключевой переменной на том микроуровне, на котором опреде-

ляется индивидуальное отношение к техническим изменениям. Существует обширная и противоречивая литература об отношениях между религией и экономическими изменениями (или «капитализмом»). Здесь мы рассмотрим исключительно технологический аспект этих отношений¹⁶. Но сначала следует сделать две важные оговорки. Во-первых, едва ли найдутся религии, оказывающие тотальное противодействие каким бы то ни было инновациям. Религии различаются лишь степенью этого противодействия, однако это различие носит кумулятивный характер и в долговременном плане может сказаться очень сильно. Во-вторых, религии сами по себе в известной степени являются переменными социального выбора, по крайней мере в некоторые ключевые моменты. Выбор религии и адаптация к ней могли отражать в себе смену предпочтений и обстоятельств. Грубо говоря, каждое общество имеет ту религию, которую оно заслуживает. И все же исторические факты показывают, что религия редко носила полностью эндогенный характер и что господство конкретной религии зачастую диктовалось военными и политическими событиями. Более того, то, во что люди действительно верили, не соответствовало догмам официальных церквей и ни экономисты, ни социологи не добились больших успехов в объяснении этого обстоятельства.

Именно потому, что акт изобретения — это игра против природы, для изобретения важнее всего то, поощряет ли вера склонность к изменениям методов производства, то есть готовность бросать вызов физическому окружению и манипулировать им — то, что Ландес называл фаустовской этикой, ощущением господства над природой и над вещами. Не все технические изменения относятся строго к этому типу; так, чеканка монеты, новые методы бухгалтерского учета или совершенствова-

16. В дальнейшем я в основном опираюсь на первопроходческие работы Линна Уайта, особенно White 1968; 1978, и на обзор проблемы технических изменений в Landes (1969, ch. 1).

ние надзора за работниками не подпадают под это определение. Однако сельское хозяйство, промышленность, горное дело, охота и транспорт требуют вмешательства, в ходе которого новатор изменяет природу так, чтобы она соответствовала его целям. Подобная готовность модифицировать окружающую среду определяется отношением новатора к физическому миру, то есть религией. Для современных западных людей, чьи представления о природе (если они существуют в осознанном виде) сводятся к тому, что ею можно манипулировать выгодным для себя образом, возможно, покажется очевидным, что главный фактор, сдерживающий развитие техники — это знания (то есть способность использовать природу). Но как мы увидим, такой образ мысли представляет собой исключение в истории человечества и опирается в основном на антропоцентричную философию иудеохристианских религий. Поэтому мировоззренческие изменения являются естественной кандидатурой для объяснения технического отрыва средневековой Европы: к этой теме мы еще вернемся в дальнейшем.

Экономисты по традиции с осторожностью относятся к менталитету как к фактору, влияющему на долгосрочное экономическое развитие. В процветающей литературе об экономическом подъеме Запада подобные факторы либо игнорируются, либо сразу же объявляются несущественными¹⁷. В частности, враждебность экономистов к религиозным факторам диктуется неполнотой подобных теорий. Позиция представляет собой вопрос степени, обычно не нося абсолютного характера. Незападные общества в некоторых случаях резко изменяли свою физическую среду обитания, навлекая на свою голову экологическую катастрофу (Jones, 1988,

17. В North and Thomas (1973), как и в North (1981), вопрос об отношении к новшествам совершенно игнорируется, как и в Hicks (1969). Джонс (Jones, 1981) отмахивается от него, а в Rosenberg and Birdzell (1986) содержится лишь сноска, посвященная тезису Уайта о взаимоотношениях между религией и техникой.

р. 59–61). Любое экономическое производство подразумевает те или иные манипуляции с физическим окружением, и всем обществам приходилось вести игру против природы. Религия могла причудливым образом менять отношение к материальному миру: некоторые иудео-христианские религии, и в первую очередь сам иудаизм, не выказывали особой приязни к техническим изменениям, даже если разделяли точку зрения о том, что Бог поставил человека в центр Вселенной. Греческое православие и ислам, а порой и западное христианство, проявляли склонность к мистицизму и религиозной догматике, отрицавшей инновации. Более того, важный вклад в технику внесли многие нехристиане, особенно китайцы. Таким образом, мы можем привести множество сомнений и оговорок. Но даже если религия отнюдь не является единственным или хотя бы основным фактором, она остается одной из самых интригующих сил, на которые ссылаются при попытках объяснить европейское экономическое чудо. Технический прогресс, под которым мы в этой книге понимаем устойчивое изменение знаний, обеспечивающее снижение издержек и рост производства, начался в Европе после того, как здесь укоренилось христианство и в течение двенадцати с лишним столетий оставалось беспрецедентно мощной и явно неистощимой экономической силой.

Религия, экономика и общество нередко взаимодействовали таким способом, который не поддается простым обобщениям, но оказывал очевидное влияние на технологическую креативность. Индийский брахманизм был создан завоевателями-ариями, придумавшими кастовую систему, которая закрепляла их господство и гарантировала покорность со стороны низших классов. Табу, ограничения и правила, насаждавшиеся кастовой системой, сделали индийское общество невероятно консервативным по западным стандартам. Вечный поиск компромисса между прогрессом и экономическим ростом с одной стороны и стабильностью и порядком с другой стороны в случае индийской цивилизации за-

вершился однозначным выбором в пользу последнего. Джонс (Jones, 1988, p. 10–34) называет кастовую систему «крайним примером омертвляющих институтов», отмечая, что та «в принципе исключала личные достижения». Разумеется, точное выявление причинно-следственных связей всегда затруднительно: была ли Индия консервативным обществом, придумавшим для себя подходящую религию, или же именно индуизм несет ответственность за индийскую отсталость? Согласно индуистскому учению попасть в ряды более высокой касты можно в случае реинкарнации, если при жизни ты выказывал соответствующее послушание и покорность: такая система стимулов с дьявольской эффективностью и почти стоцентной гарантией обеспечивала сохранение статус-кво. В результате индийский субконтинент, несмотря на очевидные успехи в металлургии, гидравлике и производстве высококачественных тканей, не занимает заметного места в истории технологической креативности.

Разумеется, нельзя возлагать вину за отсталость Индии на одну лишь религию. Индию неоднократно опустошали гражданские войны и свирепые завоеватели. Однако самые креативные общества возвращались на прежний уровень спустя десятилетия даже после самых сокрушительных ударов. Индия же просто отставала, и в конце концов пала жертвой более передовых врагов — сперва моголов, которым артиллерия в 1520-е гг. принесла победу над намного более крупными индийскими армиями, а затем англичан. Но в конечном счете важны не политические последствия; ситуация в Индии, где повседневная жизнь тысячелетиями балансировала на грани существования, сводит к абсурду само понятие равновесия, столь любимое экономистами. И тем не менее это равновесие рассматривалось как система, созданная волей богов, как идеальный мир, в котором все и всё находится на отведенном ему месте, как общество, в котором бедность священна, а любое усилие тщетно. В подобном обществе технологическая креативность имела мало шансов на успех.

Техника не единственное средство, с помощью которого люди пытались влиять на свое естественное окружение. Люди, чьи научные заслуги не оставляют сомнений в «рациональности» их поведения, нередко практиковали магию, астрологию и алхимию — которые сегодня по большей части считаются иррациональными видами деятельности. Исаак Ньютон был одним из самых знаменитых алхимиков в истории. Неаполитанец Джамбаттиста делла Порта (1536–1605), одним из первых осознавший возможности пара, был профессиональным магом и даже назвал свою книгу *Magiae Naturalis*. Эффекты перелива астрологии в астрономию слишком очевидны для того, чтобы снова о них распространяться. Не стоит отмахиваться от магии как от иррационального занятия, поскольку уровень рациональности определяется доступной информацией и в отсутствие современной науки у людей не было возможности узнать, что будет работать, а что — нет. Важное различие между техникой и магией заключается не в том, что техника дает результаты, а магия не дает. Для нас более важно то, что магия не контролирует природу, а выпрашивает у нее милости. Вместо эксплуатации закономерностей и законов природы магия ищет из них исключения, пользуясь воображаемым непостоянством Вселенной. Более того, когда техника работает, то она работает для всех, в то время как магия была доступна лишь сведущим в ней людям. Ученик чародея не мог воспользоваться возможностями своего хозяина. Вообще говоря, магия и алхимия порой создавали положительные переливы в технику, но с наступлением эпохи Просвещения в XVIII в. их значение сходит на нет.

Коллективные ценности

В том, что касается коллективного влияния на поведение, склонность общества к техническому прогрессу, возможно, в наибольшей степени зависит от иерархии

ценностей. Экономисты привыкли изучать людское поведение с точки зрения пользы, представляющей собой оценку потребляемых товаров и услуг, а также условий жизни людей. Однако помимо этого существует коллективный набор оценок, определяющих относительную престижность различных видов деятельности или атрибутов в рамках общества. Хотя престиж обычно находится в корреляции с богатством, он не идентичен богатству. В течение столетий в список престижных занятий, помимо накопления богатства (экономической активности), попадали самые разные профессии: военное дело, искусство, богослужение, спорт, административная деятельность, обучение и преподавание. Разные общества ценили эти занятия в разной степени. Представляется правдоподобным, что чем выше в этом рейтинге стоят труд, производство и накопление богатства, тем заметнее склонность общества к техническому прогрессу. Так, из великих цивилизаций Античности греки высоко ценили спорт и обучение, римляне придавали наибольшее значение военным и административным способностям, в то время как евреи на первое место ставили богослужение, а впоследствии — обучение и истолкование священных текстов. Все эти общества ценили богатство, но быть храбрым или мудрым значило в их глазах не меньше, а то и больше, чем быть богатым.

Более того, богатство могло принимать разные формы. В некоторых обществах мерилom богатства служила в первую очередь непосредственная власть над людьми, а не экономический контроль над ресурсами. Например, в некоторых рабовладельческих и феодальных обществах под богатством понималась власть над другими людьми¹⁸. Разумеется, власть над людьми и контроль над экономическими ресурсами в значительной степени перекрываются в любом обществе. Но они не идентич-

18. Можно сослаться на заирское племя нуну, в языке которого «бедный человек» и «одиночка» — синонимы. См.: Harms (1987, p. 65).

ны друг другу. Рабовладельческое общество, в котором богатство и социальный престиж определяются числом рабов, будет менее склонно к использованию машин, экономящих труд, которые, при всей их эффективности, сделают рабов ненужными. С другой стороны, в таком рабовладельческом обществе, в котором богатство оценивается с точки зрения всех ресурсов и в котором рабов держат только потому, что обладание ими дает серьезную возможность разбогатеть, технические изменения столь же вероятны, как и в любых других обществах. Используя терминологию Хирша (Hirsch, 1976), можно сказать, что технический прогресс обеспечивает лишь прирост материальных благ, в то время как позиционные блага, такие как социальный престиж или политическая власть, которые носят строго относительный характер, не затрагиваются им по определению. Чем значительнее роль позиционных благ как критерия богатства по сравнению с материальными благами, тем менее привлекательны технические изменения и тем ниже престиж, связанный с экономическим производством.

Относительно низкое место экономической активности в этой иерархии становится помехой для технического прогресса по ряду причин. Во-первых, местом приложения творческой энергии наиболее образованных и самых успешных индивидов при этом окажутся сферы, не связанные с увеличением производственных возможностей экономики. Такие люди пойдут в священники, философы или полководцы и вряд ли будут интересоваться обыденными проблемами сельского хозяйства, металлургии или дубильного дела. То, что мы называем производством, в греко-римском обществе считалось уделом низших классов и даже, возможно, рабов — занятием необходимым, но грязным. В той степени, в какой изобретательство сводится к сочетанию ранее разрозненных знаний, оно невозможно без некоего заранее заданного набора экономических целей. Иными словами, для того, чтобы изобретатель понял, что его идея может быть полезной в конкретной сфере эконо-

мического производства, он должен заранее иметь некое представление о сущности этого производства.

Во-вторых, поскольку производственная деятельность отдавалась на откуп необразованному и бессловесному классу, отчужденному от элиты, технический прогресс сталкивался с серьезным препятствием. В обществе, в котором образованные не работают, а те, кто работает, необразованны, бессловесность производящих классов станет препятствием для распространения и внедрения новой технологии в том маловероятном случае, если она будет создана. На протяжении большей части истории детей, получавших образование, держали на отдалении от практических вопросов. Учились ли они верховой езде, латыни, теологии, геометрии или знанию Талмуда, предметы, связанные с коммерцией и торговлей, обычно не являлись частью расписания. Изобретение, сделанное рабом или скромным крестьянином, время от времени могло принести прибыль его хозяину или землевладельцу, или даже ему самому. Однако насколько вероятным было то, что оно станет известно за пределами непосредственного окружения его создателя, если только оно не вызывало интереса у образованной элиты? Впрочем, исключение значительных слоев общества из группы, чьи идеи обладают известной приемлемостью, было свойственно не только рабовладельческим обществам. Например, известно очень мало женщин-изобретательниц, хотя женщины играют важную роль в большинстве сфер производства. Известны случаи, когда женщины проявляли склонность к практическому изобретательству, но их социальное окружение, считавшее познания в механике мужской монополией, не позволяло развиться их талантам, и женщины-изобретатели оставались в тени своих партнеров-мужчин¹⁹.

19. Так, старшей сестрой Чарльза Холла, разработавшего электролитический процесс выплавки алюминия и основавшего компанию *Alcoa*, была Джулия Холл, сыгравшая важную роль в ходе этого открытия, которая, однако, не была по достоинству оце-

Более того, в некоторых случаях источником новых идей служили игры или эксперименты, проводившиеся исключительно ради интереса. Для того чтобы использовать эти идеи в целях технического прогресса, требовался прагматический склад ума. В тех случаях, когда идея возникает на индивидуальном уровне (нередко подсознательно), вероятность того, что индивид попробует сделать на ее основе что-нибудь полезное, зависит от того, насколько его окружение ценит полезные вещи в противоположность, скажем, красивым или добродетельным. Технический прогресс зависит от той степени, в которой *homo creativus* — вместе с тем *homo economicus*. По сравнению с другими обществами, Европа подходила к добывавшимся ею новым знаниям более прагматически. Хотя этот прагматизм окончательно проявился лишь в XVII в., особенно в произведениях Фрэнсиса Бэкона, в неявной форме он, несомненно, существовал намного раньше. Знаменитое заявление Маркса о том, что он ставит перед собой задачу не только понять мир, но и изменить его, относится и к тысячам изобретателей, механиков и инженеров, строивших в средневековой Европе ветряные мельницы, часы и трехмачтовые корабли. Этот прагматизм проявлялся не только в сфере экономики. Как мы видели, точно в таком же духе европейцы осуществляли и свою географическую экспансию. В торговле, войне и политике функциональному нередко отдавалось предпочтение перед эстетичным или нравственным, а когда этого не происходило, полезное брало верх в долгосрочном плане благодаря естественному отбору. Вряд ли необходимо подчеркивать,

нена ни современниками, ни историками (Trescott, 1979). Гриффитс (Griffiths, 1985) утверждает, что мужчины доминировали в техническом прогрессе со времен промышленной революции, но очевидно, что это явление зародилось раньше современной промышленности и капитализма. Впрочем, вполне вероятно, что преобладание мужчин-изобретателей стало в XIX в. более заметным.

что подобный прагматизм в той или иной мере встречается в любом обществе. Иерархии ценностей не бывают абсолютными. Однако относительное различие между европейским и большинством неевропейских обществ оказалось решающим.

Презрительное отношение к физическому труду, торговле и прочим видам экономической активности исчезло не сразу; значительную часть европейской социальной истории можно интерпретировать как борьбу между богатством и другими ценностями за более высокое место в иерархии. Такие французские понятия, как *bourgeois gentilhomme* и *nouveau riche*, содержат в себе известное презрение к людям, попавшим в верхние слои общества благодаря своим экономическим успехам. Даже в XIX в. накопление богатства рассматривалось как пропуск к социальной респектабельности, который следовало выбросить сразу же после получения гарантированного членства в высших классах.

Институты и права собственности

Институциональный фон технического прогресса на первый взгляд не должен вызывать особых вопросов. Розенберг и Бердзелл (Rosenberg and Birdzell, 1986) объявляют институциональные изменения ключевым фактором. Они указывают, что технические изменения будут эффективными и устойчивыми лишь в том случае, если государство откажется от непосредственного контроля над инновационным процессом и позаботится о его децентрализации. Это создает важное, хотя и недостаточное условие технических изменений: возможность обогатиться за счет удачной инновации. Но, как указывают эти авторы, не менее важную роль играет децентрализация, так как она означает, что поиски и эксперименты будут проводиться множеством независимых единиц, причем, возможно, снова и снова. Такое умножение усилий является не самым экономным спо-

собом осуществления технического прогресса. По сути, оно очень расточительно. Документально известно множество случаев ненужного удвоения усилий, не считая даже огромного числа исследований, оказавшихся бесплодными. Но эта система сводит к минимуму шанс упустить ту или иную техническую возможность, так как «она снижала риск того, что полезное предложение будет отвергнуто по причине негативного отношения конкретного ответственного лица» (Rosenberg and Birdzell, 1986, p. 29). Нельсон (Nelson, 1987, p. 9) добавляет к этому, что плюралистическая система порождает большее разнообразие новых отправных точек и позволяет *ex post* отделить зерна от плевел. Технический прогресс проходит в условиях не только неопределенности, но и *ex ante* различия во мнениях. Пусть существует много способов ощипать курицу, но лишь один из них будет самым эффективным. Нельсон указывает, что отбор и эксперименты *ex post* являются дорогостоящими и болезненными, но «с учетом природы технической неопределенности, возможно, они представляют собой оптимальный вариант» (Nelson, 1987, p. 120).

Другим условием, которое позволяет новаторам нажиться за счет технического прогресса, является определение прав собственности на новые технологии. Здесь мы сталкиваемся с двумя отдельными вопросами. Первый из них — это проблема прав собственности вообще. По-видимому, считается общепризнанным, что экономический прогресс маловероятен в том случае, если собственность на те или иные активы не гарантирована, то есть их без труда могут конфисковать или украсть власти или бандиты. Люди будут держать свои активы в непроизводительном, ликвидном виде, и накопление производственного капитала замедлится. Ландес (Landes, 1969, ch. 1), Джонс (Jones, 1981) и Норт (North, 1981) указывают на ситуацию с безопасностью как на ключевой фактор европейского развития. Второй вопрос — это необходимость обеспечить серьезные стимулы для того, чтобы новаторы делали инвестиции в новые тех-

нологии. Патенты, монополии, гранты, пенсии, премии и медали становились для новаторов наградами, которые считались необходимыми для сохранения высокого уровня изобретательской активности. Однако патентные системы начали появляться лишь в XV в. и прочно встали на ноги только к концу XVIII в. Кроме того, как мы увидим, патентная система оказалась для изобретателей обоюдоострым мечом.

Пусть патентная система стимулировала изобретения, но она явно не являлась необходимым фактором. В конце концов многим изобретателям удавалось в достаточной мере нажиться на возросшей ренте потребителя для того, чтобы их усилия окупились, — даже если их изобретения вскоре воспроизводились подражателями. Кроме того, подражания могли быть затруднены по различным причинам, вследствие чего изобретатель становился держателем «естественного патента», ставившегося источником ренты, которая гарантировала новатору определенный доход, хотя тот мог представлять лишь небольшую долю социальной прибыли, созданной изобретением. В отдельных случаях можно определенно сказать, что финансовые стимулы не играли принципиальной роли для новатора, чья функция полезности могла включать славу, удовлетворение, принесенное решением сложной проблемы, или даже альтруизм²⁰. Впрочем, подобные случаи нетипичны;

20. Классическим примером служит изобретение безопасной шахтерской лампы Хэмфри Дэви в 1815 г. Дэви, который был довольно эксцентричной личностью, отказался брать патент на свое изобретение, утверждая, что сделал его исключительно *pro bono publico*. Однако он ревностно отстаивал свой приоритет в разработке лампы, за которую получил титул баронета. Другой пример — хлорное отбеливание, изобретенное Клодом Бертолле, который не выражал ни малейшего интереса к коммерческой эксплуатации своей идеи и добровольно делился полезной технической информацией с такими бизнесменами, как Мэтью Болтон (Musson and Robinson, 1969, p. 266 и далее). Гейл Борден якобы заинтересовался вопросами консервирования пищи, когда в 1851 г. возвращался с английской Всемирной выставки

вероятно, мотив прибыли играл в изобретательстве такую же важную роль, как и в любой другой экономической активности, то есть присутствовал почти всегда, хотя обычно не действовал исключительно сам по себе. Поэтому вполне вероятно, что общества, поощрявшие изобретателей наградами, получали больше изобретений, но при этом вознаграждать новаторов, чья работа обеспечивала значительный рост производительности, можно было по-разному.

Сопротивление инновациям

Другой набор социальных факторов, влияющих на технические изменения, было бы уместно назвать политической экономией технических изменений. Хотя технический прогресс по определению повышает экономическое благосостояние, в обществе почти всегда найдутся группы, чье благосостояние снизилось из-за прогресса, или которые, по крайней мере *ex ante*, полагают, что оно снизится. Технические изменения сотрясают рынок труда, сопровождаются изменениями физической среды обитания, приводят к устареванию существующего гуманитарного и физического капитала и однозначно снижают излишек производителя, достаемый конкурентам новатора. В повторяющейся игре победители, возможно, пытались бы компенсировать проигравшим убытки. Однако технические изменения по самой своей природе — неповторяющаяся игра, поскольку изобретение можно сделать лишь один раз. После того как оно сделано, изобретатель нередко нуждается в защите от тех, кто выигрывает от запрета изобретения. Эта дилемма обычно усугубляется тем фактом, что прибыль, как правило, носит сильно размытый характер, в то время как издержки, напротив, сконцентрированы. Соответственно, проиграв-

и видел, как страдали дети, плывшие на корабле, после того как взятые на борт коровы заболели и перестали давать молоко.

шим проще организовать, и вполне вероятно, что они попытаются совершенно остановить технический прогресс. Сопrotивление техническим изменениям происходило во многих местах и во многие эпохи, но, кажется, практически не привлекало к себе внимания историков, хотя Морисон (Morison, 1966, p. 10) считает его «важнейшим и наиболее интересным аспектом всего [изобретательского] процесса».

Приведем несколько примеров: еще в 1397 г. кельнским портным было запрещено использовать машины для штамповки булавочных головок. В 1561 г. городской совет Нюрнберга — несомненно, под влиянием гильдии токарей — обрушился с преследованиями на местного медника Ганса Шпейхля, сконструировавшего усовершенствованный токарный станок с суппортом. Совет сперва вознаградил Шпейхля за его изобретение, затем начал ему угрожать и вырвал у него обещание не продавать станок никому, кроме его коллег по гильдии, потом сделал предложение купить станок, если Шпейхль откажется от его распространения, и, наконец, пригрозил тюрьмой каждому, кто станет продавать станок Шпейхля (Klemm, 1964, p. 153). Лентоткацкий станок был изобретен в Данциге в 1579 г., но его изобретателя якобы втайне утопили по приказу городского совета. Двадцать пять лет спустя лентоткацкий станок заново изобрели в Нидерландах — несмотря на то что ему и там оказывалось жесткое противодействие, — и потому он получил известность как «голландский станок». Полтора века спустя Джон Кей, изобретатель «челнока-самолета», подвергся преследованиям со стороны ткачей. В конце концов он перебрался во Францию, где не показывал свое изобретение ткачам из страха перед их реакцией²¹. Однако продолжительная оппози-

21. Широко известная история о том, что Кей был вынужден покинуть Англию, потому что недовольные ткачи грозили ему смертью, скорее всего, является апокрифом (Wadsworth and Mann, 1931, p. 456).

ция «челноку-самолету» со стороны заинтересованных группировок в Британии оказалась неэффективной. Сопротивление новой технике традиционно было самым сильным в текстильной отрасли, но проявлялось и в неожиданных сферах. В 1299 г. во Флоренции был издан эдикт, запрещающий банкирам пользоваться арабскими цифрами (Stern, 1937, p. 48). В XV в. парижская гильдия писцов сумела на 20 лет отсрочить появление в Париже печатного станка. В XVI в. одним из поводов к великому бунту французских печатников стали инновации в печатном деле, направленные на экономию труда.

Эту негативную реакцию на технический прогресс можно истолковать только как попытки лиц, инвестировавших силы и средства в определенные технологии, не допустить снижения ценности своих навыков. Наиболее высокими шансами на технологический успех обладают те экономисты, чьи институты защищают изобретателей от подобных угроз или в которых относительно слабы распределительные коалиции, защищающие эгоистичные интересы мелких групп за счет большинства. Изобретатели или производители, рассматривающие инновации как неблагодарное и даже опасное занятие, потеряют к ним интерес, и технический прогресс остановится.

Политика и государство

Трудно определить, какая политическая структура в наибольшей степени благоприятствует техническому прогрессу. Сильная централизованная власть, положение которой достаточно прочно для того, чтобы справиться с бунтами и противостоять политическому давлению со стороны коалиций, представляющих проигравших, вероятно, будет в состоянии выдержать и давление со стороны технического статус-кво. Однако в равной степени вероятно и то, что слабое правительство, поддавшееся требованиям о законодательном за-

прете технического прогресса, не сумеет провести эти законы в жизнь, и соответственно, по умолчанию предоставит вынесение решения рыночным силам. Эту дилемму признавал Норт (North, 1984, p. 260), когда писал: «если вы хотите реализовать потенциал современной техники, то не сможете сделать этого при содействии государства, хотя и без его участия вам тоже не обойтись». На первый взгляд, обязательным условием для технического прогресса может показаться политическая стабильность. Однако Ольсон (Olson, 1982) отмечает, что крупномасштабные политические изменения готовят почву для экономического прогресса, ликвидируя реакционные институты, используемые заинтересованными группами давления для сохранения статус-кво, притом что длительная политическая стабильность способствует кристаллизации таких групп. Соответственно, монополистические рыночные структуры среди инновационных фирм (стимулом для которых будет служить отлаженная патентная система) получают в этом отношении преимущество. Чем сильнее монополизирована та или иная отрасль, тем большей будет доля социальных выгод, полученных производителями за счет потребителей, благодаря чему ответом на лоббирование вполне может стать успешное контрлоббирование. С другой стороны, в отрасли с большим числом конкурентов выгоды от инноваций достаются потребителям в виде снижения цен и, таким образом, носят рассеянный характер.

Помимо защиты новых технологий от их жертв, государство играет ключевую роль в процессе технических изменений. Неоднозначность этой роли неизбежна, поскольку «государство» всегда состоит из обладающих властью слоев, обычно неспособных координировать свои усилия и нередко находящихся в конфликте друг с другом. Центральное правительство может иметь иные интересы и занимать иную позицию по сравнению с местными властями. На ту форму, которую принимают используемые технологии, нередко оказывают зна-

чительное влияние такие неправительственные организации, как гильдии, профсоюзы и торговые палаты. Результаты сознательной политики не всегда бывают такими, на какие рассчитывали ее творцы. Например, некоторые правительства, стремясь стимулировать технический прогресс, в реальности лишь вредили ему, вводя тарифы, защищавшие местных производителей. Однако в большинстве случаев децентрализованная власть, по-видимому, более благоприятна для технического прогресса.

Таким образом, в целом представляется, что чем слабее правительство, тем лучше для инноваций. За некоторыми заметными исключениями правители-самодержцы обычно выказывали враждебность или безразличие к техническим изменениям. Инстинктивная потребность в стабильности и опасливое отношение к нонконформизму и потрясениям обычно брали верх над возможными выгодами, которые мог принести технический прогресс²². Так, и династия Мин в Китае (1368–1644), и режим Токугавы в Японии (1600–1867) диктовали своим обществам замкнутость и консерватизм. Лишь в тех случаях, когда сильное правительство осознавало, что техническая отсталость сама по себе представляет угрозу для режима — так было в России при Петре I, в Японии после 1867 г. и, в меньшей степени, в наполеоновской Франции — оно решалось на прямое вмешательство в поддержку технических изменений. Когда же пра-

22. Финли (Finley, 1973, p. 75, 147) приводит две истории о римских императорах, которым предложили важные изобретения. Первый изобретатель, возможно не существовавший в реальности, создал небьющееся стекло и преподнес его жестокому императору Тиберию, который, убедившись, что секрет изобретения больше никому не известен, приказал казнить его создателя. Больше повезло изобретателю, который пришел к мудрому императору Веспасиану с новым устройством для транспортировки тяжелых колонн. Император наградил изобретателя, но не стал пользоваться его устройством, сказав: «Как же я буду кормить свое население?».

вители слабы, они обычно не в силах затормозить технический прогресс, при всем их стремлении к этому. Как мы увидим, ослабление центральной власти в Европе после краха Римской империи, возможно, помогает объяснить возобновление технического прогресса после 500 г.

Другая причина, по которой политика играет важную роль, состоит в том, что технические изменения славятся своей уязвимостью к провалам рынка, то есть свободно-рыночная система сама по себе едва ли обеспечит желательный уровень инноваций. Это является результатом того, что новые технические знания находятся в общественной собственности: существующими знаниями может воспользоваться каждый без ущерба для всех остальных, и потому использование знаний влечет за собой нулевые предельные социальные издержки. Соответственно, в том, что касается новой техники, общество оказывается вынуждено дополнять обычные рыночные механизмы другими институтами. В прошлом государства пытались компенсировать многочисленные провалы рынка технических знаний, организуя выставки, выдавая монополии и другие награды за конкретные изобретения, а также субсидируя потенциальных изобретателей пенсиями и синекурами на государственной службе. Уже ближе к нашим временам власти начали сами создавать образовательное и исследовательское окружение, требовавшееся, по их мнению, для осуществления технических изменений. Государства следили за соблюдением правил, по которым велась инновационная игра, а нередко и устанавливали их сами.

Кроме того, политика важна еще и потому, что правящие элиты — будь то императоры, верховные жрецы, парламенты или регентские советы — задают иерархию приоритетов. Если эти приоритеты отвлекают слишком много ресурсов — и в частности, талант и креативность — на достижение непродуктивных или деструктивных целей, то это может повредить состоянию экономики и инновациям. Так, полоса опустошительных войн в 1550–1650 гг. разрушила техническую инфраструктуру самых

развитых регионов Европы, в первую очередь Южной Германии, Южных Нидерландов и Богемии. Более того, политические факторы определяют, будут ли инициатива и изобретательность использоваться в производительных или в непроизводительных целях: в этом процессе нет ничего автоматического. Экономисты в последнее время подчеркивают вред ориентации на «поиск ренты», когда налоговый юрист и политический лоббист сменяют изобретателя и инженера в качестве главных орудий предпринимателя, стремящегося к высоким прибылям. Политическое маневрирование — в лучшем случае игра с нулевой суммой, в то время как технические изменения — игра с положительной суммой. Именно политическая сфера диктует ту игру, которая привлекает лучших игроков (Baumol, 1988). Недавно именно с этой точки зрения был объяснен упадок Рима (MacMullen, 1988). Коррупция и продажность вели к снижению эффективности общественных благ, предоставлявшихся властями (в первую очередь обороны), и отвлекали энергию и талант от достижения более продуктивных целей.

Наконец, государство задает тональность всеобщего отношения к нонконформистам. Изобретатели — по большому счету люди, не признающие условностей и некоторым образом восстающие против статус-кво. Морисон (Morison, 1966, p. 9) вообще утверждает, что изобретение — это в известном смысле враждебный акт, низвержение существующих правил, потрясение удобного буржуазного распорядка. Технический прогресс в первую очередь требует терпимости к незнакомому и эксцентричному (Goldstone, 1987). Как выразился Чиполла (Cipolla, 1972, p. 52), стороны характера, делающие людей терпимыми, также повышают их восприимчивость к новым идеям. Факторы, определяющие уровень терпимости к отклонениям в любом обществе, изучены слабо. Перссон (Persson, 1988, p. 57) полагает, что ключевой переменной здесь является размер экономики. В мелких экономиках потенциально вредные действия индивидов имеют относительно большее зна-

чение. Согласно этой логике Россия и Испания должны были быть намного более толерантными, чем Соединенные Провинции (Нидерланды) и Дания, а наибольшей толерантностью должен был отличаться Китай. Это очевидное историческое противоречие хорошо иллюстрирует принципиальную проблему данного аргумента: неясно, что именно считать «размером». Был ли амстердамский купец в 1560 г. представителем амстердамского общества, провинции Голландия или Испанской империи? Общества, как и политическая жизнь, состоят из частично перекрывающихся единиц, и одного лишь того факта, что данный человек, допустим, француз или поляк, недостаточно для того, чтобы сказать, живет ли он в толерантном обществе или нет. Также важно то, живет ли он в городе или в деревне, из какого социального класса он происходит и насколько ревностен епископ его епархии. Вследствие всего этого идея Перссона о размере общества как о факторе, определяющем его терпимость, ничем нам не поможет.

Архиврагом терпимости и плюрализма является конформизм. Склонность индивидов к тому, чтобы соблюдать социальные нормы и принуждать к их соблюдению других, глубоко коренится в индивидуалистическом поведении. Экономисты в недавних работах пытались примирить ее с рациональным (то есть максимизирующим полезность) поведением (Stephen Jones, 1984). Конформизм можно объяснить двумя способами. Первый состоит в том, что имитация прежних практик является эффективным способом обучения. Второй сводится к тому, что соблюдение существующих норм важно для того, чтобы тебя приняли в существующем обществе. Любые общества в той или иной степени неодобрительно относятся к своим молодым членам, которые не придерживаются существующих практик. Тем не менее некоторые индивиды оспаривают признанные традиции, и на этом этапе отношение общества к бунтарям и вольнодумцам становится решающим фактором. Чем более враждебно это отношение, тем выше вероятность того, что кон-

формистские настроения возобладают и новые поколения окажутся точно такими же, как старые, следствием чего станет технический застой. Такие хорошо известные явления, как традиции и социальная инерция, становятся понятными, если допустить, что конформизм — составная часть людского поведения. Естественный отбор с большой вероятностью будет благоприятствовать конформистам, поскольку те виды, чьи молодые представители не придерживаются устоявшихся методов добычи пищи, не смогут выжить. Однако именно такой конформизм мы должны преодолевать, если стремимся к техническому прогрессу. Подобный результат легко продемонстрировать, используя модель Стивена Джонса, поскольку в этой модели (сформулированной в контексте рабочего места, но вполне применимой и в случае технических изменений), полезность индивида зависит от его способности добиться расположения других работников и быть принятым ими, которая диктуется уровнем неодобрения новизны. Факторы, определяющие этот уровень, не вполне ясны. Впрочем, очевидно, что неодобрение нонконформизма всегда было характерно для человечества. Один специалист по истории техники (Сайрил С. Смит, цит. по: White, 1984, p. 27) сетовал на то, что «каждое изобретение появляется на свет в неподходящем обществе, имеет мало друзей и много врагов, и в результате выживают лишь самые упорные и удачливые». Всякий раз, как по Европе распространялись религии и интеллектуальная нетерпимость — что происходило, например, в XIV в., — это совпадало с временным замедлением технического развития.

Война

При изучении вопроса о связях между государством и техникой особый интерес представляет эффект перелива из военных в гражданские технологии. Для войн было всегда характерно широкое использование техни-

ки, и соответствующая концентрация усилий, диктуемая высокими ставками, заставляет предположить наличие положительной корреляции между интенсивностью военных мероприятий и техническими успехами²³. Неоднократно утверждалось, что военные потребности стимулируют и вдохновляют технические изменения. Но действительно ли военно-технические инновации настолько способствуют производству мирных товаров и услуг, что войну можно считать двигателем технического прогресса, выяснить непросто. Некоторые эффекты перелива, конечно, бесспорны. Бессемеровский конвертер стал итогом работ, направленных на повышение эффективности снарядов. Сверлильный станок Уилкинсона, без которого Уатт и Болтон не могли бы строить свои паровые машины, предназначался для изготовления орудийных стволов²⁴. Ранние доменные печи XV и XVI в. также строились отчасти с целью производства пушек. Изобретение огнестрельного оружия повлекло за собой значительные эффекты перелива в металлообработке, такие как появление циркулярных пил для металла, калибров, металлических винтов и т. д. (Foley, 1983). Также документально известно, что разработанная в XIX в. система взаимозаменяемых деталей и массового производства возникла в военной сфере и первоначально называлась «оружейной практикой». Тем не менее военная среда едва ли являлась окружением, терпимым к технологической креативности. В своей недавней книге о военной технике Вэн Крефельд (Crefeld, 1989, p. 220) указывает на то, что, с одной стороны, воен-

23. Впервые эта идея фигурировала в знаменитом труде Зомбарта «Война и капитализм». Недавние высказывания в том же духе см. в: McNeill (1982) и Guilmartin (1988).

24. Изобретателями сверлильного станка были швейцарские пушечные мастера отец и сын Жан Маритц-старший и Жан Маритц-младший, работавшие на французское правительство. Маритц-младший усовершенствовал станок в 1750-е гг. (McNeill, 1982, p. 167).

ной иерархии и армейскому образу мысли не были свойственны гибкость и терпимость к новаторам, вследствие чего «армия представляет собой окружение, исключительно неблагоприятное для... изобретений». С другой стороны, военные обладали широкими возможностями для исследований, конструкторских работ и внедрения некоторых идей, не вызвавших интереса у гражданского сектора. Однако Крефельд приводит примеры исключительно из истории XX в. Ранее же потребности военной техники, по-видимому, слабо пересекались с нуждами гражданского производства. Инновации в баллистике, техника фортификаций, порох и военные средства связи не внесли серьезного вклада в экономическое благосостояние. Даже в кораблестроении возростающая после 1500 г. специализация купеческих судов и боевых кораблей означала незначительность эффектов перелива.

В любом случае к утверждениям о наличии положительной корреляции между воинственностью общества и его изобретательностью следует относиться с серьезным скептицизмом. Чудесные военные машины римлян, их катапульты и баллисты не повлекли за собой никаких заметных достижений в производственных технологиях. Средневековая металлообработка, чьей основной продукцией являлись оружие и доспехи, не претерпела заметных изменений: сварка и ковка почти не испытали на себе благодетельных последствий обучения в процессе работы. Приемы, использовавшиеся при литье железных пушек, могли быть освоены при литье сковородок и решеток для очагов. Несмотря на свою первоначальную революционность с технической точки зрения, производство огнестрельного оружия не имело почти никакого значения для мирной жизни, за исключением охоты, и машиностроение в большей степени выросло из часовой и приборостроительной отрасли, нежели из оружейной. Использование взрывчатки в гражданской сфере было ограниченным; лишь после 1627 г. порох начали применять на рудниках в Словакии, а позже с его помощью прокладывали

первый туннель на строительстве Лангедокского канала, завершившемся в 1681 г. (Hollister-Short, 1985). Однако широкомасштабное использование взрывчатки в мирных целях началось лишь после изобретения динамита. В Китае порох также редко применялся в горном деле (Golas, 1982). А надежда Гюйгенса на порох как на топливо для двигателей внутреннего сгорания, как мы видели, не оправдалась.

Вообще, удивительно, как мало нам известно случаев создания в военной сфере положительных экстерналий для гражданского производства, с учетом имевшихся для этого очевидных возможностей. Огромных армий Людовика XIV, которым требовались мундиры, одеяла, оружие, боеприпасы и продовольствие, вполне хватило бы для того, чтобы во Франции началась промышленная революция. Однако фабрики Кольбера оказались тупиком. Несмотря на воинственность, проявленную за столетие до промышленной революции такими нациями, как Швеция при Карле XI, Франция при Людовике XIV и Пруссия при Фридрихе Великом, дорогостоящие войны, проводившиеся их властителями, ни одной из них не принесли заметных результатов в плане технологий. Самой промышленной революции скорее мешали, чем способствовали шедшие тогда войны. Портсмутские машины Брюнеля были слишком специализированными для их использования в других сферах, помимо строительства боевых кораблей, а большинство прочих положительных технологических экстерналий времен наполеоновских войн либо оспариваются, либо оказались незначительными (Мокуг, 1985, р. 15). Полезное влияние военного опыта сложно найти даже в сфере организации и насаждения дисциплины, в которой военные командиры на столетия предвосхитили потребности современной промышленности. Принц Мориц Нассауский и Фридрих Великий довели военную муштру до совершенства, но лишь после 1800 г. была создана дисциплинированная фабричная рабочая сила — без сколько-нибудь заметной оглядки на во-

енный опыт²⁵. Во время Революции и наполеоновских войн французской металлургической отрасли приходилось удовлетворять обширные потребности страны в железе, однако недавние исследования подтверждают, что внедрение новых металлургических технологий во Франции в этот период замедлилось (Woronoff, 1984). Также и гражданская война в США почти не привела к заметным переливам в гражданские технологии. Невзирая на то что Мамфорд называл войну «движущей силой механизации», ее технологические плоды до 1914 г. были скромными. Более того, оценивая чистый результат влияния войны на технические изменения, мы должны принимать во внимание и ее издержки, вследствие чего общий баланс, несомненно, выйдет отрицательным. Не вижу причин для пересмотра вывода, к которому пришел в своей классической работе Неф (Nef, 1950, особ. р. 220–221), утверждавший, что мир, а не война, представлял собой новаторскую силу в промышленности и что войны и военные приготовления не привели к заметному росту материального процветания в Европе.

Мнение о том, что война могла приносить технологические побочные результаты и потому в некотором смысле была полезна для экономики, представляет собой до курьеза евроцентричную идею. Для большей части мира войны являлись откровенным бедствием. Большая часть евразийского материка в 1200–1800 гг. неоднократно захватывалась и опустошалась монголами или родственными им азиатскими народами (Jones,

25. Два важных французских изобретения, сделанных во время французской революции и незадолго до нее — семафорный телеграф и монгольфьер — обладали важным военным потенциалом. Однако Наполеон не выказал никакого интереса к воздухоплаванию, а Клод Шапп, изобретатель семафорного телеграфа, не получил от армии содействия и в конце концов был спасен от банкротства организаторами французской национальной лотереи, использовавшими его систему для того, чтобы оповещать о выигрышных номерах провинцию.

1988, р. 108–115). Военные практики этих народов были столь пагубными для гуманитарного и физического капитала, что на них возлагают вину за хроническую отсталость Ближнего Востока и Восточной Азии. Индия, Персия и Месопотамия пали жертвами орд Тамерлана. Некоторые регионы десятилетиями или даже столетиями не могли оправиться от самых опустошительных войн. Лишь те части Евразии, которые не были затронуты монгольскими завоеваниями — Япония и Западная Европа — оказались способны на устойчивый технический прогресс. Как указывает Джонс, негативное воздействие этих войн вполне может быть сильно переоценено и причиненный ими ущерб был недостаточным для того, чтобы только им объяснить разрыв между Европой и Азией: некоторые регионы, лишь слегка затронутые монгольскими нашествиями, тоже не преуспели в создании новых технологий. Возрождение в некоторых случаях могло занимать десятилетия, но если на него требовались столетия, можно заподозрить, что свою роль сыграли и другие факторы.

Хотя военные потребности иногда играли, по терминологии Розенберга, роль «фокусирующих устройств», оружейники гораздо чаще заимствовали гражданские технологии, нежели способствовали их развитию²⁶. В целом и военные, и гражданские технологии обычно питались из одних и тех же источников технологической креативности. Общества, проявлявшие креативность при изготовлении часов, плугов и очков, также преуспели в создании камнеметов, пушек и боевых кораблей. Историческая корреляция между успехами в производстве пушек и масла не доказывает, что чем больше у страны пушек или чем они лучше, тем больше и масла, или наоборот; вполне возможно, что дело

26. Литье бронзовых пушек, в течение долгого времени остававшееся главным способом изготовления орудий, непосредственно опиралось на технологии литья колоколов, разработанные в раннем Средневековье (Tylecote, 1976, р. 73).

в общем росте производственных возможностей, позволяющих обществу производить больше и того, и другого. В конце концов, именно к этому и сводится технический прогресс.

Открытость для новой информации

За природой государства скрывается более сложный фактор, который в отсутствие более подходящего термина можно назвать открытостью для новой информации. В тех случаях, когда две прежде не связанные друг с другом цивилизации вступают в контакт, обмен технической информацией в потенциале может оказаться экономически выгодным для них обеих. Не все общества были способны в полной мере воспользоваться этим «эффектом знакомства». История человечества изобилует примерами обществ, относившихся к чужакам с крайним пренебрежением и презиравших тех, кто по-иному выглядел, говорил на другом языке или верил в другого Бога. Древние греки и средневековые китайцы разделяли отвращение к «варварам», у которых, по их мнению, им было нечему учиться. Вероятно, средневековая Европа ощущала такую же враждебность к исламу, однако ненависть к сарацинам не распространялась на их знания и на полезные устройства, изобретенные мусульманами. Так, Европа переняла у тех много изобретений — от латинского паруса до арабских цифр²⁷. В XVII и XVIII вв., когда

27. Такие средневековые правители, как император Фридрих II, король Альфонсо X (Мудрый) Испанский и король Роджер II Сицилийский, приглашали к своим дворам инженеров-мусульман и приказывали переводить их работы. Показательным примером, иллюстрирующим различия между Западом и Ближним Востоком, служит судьба трудов великого персидского врача и ученого X в. Ар-Рази (Разеса), составившего огромный учебник по медицине, по словам Уайта (White, 1968, p. 98), представляющий собой «возможно, самую объемистую книгу, когда-либо написанную медиком». Переведенная в 1279 г. на латынь

Запад обогнал исламский мир в сфере технологий, мусульмане не захотели ответить Европе тем же. Несмотря на ее географическое соседство, мусульмане перенимали европейские инновации очень медленно и выборочно. Первая книга, напечатанная арабским шрифтом, появилась в Стамбуле в 1729 г., почти через три века после изобретения разборного шрифта. Коран не печатали вплоть до XX в., что составляет резкий контраст со знаменитыми библиями Гутенберга. Военные поражения открыли Османской империи глаза на необходимость технического паритета с Западом, но вследствие отсталости османской экономики военных инструкторов пришлось выписывать с Запада, что возмущало местных влиятельных лиц. Как указывает Льюис (Lewis, 1982), исламский мир питал глубокое невежество в отношении Запада, в противоположность живому интересу западной культуры к исламской цивилизации²⁸. Приписывавшееся пророку Мухаммеду изречение «подражая другим людям, ты становишься одним из них» толковалось в Османской империи как запрет на использование западной техники.

Число изобретений, предположительно позаимствованных Европой у других культур, особенно у Китая, очень велико. Европейцы ценили полезные знания вне зависимости от их источника; азиатские культуры, за исключением Японии в XIX в. — нет. В раннем Средневековье Европа перенимала технологии у других культур так же, как сейчас слаборазвитые страны подражают индустриальному миру. После 1500 г., как отмечает Пэйси (Pacey, 1975, p. 189), «эффект знакомства» проявлялся главным образом в том, что европейцы получали пред-

под названием *Liber Continens*, она в течение многих поколений оставалась фундаментальным справочником западных врачей. Однако она не дошла до нас ни в одной арабской копии и через несколько веков была практически забыта в исламском мире.

28. Первая кафедра арабистики в Кембриджском университете была учреждена в 1633 г. После 1650 г. исламские мотивы играли важную роль в литературе, искусстве и музыке по всей Европе.

ставление о технологических возможностях, до которых сами просто не додумались. Подвесные железные мосты, сеялки, фарфор — вот примеры восточных идей, перенятых европейцами и впоследствии усовершенствованных ими. Европейцы без всякого стыда заимствовали иностранные технологии, о чем свидетельствует множество предметов и процессов, названных по имени их предполагаемой родины. Так, европейцы производят сатин, дамаст и муслин, варят кофе в турках, пользуются арабскими цифрами, разводят индеек, плавают под латинскими парусами. Попытки оградить страну от иностранных влияний, предпринимавшиеся, например, в Японии и в исламском мире, никогда бы не достигли успеха в Европе, даже если бы пришли кому-нибудь в голову.

Как выразился Ландес (Landes, 1969, p. 28), «из хороших новаторов получаются хорошие имитаторы». Но в конечном счете и хорошие новаторы, и хорошие имитаторы являются порождением общества, придающего большое значение материальным и практическим ценностям. Если что-то работает, то неважно, откуда это происходит. Когда европейцы познакомились с новой информацией, их чувство удивления, так сказать, быстро сменялось размышлениями о том, как использовать эти новые знания. «Открытие» мира после 1450 г. совершалось главным образом с целью разбогатеть — либо непосредственно, либо с помощью новой информации, позволявшей производить товары, приносящие прибыль. Золото, серебро, пряности, сахар, чай и меха непосредственно ввозились в Европу; картофель, табак и кукуруза были здесь успешно внедрены. Критерий всегда был один и тот же: будет ли от этого какая-либо польза? Обогатит ли это меня (или моего короля)? «Типичным европейцем» в этом плане был великий Лейбниц, призывавший иезуита, отправлявшегося в Китай, «больше беспокоиться не о том, чтобы привезти китайцам европейские вещи, а о том, чтобы добыть для нас примечательные китайские изобретения — в противном случае китайская миссия не принесет большой пользы»

(цит. по: Gray, 1984, p. 569). Ньютон писал, что ни гордостью, ни честью нельзя оправдать отказ от принципа, согласно которому самое важное — «не учить, а учиться» (Landes, 1969, p. 33). Это отношение к новооткрытым странам радикально отличалось от подхода китайцев, которые изучили многие моря и земли за несколько десятилетий до того, как всерьез начались европейские исследования. Для китайцев целью этих дальних путешествий было продемонстрировать богатство и величие Китая варварам, получавшим от них щедрые дары: похвальная, но в конечном счете запредельно дорогостоящая политика. Неудивительно, что китайцы отказались от исследований, а европейцы их продолжили.

Не менее важно и то, что европейцы были готовы учиться друг у друга. Такие изобретения, как прялка, ветряная мельница, часы-ходики, не признавали границ. Печатный станок был не более немецким изобретением, чем телескоп — голландским, а вязальная рама — английским. Европейские судостроители нередко совершали плавания с целью ознакомиться с типами кораблей, строившихся в других местах (Unger, 1980, p. 23). Начиная с XIV в. сыновья североевропейских купцов отправлялись в Италию для изучения *arta della mercadanta*, включая коммерческую арифметику и счетоводство (Swetz, 1987, p. 12). Невзирая на серьезные препятствия, с которыми сталкивалась дальняя связь, технические «новости» быстро распространялись по Европе — хотя, как мы видели, это не относилось к сельскому хозяйству. Технологически креативные общества начинали с заимствований и, как правило, вскоре сами превращались в создателей и экспортеров технологий. В XVII в. Англия считалась отсталым обществом, зависевшим от зарубежных инженеров и знатоков текстильного производства; к XIX в. ситуация изменилась на противоположную. В таком же положении находится современная Восточная Азия.

Общества также различаются своей готовностью оспаривать знания, накопленные прежними поколения-

ми, и своей терпимостью к «еретикам», осмелившимися на это. Некоторые общества, особенно ислам и иудаизм, в конце концов пришли к идее о том, что древние мудрецы уже открыли все, что только можно, и что сомневаться в этих знаниях святотатственно. Как утверждает Льюис (Lewis, 1982, p. 229–230), в исламской традиции со временем сложилось мнение о том, что все полезные знания уже получены и на все вопросы даны ответы, вследствие чего на долю следующих поколений осталось только обучение и подчинение. С позднего Средневековья «исламская наука сводилась почти исключительно к компиляциям и повторам». Комплекс неполноценности по отношению к прежним поколениям становился преградой к поиску новых знаний²⁹. Льюис указывает на то, что в исламской традиции термин *bidaa* (новшество) приобрел такую же негативную коннотацию, как и слово «ересь» на Западе. Особенно нетерпимая форма *bidaa* — подражание неверным; в виде исключения разрешается лишь заимствование техники, используемой в священных войнах. Не вполне ясно, в какой мере такой консерватизм несет ответственность за замедление технического прогресса. Вполне возможно, что и научный, и технический прогресс наткнулись на барьер консерватизма, корни которого находятся вне религии, и этот барьер укреплялся реакционными религиозными элементами. В конце концов, в первые века своего существования исламский мир отличался любопытством и почти маниакальным стремлением учиться у других цивилизаций — в том числе и техническим знаниям. Более того, новые идеи могли насаждаться под видом толкования священных текстов.

Другой подход к этой проблеме сформулировал Эйрес (Ayres, [1944] 1962), который проводил различие

29. Знаменитое изречение еврейских хазаль (древних мудрецов) гласит: «если те, кто предшествовал нам, были подобны ангелам, то мы лишь люди; если те, кто предшествовал нам, были подобны людям, то мы лишь ослы».

между динамичными силами техники и консервативными силами церемонии и ритуала. Две эти силы диалектическим образом противостоят друг другу, и для технологической креативности требуется наличие правильной пропорции между знаниями, накопленными прошлыми поколениями, и способностью избавиться от удушающего бремени прежних институтов. Эйрес предполагал, что эта пропорция существовала в таких «пограничных» обществах, как средневековая Европа или США XIX в.

Помимо фундаментальных воззрений общества, важна также возможность обмениваться идеями и опытом. Так же, как в исламском мире и в Китае, в Европе всегда существовала своя *lingua franca* — сперва латынь, затем французский. Однако, помимо языка, торговли и путей сообщения, создающих возможность для распространения информации (в виде писем и изданных книг), имелись также общие стандарты верифицируемости и применимости, опиравшиеся на общее эпистемологическое наследие. Необходима определенная общепризнанная методология, делающая результаты, полученные одним ученым или инженером, приемлемыми для всех прочих, которым не придется все повторять самим. Научный мир ренессансной Европы имел подлинно космополитический характер и, как мы видели, многие технические успехи промышленной революции являлись плодом совместных международных усилий.

Демографические факторы

В последние годы небольшая, но весьма заметная группировка активно выдвигает такой фактор, как воздействие демографических процессов на технологический процесс. Самым влиятельным сторонником этого подхода была Бозеруп (Boserup, 1981), справедливо указывавшая на нечеткость границы между изобретением и адаптацией или внедрением существующей техноло-

гии. Ее главная идея сводится к тому, что демографическое давление вынуждает к переходу на более трудоинтенсивные технологии, а это компенсирует и даже может свести к нулю влияние снижающейся отдачи на доход и на объем производства в расчете на душу населения. Некоторые из явлений, рассматривавшихся во второй части, в первую очередь в сельском хозяйстве, вполне можно описать в терминах такого процесса, связанного с заменой факторов производства. Но ясно также и то, что большинство технических достижений было связано с инновациями, экономившими труд наряду с другими факторами производства и являвшимися скорее причиной, а не результатом нехватки земли. Если Бозеруп права и рост населения ведет к техническим новшествам, позволяющим экономить землю и капитал, то сокращение населения будет точно так же благоприятствовать техническим изменениям. Механизация и машины по самой своей природе обеспечивают в первую очередь экономию труда, а уж затем всех прочих факторов. Подтверждают ли имеющиеся данные подобное влияние стоимости факторов производства на техническое развитие — остается открытым вопросом. Доказательства Бозеруп взяты почти исключительно из сферы сельского хозяйства и нередко неубедительны³⁰. В любом случае подобные теории неприменимы ко многим из описанных здесь процессов. Как можно объяснить демографическими изменениями изобретение телескопа, трехмачтового судна или вязальной рамы?

Бозеруп намекает на другую возможную связь между ростом населения и техническими изменениями, но не раскрывает свою мысль подробно. Она указывает на то, что плотность населения определяет размер городско-

30. Этой теории как будто бы противоречит появление тяжелого плуга в Европе в VI и VII вв., когда численность ее населения находилась на минимальном уровне, и Бозеруп, обосновывая свою теорию, вынуждена полагаться на сложности с датировкой широкого распространения этой инновации (Boserup, 1981, p. 96).

го сектора и что высокий уровень урбанизации влек за собой экстерналии при развитии техники транспорта. Эту идею вполне можно использовать для разработки полноценной модели экономии за счет масштаба при технических изменениях, как делает Саймон (Simon, 1983). Некоторые элементы этой модели вполне разумны. Размер населения определяет количество потенциальных изобретателей (хотя более важной переменной здесь может быть отношение числа реальных изобретателей к потенциальным). Рост численности населения сопровождается ростом рынка более качественных или более дешевых товаров, но источник этой экономии за счет масштаба, судя по всему, в случае большинства товаров быстро иссякает: едва ли имеет значение, будет ли у нового товара полмиллиона или пять миллионов потенциальных покупателей. Также более высокая численность населения нередко способствует более глубокому разделению труда и региональной специализации. Хотя эти процессы могут быть косвенно связаны с техническим прогрессом как таковым, в первую очередь они проявляются в виде смитианского роста, а не изменений в знаниях. Утверждается, что более глубокое разделение труда также оказывает серьезное влияние на технику, но авторы подобных заявлений обычно не подкрепляют их доказательствами (из недавних работ такого рода см., например, Persson, 1988). Также может быть важна экономия за счет сплоченности (economies of agglomeration). Изобретатели взаимодействуют друг с другом и обмениваются знаниями, благодаря чему более крупные структуры с налаженными внутренними связями будут в большей степени способствовать развитию полезных и работоспособных идей. Бозеруп утверждает, что города играли решающую роль в создании технологий, применявшихся за пределами сельского хозяйства и горного дела. Возможно, урбанизация не являлась необходимым или достаточным условием, но начиная примерно с 1200 г. именно из городов все чаще исходили европейские технические достиже-

ния. Свойственная городам более развитая профессиональная специализация позволяла потенциальным изобретателям сосредоточиться на решении конкретных проблем. Часовщики, кораблестроители и специалисты по обработке металлов в большинстве своем были горожанами. Однако, как мы видели, городское окружение порождало и те группы, которые старались не допустить технических изменений, подрывавших их позиции. Ремесленные гильдии, первоначально во многих случаях активно защищавшие новые технологии, после 1500 г. становились все более консервативной силой. Более того, значение сельского хозяйства и горного дела, а также размещение за пределами городов большинства мест, пригодных для установки водяных колес, до эпохи промышленной революции ограничивало реальную роль городов в техническом прогрессе.

Оригинальную теорию, связывающую численность населения, окружающую среду и темп технических изменений, предложил Уилкинсон (Wilkinson, 1973). Согласно его аргументации, основанной в основном на антропологических свидетельствах, технические изменения происходят при нарушении экологического равновесия между населением и ресурсами. В случае роста населения, — утверждает Уилкинсон, — «общество попытается развивать свои технологии с тем, чтобы повысить производительность своей окружающей среды» (Wilkinson, 1973, p. 56). Например, дополнительные источники энергии представляют собой «вынужденный ответ на обострение ситуации со средствами к существованию». По его мнению, британская промышленная революция стала результатом острой нехватки ресурсов, вызванной резким ускорением роста населения в последней трети XVIII в. (p. 113). Исторические факты просто не подтверждают его интерпретаций. Нельзя сказать чтобы Великобритания, вплоть до конца XVIII в. являвшаяся чистым экспортером сельскохозяйственной продукции, страдала от острой нехватки земли. Как мы видели, дефицит леса, на котором основывает-

ся аргументация Уилкинсона, никогда не существовал. Значительная доля освещавшихся выше технических инноваций — от механических часов до морского хронометра — просто не имела никакого отношения к экологическому давлению и была создана в обществах с более или менее постоянной численностью населения. Что самое главное, Уилкинсон не может объяснить, почему в некоторых случаях рост населения приводил к соответствующим техническим достижениям, которые позволяли предотвратить мальтузианскую катастрофу, а в других перенаселенность кончалась именно такой катастрофой.

Далее мы рассмотрим три сравнительных примера, иллюстрирующих некоторые факторы, влияющие на технический прогресс: нарастание технических изменений в средневековом мире по сравнению с классической древностью, развитие европейской техники в периоды позднего Средневековья, Ренессанса и барокко по сравнению с технической стагнацией в Китае и успехи Великобритании как колыбели величайшего случая технических изменений в истории — промышленной революции.

ГЛАВА 8

Античная и средневековая техника

ПОЧЕМУ античное общество, обладавшее бесспорным интеллектуальным превосходством, в плане технических инноваций достигло столь незначительных успехов по сравнению с грубыми и неграмотными крестьянами средневековой Европы? Для начала отметим, что медленное техническое развитие античного общества не следует отождествлять или хотя бы увязывать с экономической отсталостью или бедностью. Нам почти ничего не известно об уровне жизни в античную эпоху, однако нет никаких доказательств того, что он был ниже, чем в Средние века или в период раннего Нового времени в Европе. Смитианский рост, опиравшийся на удачное расположение центров притяжения античной цивилизации вокруг Средиземного моря, а также на относительное культурное — а впоследствии и политическое — единство, мог способствовать достаточно высокому уровню жизни. Более того, технический прогресс на Западе не обязательно обеспечил бы высокий уровень жизни, поскольку рост потребления товаров и услуг нередко заменяется ростом населения. Максимум, что мы можем сказать — если бы технический прогресс в античном обществе происходил быстрее, в нем мог бы наблюдаться более высокий уровень жизни.

Тем не менее разительный контраст между технологической креативностью греко-римского и средневекового обществ требует анализа. Очевидно, что никакого простого объяснения здесь не хватит и что общая

картина, скорее всего, останется непроясненной. Однако мы можем сразу же опровергнуть несколько гипотез. Во-первых, идея о том, что римляне и греки каким-то образом сумели достичь необходимого им уровня развития техники и не испытывали нужды в ее дальнейшем усовершенствовании, неубедительна¹. Как отмечает Ли (Lee, 1973, p. 77), римлянам явно пригодились бы корабли, способные лучше ходить против ветра. Несмотря на все свои успехи в физике и математике, греки нисколько не улучшили свои сельскохозяйственные орудия, а эллинистические астрономы не овладели умением применять свои хитроумные астрономические инструменты на практике — например, для определения положения корабля в море. Неэффективная конская упряжь, запоздалое освоение гидроэнергии и отсталость римской металлургии свидетельствуют о слабости античного общества на двух важных технологических фронтах: энергетики и материалов.

1. См., например: Bernal (1965, vol. I, p. 222): «Решающей причиной [того, что в эллинистических обществах не состоялась промышленная революция] было отсутствие мотивации. Еще не сложился рынок массово производившихся промышленных товаров. Богатые могли себе позволить покупку товаров, сделанных вручную, а бедные и рабы не могли себе позволить приобретать то, без чего они были в состоянии обойтись». Берфорд (Burford, 1960, p. 18) объясняет неэффективность древней конской сбруи тем, что лошади в то время были в первую очередь бесполезным предметом показной роскоши, не предназначавшимся для работы. Поэтому известной древним народам сбруи вполне им хватало. Более того, «люди были знакомы с определенными способами выполнения необходимых дел [и] ... не видели причины для освоения других методов». Не столь безоговорочно высказывается Ашер (Usher, 1954, p. 101), отмечая, что древние общества в большинстве своем жили «под гнетом традиций» и что рационализм греческого общества по большому счету лишь обосновывал подчинение обычая под видом поиска вечных истин. Подобное общество не «интересуется» техническими изменениями. Однако затем он без всякого объяснения добавляет, что изобретениям тогда давалась более справедливая оценка, чем кажется с первого взгляда.

Более того, не слишком нам поможет и утверждение о том, будто бы физическая география Средиземноморья не способствовала техническим изменениям. Действительно, лес и текущая вода — строительные кирпичи средневековой техники — относительно дефицитны в Южной Европе, хотя в античную эпоху Средиземноморье, несомненно, было более обильно лесом, чем в наше время. После Юлия Цезаря большая часть Западной Европы подпала под власть римлян и империя могла пользоваться всеми ее ресурсами — от испанского серебра до корнуэлльского олова. Более того, средиземноморская география как таковая вовсе не препятствовала техническому прогрессу. Как мы видели, многие технические изменения средневековой и ренессансной Европы имели итальянское или средиземноморское происхождение.

Согласно другой точке зрения, непосредственной причиной замедленного технического развития было рабство. Большинство известных нам рабовладельческих обществ (за возможным исключением Древнего Египта) не очень поощряли инновации. Но с другой стороны, то же самое было свойственно и большинству нерабовладельческих обществ. Выдвигаемый некоторыми авторами аргумент (см., например: Lilley, 1965) о том, что рабы были просто дешевле машин, не выдерживает критики. Неверно предполагать, что рабский труд существенно дешевле «свободного» труда. Правда, античная цивилизация порой широко применяла рабский труд — например, в такой сфере, как обработка свинцовой руды, отличавшейся ужасающе высоким уровнем смертности. Тем не менее рабов приходилось обеспечивать питанием, жильем, одеждой, а со временем и заменять их новыми. Факты, связанные с рабством у римлян, говорят о том, что история рабства не имеет никакого отношения к объяснению технического развития, и представляется затруднительным выявить связь между доступностью рабочей силы и попытками законсервировать эту ситуацию (MacMullen, 1988, p. 18). Существование раб-

ства вряд ли может объяснить неумелое использование лошадей, примитивный уровень металлургических технологий или неуклюжую конструкцию кораблей в античную эпоху.

Было ли рабство ответственно за презрительное отношение к практическим технологиям? Возможно, рабство отчасти усугубляло его, но вряд ли являлось единственным фактором. Ранняя греческая философия — ионическая и пифагорейская — отличалась отчетливым прагматическим уклоном, на смену которому пришел «развод науки и философии с одной стороны и производственных процессов с другой стороны» (Finley, 1965, p. 33). По-видимому, этот процесс более-менее совпадал с распространением рабства в Древней Греции (V в. до н. э.)². Однако некоторые рабы были образованными. Как указывал Сенека, большинство изобретений его времени, само собой, были сделаны рабами, так как только рабы интересовались подобными вещами (цит. по: Klemm, 1964, p. 23). Рабы занимали руководящие и ответственные должности. Фронтинию, заведовавшему римским водоснабжением, помогали рабы-архитекторы, а сыновья вольноотпущенников нередко быстро дорастали до рядов правящего класса (Finley, 1973, p. 77). В любом случае за пределами Италии рабы в основном являлись прислугой у городской элиты и не использовались на полевых работах и в производстве.

И все же совершенно отмахиваться от рабства представляется преждевременным. Технические изменения зависят от структуры стимулов, сложившейся в производственном секторе. Рабство фактически не могло не включать отношений принуждения между рабочей

2. Очевидная смена настроений, произошедшая в V в. до н. э., отражена в литературе. В написанной около 450 г. до н. э. драме Эсхила Прометей гордится своими полезными открытиями. Несколько десятилетий спустя Софокл и Еврипид выказывали гораздо больше смирения, требуя, чтобы человек покорился природе и был ей благодарен.

силой и руководящим персоналом. Внедрение новых технологий в иерархических структурах требует сотрудничества между факторами производства. Новые идеи могут исходить как сверху, так и снизу, но если только руководители не готовы признавать и вознаграждать новые технические идеи, выдвинутые нижестоящими, все это кончится ничем; если же надзор за рабочей силой недостаточно строг, то работники смогут саботировать идеи, насаждаемые сверху. Более того, поскольку структура стимулов в случае рабства, как правило, основывается на наказаниях, а не на наградах, то рабский труд имеет тенденцию к простоте и рутинности (Fenoaltea, 1984). Преимущество рутинных и простых задач состоит в том, что они снижают издержки надзора за работниками. Рутинность труда обычно ведет к окостенению технологий. Если на рынке труда преобладают рабы, квалифицированный труд окажется в дефиците, и вполне вероятно, что нехватка сведущих в технике работников затруднит отход от технического статус-кво. Тем не менее у нас почти нет фактов, указывающих на то, что в древнем мире рабы были в каком-либо смысле менее квалифицированными или трудоспособными, чем свободные работники, или обязательно находились на самом дне трудовой иерархии. Более того, в последние столетия существования Римской империи рабство пришло в упадок и большинство рабочей силы составляли не рабы, а свободные крестьяне, городские трудящиеся, ремесленники, моряки, торговцы и т. д. Если иерархическая структура рабства препятствовала техническим изменениям, то почему же свободный сектор столь же мало преуспел в создании новых технологий?

Упадок рабства в поздней империи привел к возникновению других институтов, которые могли иметь какое-то отношение к снижению технологической креативности. В попытке обеспечить стабильность и спокойствие за счет долгосрочного прогресса Диоклетиан и Константин (IV в. н. э.) провели реформы, привязавшие многих работников к профессиям их отцов.

Не будучи такой жесткой, как индийская кастовая система, эта навязанная иерархия, в которой экономический и социальный статус наследовался, а не приобретался благодаря личным заслугам, естественно, препятствовала техническому прогрессу. Де Камп (De Camp, 1963, p. 280) называет эти реформы «пагубными для технического прогресса» и задается риторическим вопросом: «Захочет ли сын пекаря изобретать велосипед, если он обречен на то, чтобы всю жизнь волей-неволей печь хлеб?». Однако по мере распада Западной Римской империи эти законы наверняка соблюдались все менее строго, а благодаря отсутствию центральной власти в Средние века подобные драконовские меры и во все превратились в пустой звук.

Нередко утверждается, что рабство снижало экономический престиж ручного труда и углубляло раскол между образованным и производящим классами. Как указывает Ли (Lee, 1973), классическая древность в этом отношении принципиально не отличалась от других цивилизаций — если различия и были, то лишь относительные. Каналы, связывавшие верхние классы с трудящимися классами, всегда были узкими и легко перекрывались; в древности же они и вовсе почти отсутствовали. Господствовавшая иерархия ценностей препятствовала тому, чтобы интеллектуалы пытались извлечь из своих идей пользу. В знаменитом отрывке Плутарх воздавал Архимеду должное за то, что «считая строительство машин и любые искусства, обслуживающие повседневные нужды, занятием неблагородным и грубым, он все свои устремления обратил лишь на те занятия, чьи красота и возвышенность не запятнаны жизненными потребностями». Возможно, этот отрывок больше говорит нам о Плутархе, чем об Архимеде. Аристотель в своей «Политике» писал, что «добродетель недоступна тем, кто ведет жизнь механика или труженика». Ему приписывается авторство «Механики», справочника для инженеров, но ту, вероятно, написал кто-то другой. Многие исследователи античности отмечали абстрактную и от-

влеченную природу греческой науки, в которой эксперименты не играли никакой роли из-за предполагаемого различия между абстрактной реальностью и ее проявлениями в реальном мире³. Классическая натуральная философия допускала, что естественный мир можно объяснить рациональными принципами, но считала, что это понимание — награда само по себе. Ученые, нисходившие до реального мира, либо делали хитрые игрушки для богатых и знаменитых, либо посвящали себя классификации и таксономии. Техническую бесплодность классической натуральной философии следует противопоставить практическому и прикладному направлению, постепенно проявившемуся в средневековой науке⁴.

Образованные классы Римской империи навлекли на себя еще более суровую критику. Один современный автор (Oleson, 1984, p. 405) утверждает, что «типичный римский интеллеktуал и аристократ, неспособный, подобно ребенку, на обширный анализ доступных ему данных... гедонист в своем неприятии боли, изменений и риска, блуждал в похожем на сон тумане, в итоге упуская даже самые ограниченные возможности к прогрессу». Это может быть преувеличением, но технический прогресс действительно требует интеллектуальной и психологической ответственности. Немногие элиты в истории удовлетворяли этому условию.

Одно из различий между аграрными экономиками средневековой Европы и экономиками прежних эпох заключалось в том, что средневековые феодалы оставляли значительную часть своей земли крестьянам при условии выполнения определенных повинностей. После того как крестьянин отработывал свою трудовую по-

3. Плекет (Pleket, 1967, p. 2) указывает, что если в то время и ставились эксперименты, то лишь для подтверждения априорных теорий, и при этом по сверхупрощенной схеме, не позволявшей делать никаких строгих выводов.

4. Обзор этой литературы см.: Oleson (1984, p. 397–408).

винность или выплачивал оброк натурой и (впоследствии) деньгами, он был вправе распоряжаться своим трудом и трудом своей семьи так, как считал нужным — естественно, соблюдая правила, установленные сельской общиной. Эта свобода, при всей ее ограниченности, означала, что земледельцу доставалась часть плодов, полученных благодаря усовершенствованным приемам земледелия. Вообще говоря, попытки повысить урожайность сталкивались с алчностью феодала и священников, а также с инерцией, диктовавшей крестьянину квазикооперативной природой средневекового сельского хозяйства, в котором многие технические решения совместно принимались всей сельской общиной. Невзирая на эти препятствия, начиная примерно с 900 г. средневековые крестьяне достигли больших успехов в усовершенствовании своих хозяйственных методов, чему способствовали и благоприятные климатические перемены, происходившие примерно в то же время. Имеет смысл напомнить, что одно из самых важных достижений в средневековом сельском хозяйстве — замена лошадей быками в качестве тягловой силы — намного заметнее проявилось в крестьянском хозяйстве, чем в господском домене (Langdon, 1986, p. 255).

Средневековая ситуация резко контрастирует с ситуацией в античном мире по описанию Ходжеса (Hoghes, p. 179–180), который возлагает вину за техническую стагнацию античного мира на управляющих, а не на рабочую силу. Согласно его точке зрения, собственники не участвовали в повседневном руководстве мастерскими и фермами, а управляющие нередко были представителями «очень посредственного и зачастую бесчестного класса», ведя себя подобно бюрократам, погрязшим в рутине и стремящимся делать как можно меньше, чтобы не потревожить тихое течение жизни. Колумелла, римский автор, живший в I в. н. э., в своей книге *De Re Rustica* сетовал на то, что богатый человек, покупая ферму, для управления ею выбирает из своего окружения «самых дряхлых и немощных... невзирая на то, что эта

должность требует не только знаний, но и энергии человека в самом цвете лет... без которой не справиться с ее трудностями» (воспроизведено в: White, 1977, р. 20–21). Сам К. Д. Уайт с некоторым удивлением отмечает, что крупные землевладельцы — единственные люди, по его мнению, обладавшие ресурсами для осуществления технических изменений — почти ничего не делали для повышения производительности и снижения трудовых издержек даже в условиях возраставшей нехватки рабочей силы (White, 1975, р. 221). Это объяснение не относится к государственным предприятиям. Инженеры и архитекторы, участвовавшие в государственном строительстве, сталкивались с жестким требованием добиться успеха и повысить престиж и политическое влияние своих нанимателей. Почему этого не происходило в частном секторе? В античном мире, в котором ключевую роль играла рыночная экономика, тоже до некоторой степени должна была наблюдаться конкуренция. Реально вопрос сводится к тому, достаточно ли сильной была эта конкуренция для того, чтобы гарантировать выживание лишь наиболее экономически эффективных предприятий? А если да, то распространялась ли конкуренция и на рынок технологических идей?

Никакая простая теория, учитывающая лишь одну причину, не в состоянии объяснить процессы, наблюдавшиеся тысячелетиями. Проблема состоит в том, что слабым местом античной цивилизации отчасти являлась ее неспособность создавать совершенно новые технологии (такие как конская упряжь, производство высококачественного железа, кривошип, гидравлический масляный пресс), а отчасти — ее нежелание или неумение находить новые и неожиданные сферы практического применения для порождаемых ею новых идей. Ту медлительность, с которой развивалась техника в римском обществе, иллюстрируют ограниченное строительство водяных мельниц и неэффективная оснастка римских парусных кораблей. Значение политической централизации, несомненно, возрастало с течением времени

по мере того, как повышалось могущество Римской империи. Под ее влиянием технические изменения перемещались в общественный сектор, что способствовало торговле, а соответственно — и смитианскому росту, а также развитию технологий в общественном секторе, таких как гидротехника и дорожное строительство, но за счет технического прогресса в частном секторе.

Нередко утверждается, что Римская империя насаждала власть авторитета и конформизм — по крайней мере в поздний период своего существования. Романизируя верхние слои покоренных ими варварских народов, римляне навязывали им некоторые общие ценности. Эти ценности диктовали приоритет неэкономических достижений: военные, интеллектуальные, административные и творческие успехи ценились выше, чем производственные. Наши слабые представления об античной технике в какой-то степени показательны, свидетельствуя о том, как относились к ней интеллектуалы той эпохи. Античные авторы редко снисходили до описания обыденных технических подробностей; их умы были заняты историей, поэзией, философией и политикой. В этом отношении следует проводить различие между Грецией с одной стороны и эллинистическими странами и Римом с другой стороны. Эллинистические и римские инженеры с большей готовностью, чем греки, использовали абстрактные знания, добытые математиками. Они опирались на механику, конструируя военные машины, и на геометрию, проектируя гидротехнические сооружения и города. Кроме того, эллинистические и римские авторы с большей готовностью освещали технические вопросы⁵. И все же

5. Обилие технических сведений содержится в *De Architectura* Витрувия и в «Естественной истории» Плиния, а также в «Географии» эллинистического автора Страбона. В I в. до н. э. появились два важных трактата по сельскому хозяйству авторства Колумеллы и Варрона (оба называются *De Re Rustica*). Эти книги в первую очередь посвящены практическим потребностям крупных

эти темы обычно затрагивались лишь в связи с другими вопросами; ко II в. н. э. технические описания становятся редкостью. Как подчеркивалось выше, такой разрыв между образованными и грамотными классами с одной стороны и трудящимися слоями населения с другой стороны был пагубен сам по себе.

В более плюралистическом мире подобная иерархия приоритетов могла бы быть оспорена, но по мере того, как возрастали могущество империи и влияние ее культуры, ее плюрализм уменьшался, и на столетия Рим остался без конкурентов, способных бросить вызов его силе и влиянию. Правда, ценности, о которых идет речь, являлись ценностями верхних классов, возможно, оставшимися недоступными для масс, реально вовлеченных в производственный процесс. В некотором смысле Римская империя напоминала современный Советский Союз с его конфликтом между политической централизацией и техническими изменениями. Разница состоит в том, что современный советский блок готов заимствовать у Запада технологии, которые он не в состоянии разработать сам; а Греция и Рим явно не проявляли особого интереса к иностранным технологиям.

Влияние римской иерархии ценностей на неримлян может дать нам ключ к сравнению технических достижений Римской империи и средневекового Запада. Как уже отмечалось, кельты в некоторых отношениях проявляли больше креативности, чем греки и римляне. Однако элиты кельтского общества, подпадавшие под римское влияние, пытались имитировать римскую культуру и заимствовать римские ценности. В кельтских школах учили латынь и классическую литературу, а сами кельты делали карьеру в римской администрации и армии.

поместий, а не мелких независимых крестьянских хозяйств, и много места в них отводится виноградарству. После Варрона эта традиция угасла. Труды последующих авторов, писавших о сельском хозяйстве — таких, как Палладий (IV в. н. э.) — в целом сводились к комментированию более ранних работ.

После того как империя распалась надвое, римское наследие на Западе все сильнее размывалось кельтскими и германскими элементами, что вполне могло дать новый толчок технологической креативности. В более чистом виде античная цивилизация сохранилась в Византии, не достигшей особых успехов в плане развития технологий.

Римляне и греки проявляли относительную терпимость к инакомыслящим и верящим в других богов. Такая терпимость — само по себе желательное условие для распространения новых идей. Однако греко-римская религия была очень анимистичной и антропоморфной, и потому, возможно, не одобряла серьезных посягательств на окружающую среду. Религии, рассматривающие природу как личность, проповедуют, что покушаться на ее правила опасно и греховно. Правда, людской душе свойственно желание одержать верх над силами природы, которое, как демонстрируют все древние мифологии, разделялось язычниками. Но спутниками этого желания были глубоко укоренившиеся страхи и чувство вины, препятствовавшие техническому прогрессу. Эти настроения удачно иллюстрирует миф о Прометее, архетипичном борце с природой: хотя умение пользоваться огнем, необходимое для выживания, не было отвергнуто, чувство вины, связанное с вторжением в ту сферу, где властвуют боги, отразилось в ужасной каре, постигшей Прометея, как и в тех бедствиях, что вырвались из ящика Пандоры. Более того, анимизм, как полвека назад указывал Льюис Мамфорд — смертельный враг технических изменений. Если каждый ручей, каждое дерево, каждый клочок земли населен духами, то значит, окружающий нас мир является капризным, непредсказуемым и неконтролируемым. И любая попытка изменить его может навлечь на вашу голову гнев не только грозного Зевса, но и мелких местных божеств. Вообще говоря, образованные философы и драматурги, чей образ мысли известен нам по их работам, не принимали греко-римскую религию слишком всерьез. Но ре-

ально участвовавшие в производстве необразованные классы, чьи воззрения для нас потому весьма важны, вероятно, продолжали верить в этих богов столетиями после того, как греческая философия миновала период расцвета.

Подобные настроения начали постепенно отмирать незадолго до возникновения христианства. Языческая религия в течение столетий теряла позиции, отступая под натиском различных деистических философских учений. Философы-стоики считали, что рациональное устройство мира предусматривает возможность людских свершений. Согласно этой точке зрения, люди по самой своей природе призваны заботиться о мире, который благодаря разумным усилиям делается более красивым и более пригодным для проживания (J. D. Hughes, 1975, p. 97). Такие античные авторы, как Плиний и Гален, выражали еще более антропоцентричные настроения. Впрочем, в поздней империи вера в сверхъестественное и в мистику получила более широкое распространение, а стоицизм, напротив, отошел в тень. Астрология и магия играли ключевую роль в сложных ритуалах тайных, закрытых сект, веками господствовавших на религиозной сцене. Многие из этих сект являлись отпрысками восточных религий. Мистицизм и суеверия привели к упадку римской науки и философии, и представляется логичным, что они затронули и технику. Однако отношения между античной наукой и техникой всегда были напряженными, и подобно тому, как расцвет эллинистической науки слабо отразился на производственных методах, так и ее упадок сам по себе не стал причиной технической стагнации.

Средневековое христианство, постепенно эволюционируя, укрепляло эти тенденции. Было бы абсурдно утверждать, будто христианство в его первоначальной форме благоприятствовало техническому прогрессу. Согласно некоторым представлениям, оно по своей сути являлось лишь наиболее успешным из этих восточных культов. В течение первых пяти или шести веков суще-

ствования ему тоже в известной мере были присущи мистицизм, аскетизм, отрицание материальной жизни и богатства, а также откровенное осуждение труда и любых мирских занятий⁶. Однако западное христианство скрывало в себе зерна будущего технического прогресса. В этом отношении Линн Уайт (White, 1978, p. 217–253) и другие авторы подчеркивают, что техническая активность людей определяется тем, как они понимают свои отношения с природой и со своим создателем, а также их представлениями о том, какие поступки благочестивы, а какие — греховны. Как полагает Уайт, западное христианство все сильнее проникалось представлением о рациональном и расчетливом Боге, творце огромного и сложного механизма — Вселенной, «требующем от человека править миром и способствовать исполнению божественной воли в качестве творческого сотрудника». Последователи христианства стали считать аксиомой, что природа существует лишь для того, чтобы служить человечеству. Бенц (Benz, 1966, p. 124), у которого Уайт позаимствовал выдвинутую им идею о связи между христианством и техникой, указывает, что в технологически креативных, но глубоко религиозных обществах раннесредневековой Европы постепенно пускало корни убеждение, согласно которому технические достижения оправдывались предназначением человека как подобия Бога и его помощника.

Некоторые исследователи полагают, что Бенц и Уайт придадут этому моменту слишком большое значение⁷.

6. Папа Григорий Великий (ок. 600 г.), один из ключевых деятелей в истории церкви, сжигал библиотеки античных произведений, чтобы те не отвлекали верующих от размышлений на благочестивые темы.

7. Бенц (Benz, 1966) указывает, что технологическое в основе своей представление о Боге как о Творце и архитекторе Вселенной находится в резком противоречии с буддийским мировоззрением. Он добавляет (p. 122): «существенно, что буддизм не породил технологической культуры, а многим его учениям присуща откровенно антитехнологическая позиция». Вполне

Вообще говоря, в католической церкви всегда существовали круги, занимавшие более умеренную позицию, выступая за гармоничные отношения с окружающей средой и возлагая на человека ответственность за опеку над природой (Ovitt, 1986; 1987, p. 85–87). Св. Франциск Ассизский возмущался эксплуатацией природы. В католической церкви не всегда поддерживалось единогласие, и те изменения, о которых говорят Бенц и Уайт, пришли далеко не сразу и столкнулись с жестким сопротивлением со стороны христианской догматики и массовых настроений. Но даже если Уайт слегка перегибает палку, сравнение с другими религиями все равно позволяет выявить роль, сыгранную западным христианством в создании западной техники.

Доказать наличие причинно-следственных связей в данном случае, разумеется, невозможно. Вполне вероятно, что отношение христиан к природе представляло собой не только причину создания существовавших технологий, но и компромисс с ними. Однако технические изменения по самой своей природе таковы, что им должны предшествовать некие изменения в умонастроениях. Как подчеркивалось выше, любое изобретение — это игра против природы, и прежде чем кто-либо решится на такую игру, необходимо наличие некоторых мысленных условий. Что самое важное, игрок должен иметь некое представление о сущности ожидающей его игры и о возможном выигрыше. Если природа

может быть правдой, что идеи буддизма о необходимости отделиться от реальности ради спасения души и о том, что рецепт достижения блаженства заключается в контроле над самим собой, а не над своим окружением, не способствовали техническим изменениям. Однако все было не так просто. Буддизм делится на много направлений, и некоторые из них более благосклонны к техническим изменениям, чем другие. Также и конфуцианство — которое вообще едва ли заслуживает названия религии — в одни периоды китайской истории как будто бы способствовало техническому прогрессу, а в другие противодействовало ему.

представляется враждебным и завистливым противником, или же если единственный действительно значимый выигрыш — это спасение души, то сама эта игра становится по большому счету бессмысленной. Но если Вселенная управляется логическими, механистическими силами, которые можно контролировать и подвергать манипуляциям, не совершая при этом греха, и если становится ясно, что выигрышем будет уровень жизни, превышающий прожиточный минимум, то первое условие, необходимое для начала технического прогресса, окажется выполнено. Вопрос о том, когда начали меняться подобные настроения, служит предметом дискуссий. Линн Уайт (White, 1978, p. 79) склонен относить смену настроений к эпохе до 1000 г., в то время как Овитт (Ovitt, 1987, p. 44) полагает, что западные ценности до 1100 г. были статичными и невосприимчивыми к изменениям. Подобные споры разрешить сложно из-за отсутствия четких свидетельств о настроениях и менталитете. Трудно себе представить, чтобы многочисленным инновациям, появившимся до 1100 г., не предшествовала смена умонастроений, даже если официальное церковное учение запаздывало с ее признанием. Какими бы ни были истоки веры в управляемую, механистическую Вселенную, позволяющую людям эксплуатировать законы природы в экономических целях, эта вера получала все большее распространение и восторжествовала к концу Средних веков. Фома Аквинский признавал, что человек, созданный по образу Божьему, обладает властью над миром природы. В позднем Средневековье Бога все чаще буквально представляли себе как инженера или как архитектора. Так, в XIV в. Николь Оресм, епископ Лизье, говорил, что Бог привел мир в действие так же, как человек заводит часы, которые потом идут сами по себе (Benz, 1966, p. 252). Пэйси (Pacey, 1975) подчеркивает, что в XIII и XIV в. религия вдохновляла людей на строительство соборов, создававшее значительный эффект перелива в плане технологий. Более того, он указывает, что инновация прежде всего

опирается на воображение, а что средневековой религии хорошо удавалось, так это стимулировать воображение. Согласно этой точке зрения большинство технических достижений Средневековья было результатом неэкономических причин (Pacey, 1975, p. 85–86). Пэйси вполне может быть прав в том отношении, что бэконовская позиция, согласно которой конечной целью любых знаний служит не понимание мира, а управление им, была итогом, а не истоком интеллектуальной традиции. Однако неизвестно, каким образом можно проверить эту гипотезу. Не подлежит сомнению, что какими бы ни были психологические корни прялки, трехмачтового судна и чугуна, экономические последствия их появления оказались колоссальными.

Хороший пример изменений в ментальности, способствовавших техническому прогрессу на Западе, связан с идеей о том, что «если бы Бог хотел, чтобы люди летали, он бы дал им крылья», отразившейся в легенде о Дедале и, по мнению такого видного авторитета, как Ландес (Landes, 1969, p. 24), занимавшей заметное место в христианстве. Посягательство на эту точку зрения исходило из стен самой церкви. Хорошо известно, что знаменитый монах-францисканец Роджер Бэкон в XIII в. сочинял пророческие трактаты, в которых предсказывал появление самолетов, пароходов и автомобилей. Менее известно, что за два с лишним века до него другой монах, Эйлмер из Мелмсбери, бросил вызов людской бескрылости, спрыгнув с башни на построенном им планере. Несчастный монах сломал себе ноги и до конца жизни хромотал. Тем не менее существенно, что Эйлмер не видел в попытке полететь ничего греховного, приписывая свою неудачу тому, что не оснастил планер хвостом (Lynn White, 1978, p. 59–73). Полет Эйлмера был не просто сумасбродным поступком скучающего чудака. Как показывает Уайт, если вознесение Христа на небеса первоначально представляли себе как величавый подъем — нередко при помощи ангелов, — то в раннем Средневековье оно все чаще изображалось как «едва ли

не реактивный взлет, свершившийся с такой скоростью, что мы видим лишь его ноги у верхней кромки картины, над ошеломленными учениками, чьи одеяния трепещут в воздушных завихрениях, порожденных этим стремительным вознесением» (Lynn White, 1978, p. 66).

Неслучайно многие ранние технические достижения были связаны с официальным духовенством, то есть с монахами. Несомненна роль, сыгранная монашескими орденами в возникновении западных технологий. Хорошо известна связь между строгим ежедневным распорядком, требовавшим от монахов достаточно точно знать время, и созданием часов-ходиков (см. подтверждение этого факта и обзор литературы в: Landes, 1983, p. 61–70). Однако монашеские ордена, или по крайней мере некоторые из них, выходили за рамки своих непосредственных потребностей и наводили пусть узкий, но прочный мост между образованными и производящими классами. В IV и V вв. начало укореняться убеждение в похвальности производительного труда. Около 530 г. св. Бенедикт, основатель Ордена бенедиктинцев, сочинил бенедиктинский устав, принесший ему незаслуженную славу, «может быть, ключевой фигуры в истории труда» (Lynn White, 1968, p. 63). Уайт предлагает объяснять развитие средневековой техники, исходя из насаждавшегося бенедиктинцами уважения к работе и к производству. Безделье — это враг души, а трудиться означает молиться — учил св. Бенедикт. Такая смена настроений произошла отнюдь не внезапно: поначалу труд считался не столько благом самим по себе, сколько рекомендуемой формой покаяния (LeGoff, 1980, p. 107–121). Но в итоге «концепция труда как наказания сменилась представлением о труде как о позитивном пути к спасению» (LeGoff, 1980, p. 115). Поскольку монахи принадлежали к образованному классу — собственно, столетиями *являлись* образованным классом, — это делает небеспочвенным убеждение Уайта в том, что «впервые в истории практическое и теоретическое начало оказались воплощены в одной и той же лично-

сти... монах был первым интеллектуалом с грязью под ногтями» (Lynn White, 1968, p. 65). Постулируя моральную приемлемость физического труда и производства, бенедиктинский устав стал первым вызовом классическому представлению о тождестве труда и греховности. Монахи-бенедиктинцы оказывали колоссальное влияние на средневековую жизнь, играя важнейшую роль в образовании, сельском хозяйстве, освоении новых земель и в развитии искусств и ремесел⁸. «Бенедиктинцы стали основателями этики, которая к XII в. признавала производство и богатство в качестве естественных побочных продуктов труда», — пишет Овитт (Ovitt, 1986). С течением времени на точку зрения, распространявшуюся духовенством, встали и другие авторы⁹. Когда Бенедиктинский орден разбогател и перестал служить примером аскетизма, разожженное им пламя пуризма подхватили монахи-цистерцианцы. Прошло очень много времени, прежде чем труд, говоря словами Овитта, секуляризовался, то есть прежде чем добродетельность экономического производства стала оцениваться церковным учением с точки зрения его плодов, а не с точки зрения его влияния на чистоту души труженика. Но это едва ли имело большое значение. Самое главное в про-

8. Отличавшийся техническими наклонностями немецкий монах-бенедиктинец Теофил около 1122 г. написал знаменитый трактат о ремеслах и технике, называвшийся *De Diversis Artibus*. Трактат Теофила подчеркивал важный аспект христианства, заключавшийся в том, что проявления людского трудолюбия перестали считаться греховными или предосудительными. Работа Теофила, согласно его собственному заявлению, была написана «не ради похвалы и не ради потребности в мирских наградах... но с тем лишь, чтобы помочь многим во славу Господа и ради величия Его имени» (цит. по: Klemm, 1964, p. 65). Сама техника служила святой цели, демонстрируя мудрость Господню, и потому являлась законной сферой приложения усилий.

9. Например, такие англо-французские авторы XII в., как Ив Шартрский и Джон Солсберийский, утверждали, что «всякий труд облагораживает человека и угоден Господу» (цит. по: Fossier, 1982, p. 883).

изводстве более дешевых и более качественных товаров — то, что они удовлетворяют экономический спрос, а это в Средние века в первую очередь означало удовлетворение элементарных физических потребностей. Рост количества и качества жилья, пищи, одежды, энергии и транспорта сам по себе служил наградой.

По иронии судьбы, признание за физическим трудом некоторой респектабельности со временем привело к его вытеснению. Как выразился Уайт, «цель труда — покончить с трудом». Только после того, как интеллигентные и образованные люди закатали рукава и занялись физическим трудом, их стали посещать идеи о том, как заменить людские руки и людской пот машинами. Механические искусства, по-прежнему далеко не престижные, приобрели доселе неведомый им статус добродетели. Парижские монахи-викторинцы в XII в. включали механику в свой свод полезных знаний, бросая при этом вызов авторитету самого Св. Августина. На Западе сначала органы, а затем и часы, стали составной частью религиозного ритуала: машины перестали быть вместилищем греха. Монахи-цистерцианцы, чьи монастыри неизменно посвящались Святой Деве, не боялись того, что скрип водяных колес оскорбит ее слух: в некоторых из их аббатств насчитывалось по четыре-пять мельниц. «Культурный климат», — как выразился Уайт, — созданный католической церковью на Западе, способствовал преобразованию окружения, в котором происходили технические изменения. В этом культурном климате ремесленники и ученые начали находить общую почву и налаживать связи. В результате стали появляться сочинения людей, сопричастных технике. Теофил, автор первого значительного дошедшего до нас средневекового трактата о технике, написал его в 1120-е гг. Виллар де Оннекур, живший в начале XIII в., оставил после себя альбом чертежей, вероятно предназначенных для обучения. В позднем Средневековье и в эпоху Ренессанса грамотные и трудящиеся классы уже не были изолированы друг от друга и граница ме-

жду ними начала размываться. Значение контактов между образованным и производящим классами представляется слишком очевидным для того, чтобы его специально подчеркивать.

В XIII и XIV вв. начали появляться такие мастера-ученые, как Роджер Бэкон и Ричард Уоллингфорд. После того как был создан печатный станок и вошло в обычай писать книги на живых языках, а не на латыни, стали быстро расширяться возможности по обмену техническими знаниями. Кульминацией происходивших в Европе колоссальных изменений служили великие трактаты эпохи Ренессанса по механике и по медицине. Считается общеизвестным, что корни этих изменений восходят к Средневековью, хотя их точная датировка, опять же, остается предметом дискуссий.

Культурное окружение и менталитет сами по себе не могли быть причиной бурного развития средневековой техники. Например, мы должны ответить, почему христианская Византия оказалась неспособна на что-либо, подобное успехам Запада. Возлагать вину за эти различия на более созерцательную и мистическую направленность восточного монашества, как это делает Линн Уайт, может показаться предвзятостью, так как подобный подход не позволяет объяснить, почему и другие иудеохристианские религии со временем прониклись ксенофобией, консерватизмом и прочими качествами, пагубными для технологической креативности.

Ислам в своей изначальной форме был не менее восприимчив к техническому прогрессу, чем западное христианство, однако, как мы видели, примерно к XII в. он утратил эту черту. Великий исламский философ и теолог Аль-Газали (Альгазель) (1058–1111) пришел к выводу о том, что наука и техника несовместимы с исламом, и пытался примирить мистицизм со своей религией, в то время как западные теологи стремились сделать христианство более рациональным и устранить противоречия между ним и античной наукой. Опять же, корреляция не доказывает существования причинно-след-

ственных связей. Однако многозначительно, например, что мусульманские мореходы на Аравийском море, чьи доу, оснащенные трапециевидными люгерными парусами, могли ходить против ветра, тем не менее предпочитали дожидаться муссонов. Как гласит старая арабская поговорка, «Только безумцы и христиане плавают против ветра» (Landstrom, 1961, p. 213).

Одно из различий между Востоком и Западом, которое без устали подчеркивают историки экономики, состояло в том, что Запад был разделен на более-менее независимые политические образования, активно боровшиеся за выживание, доход и влияние. Задолго до возникновения системы государств Европа представляла собой плюралистическое и разнородное общество, в котором многочисленные политические единицы ревностно оберегали друг от друга свою независимость. Розенберг и Бердзелл (Rosenberg and Birdzell, 1986, p. 60–62) проводят связь между европейским плюрализмом и феодализмом, утверждая, что феодализм обеспечивал политическую децентрализацию, необходимую для плюрализма. Упадок феодализма и усиление государства не покончили с европейским плюрализмом (хотя он вполне мог какое-то время находиться под угрозой — например, когда Филипп II пытался искоренить еретические движения в Нидерландах). В других регионах, таких как Япония, феодализм не слишком способствовал технологической креативности, вне зависимости от того, являлся ли его следствием плюрализм или нет.

Борьба за выживание гарантировала, что в долгосрочном плане правители не могли себе позволить враждебно относиться к изменениям, повышавшим экономическую мощь их стран, вследствие реальной опасности того, что инновация или новатор попадут к сопернику и послужат к его усилению. Технические новинки, появившиеся за границей, выкрадывались и воспроизводились, на иностранных мастеров охотились, подкупая их или заманивая к себе щедрыми посулами. Режимы, не следовавшие этому курсу, такие как Испания или Ос-

манская империя, отставали и лишались своего экономического и политического могущества. На передний край экономического прогресса выходили сравнительно толерантные страны — например, Англия и Нидерланды, — приобретая политическое влияние, несоразмерное численности их населения. Конкуренция между державами стимулировала инновационную активность путем непосредственного государственного вмешательства. Европейские страны, в XVII–XVIII вв. проводившие меркантилистскую политику, обещали изобретателям премии за решение технических проблем и переманивали к себе зарубежных инженеров и ремесленников. Таким образом, конкуренция между различными государствами была важна не только для создания новых технологий, но и для освоения и распространения чужих идей. Конечно же, именно в этом состояло самое слабое место античной цивилизации.

Интуиция экономиста нередко ведет к сравнению политической фрагментированности Европы с моделью конкурентных рынков. Поскольку экономическая конкуренция повышает эффективность, предполагается, что таким же будет итог и политической конкуренции. Но эта аналогия обманчива, так как обычно считается, что работа механизма экономической конкуренции не связана с издержками, в то время как политическая конкуренция становится причиной обильных расходов на оборону и разрушительных войн. С другой стороны, если политическая раздробленность и сыграла решающую роль, то в том смысле, что Европа с ее помощью избежала явления, которое можно назвать «ловушкой Кардуэлла». Кардуэлл (Cardwell, 1972, p. 210) указывал, что «ни одна нация не проявляла высокую (технологическую) креативность на протяжении исторически сколько-нибудь длительного периода»¹⁰. В такой фор-

10. Карр (Carr, 1961, p. 154) делает аналогичное заявление в более общем контексте: «Если бы я питал приверженность к формулированию законов истории, то вывел бы закон, гласящий, что всякая

мулировке «ловушка Кардуэлла» является не более чем эмпирической закономерностью, причем довольно грубой. Определение «нации», не говоря уже о «скольконибудь длительном» периоде, расплывчато. Более того, Кардуэлл не дает никакого намека на возможные экономические и социальные причины, обуславливающие действие его закона. Но если мы признаем существование этой эмпирической закономерности, то преимущество Европы станет нам понятно. Европа всегда состояла из множества наций. Технологический центр Европы в течение столетий перемещался из одной страны в другую, находясь сперва в Италии, затем в Южной Германии, затем в Нидерландах, затем во Франции, в Англии и снова в Германии. Политическая раздробленность не препятствовала перетеканию технической информации от лидеров к отстающим, и потому так вышло, что самые передовые технологии постепенно распространялись по всей Европе, вне зависимости от того, где они были созданы. Об этом красноречиво говорит Джонс (Jones, 1981, p. 124): «Пусть горели на кострах книги и пусть ученых пытали церковники, пусть бунтующие толпы крушили станки, пусть предпринимателей выгоняли за границу, а инвестиции присваивались правительствами — Европа как целое не испытывала технического регресса. Такая многоклеточная система обладала врожденной способностью возмещать местные потери... и представляла собой нечто большее, нежели сумма своих частей». Более того, политический плюрализм в Европе — сперва при феодализме, а затем при династических монархиях — делал нонконформистские мысли и поведение более приемлемыми, чем в крупных империях, даже если это не всегда было легко. В средневековой и ренессансной Европе ученые, инженеры, философы и религиозные нонконформисты оспаривали

группа — будь то класс или нация... зовите ее как хотите — игравшая ведущую роль в достижениях одного периода, вряд ли сыграет аналогичную роль в следующем периоде».

традиционные представления, пользуясь существованием множества государств для того, чтобы уберечься от гнева реакционных властителей.

Той ценой, которую Европа платила за политическую раздробленность, конечно, являлась война. Как указывалось выше, общее положительное влияние войн на технический прогресс было ограниченным, а чистая выгода от войн, несомненно, более чем компенсировалась издержками. Политическая конкуренция не обязательно ведет к войнам, так же, как конкуренция между фирмами не обязательно ведет к незаконным действиям с их стороны. Возможно, лучшим из всех возможных миров был бы мир, ограничивающийся угрозами и обходящийся без серьезного кровопролития, что удавалось Европе в промежутке от Ватерлоо до Сараево. В той степени, в какой война сопровождает политическую раздробленность, она является ценой этой раздробленности, а не одним из ее бонусов. В любом случае политическая централизация не обязательно означает мир, о чем свидетельствует история Китая.

Одна из самых интригующих дилемм, встающих перед историком, интересующимся политической экономией технических изменений, состоит в том, что влияние политической конкуренции на технический прогресс по самой своей природе носит двусмысленный характер. Нации, которых беспокоит их политическая позиция в мире, с гораздо большей вероятностью испытают на себе «эффект спутника», заключающийся в осознании своей технической отсталости и соответствующих угроз. Многие страны — от России при Петре I до Японии эпохи Мэйдзи и Соединенных Штатов после запуска первого советского спутника — предпринимали усилия по обновлению используемых ими технологий в первую очередь по политическим причинам. Поэтому конкуренция между странами в каком-то смысле полезна для технического прогресса. Однако, в отличие от экономической конкуренции, политическая конкуренция может выродиться в вооруженную

экспансию, войны и разрушения, которые сведут на нет любые возможные благоприятные результаты политической конкуренции. Соответственно, речь идет о достижении некоего оптимума между выгодами и опасностями межгосударственной конкуренции.

Таким образом, политическая раздробленность не представляет собой достаточное условие технического прогресса. В некоторых случаях (в первую очередь на ум приходят города-государства Древней Греции, исламская Испания и мелкие государства средневековой Индии) политическая децентрализация влекла за собой гораздо больше разрушений, чем инноваций. Соответственно, как и в микроэкономической теории, сама по себе конкуренция не гарантирует эффективности. Также и плюрализм не является *sine qua non*, поскольку определенный прогресс, несомненно, наблюдался и в Римской, и в Китайской империи. И все же в Европе, при условии, что государственные образования могли сохранить независимость и выдержать экономическое бремя оборонных расходов, политическая раздробленность гарантировала, что ни один властитель не перекроет кислород — что никто, повинувшись своим прихотям или благочестию, не сумеет предотвратить технический прогресс и обеспечиваемый им экономический рост.

ГЛАВА 9

Китай и Европа

ВЕЛИЧАЙШЕЙ загадкой в истории техники является неспособность Китая сохранить свое техническое превосходство. За долгие века своей истории до 1400 г. Китай набрал поразительный технологический импульс, развиваясь, насколько мы можем судить, не менее, а то и более быстро, чем Европа. Многие китайские инновации со временем проникли в Европу, будучи либо непосредственно заимствованы, либо изобретены заново. Далее перечисляются некоторые из этих китайских достижений.

1. Важные инновации в рисоводстве революционизировали китайское сельское хозяйство. Более уверенное применение технологии сева на заливных полях позволило резко расширить разведение риса на юге страны. Овладение приемами гидротехники (дамбы, каналы, плотины, польдеры, насыпи) сделало возможным осуществлять осушение и ирригацию земель. Применяя сложные шлюзы, насосы и нории (водоподъемное устройство с укрепленными на цепи черпаками, приводящееся в действие силой самого потока и потому представляющее собой полностью автоматический насос), китайцы могли контролировать расход воды и предотвращать затопление. Согласно некоторым оценкам в X–XV вв. число гидротехнических сооружений в Китае увеличилось семикратно, в то время как население в лучшем случае удвоилось (Perkins, 1969, p. 61).



РИС. 40. Удобрение рисовых посевов в средневековом Китае. Из «Кен Чили» («Сельское хозяйство и шелководство в иллюстрациях»), 1145 г.

Источник: Thien Kung Khai Wu 1/15b.



РИС. 41. Китайская рядовая сеялка для сева зерновых. Из «Тхиен Кун Хай Ву» («Использование даров природы»), 1637.

Источник: Thien Kung Khai Wu 1/15b.

2. Старое китайское рало было вытеснено в VI в. до н.э. железным плугом, который переворачивал пласт земли и состоял из одиннадцати отдельных частей, чье взаимное расположение позволяло задать требуемую глубину вспашки. Впоследствии (в VIII или IX вв.) такой плуг был приспособлен к пахоте на заливных рисовых полях.

3. В эпоху династий Сун (960–1126 гг.) и Юань (1127–1361 гг.) появились рядовая сеялка, грабли и борона с большими зубьями. Китайские земледельцы осваивали новые удобрения, такие как городские нечистоты, грязь, известь, конопляные стебли, зола и речной ил. В борьбе с насекомыми и вредителями с большим успехом применялись химические средства и биологические методы. Уникальной чертой китайского сельского хозяйства являлось огромное количество сельскохозяйственных трактатов и справочников. В анналах династии Суй (581–617 гг.) упоминается существование восьми трактатов по ветеринарной медицине. Позже появились такие шедевры, как «Основы земледелия и шелководства» и фундаментальный «Трактат о сельском хозяйстве» Ван Чэня (изданный в 1313 г.). В книге Чэня содержится 300 очень подробных иллюстраций, дающих возможность реконструировать изображенные на них приспособления.
4. Китай на полтора с лишним тысячелетия обгонял Европу в использовании доменных печей, позволявших выплавлять чугуны и получать из него чистое железо. Чугунное литье было известно в Китае уже к 200 г. до н. э.; в Европе оно появилось самое раннее в конце XIV в. Хотя точный момент изобретения чугуна в Китае неизвестен, несомненно, что в Средние века Китай намного превосходил Европу в выплавке чугуна даже в расчете на душу населения. В основе китайских успехов лежало применение мехов двойного действия, оснащенных поршнями и приводившихся в движение водой, угля, огнеупорной глины (позволявшей достигать очень высоких температур), а также обширные познания в металлургии¹. Кроме того,

1. Например, китайцы освоили литье чугунных колоколов, которое является очень непростым делом. В Европе колокола даже после появления литья отливались в основном из бронзы, поскольку

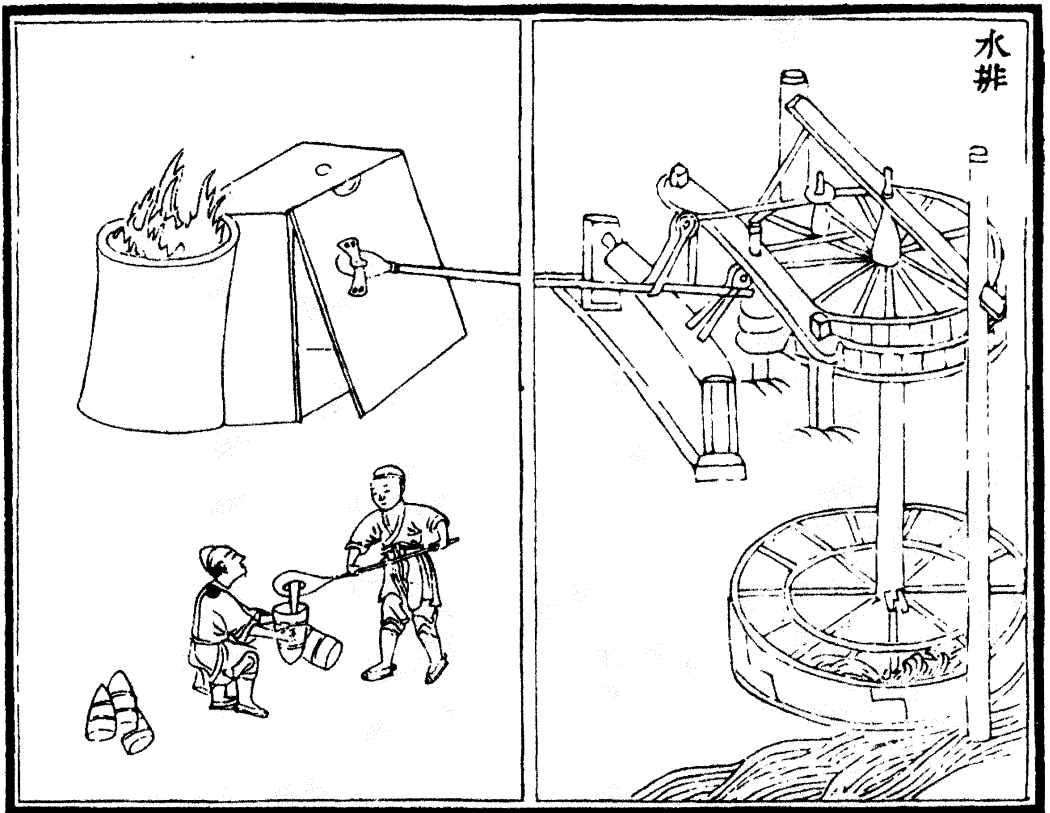


РИС. 42. Воздуходувка для китайской плавильной печи, оснащенная приводом от водяного колеса. Обратите внимание на использование кривошипа в трансмиссионном механизме

Источник: Ван Чэнь, «Нун Шу» («Трактат о сельском хозяйстве»), 1313, здесь и далее воспроизводится по: Joseph Needham, *Science and Civilisation in China*, vol. 4 part 2, Cambridge University Press.

Китаю повезло в том смысле, что железная руда в этой стране отличается высоким содержанием фосфора, снижающего температуру плавления железа и облегчающего литье. Также китайцы обгоняли Запад в производстве стали, которую получали с использованием приемов совместной переплавки и оксидирования.

европейцы не разбирались в том, какими физическими свойствами должны обладать колокола (Rostoker et al., 1984).

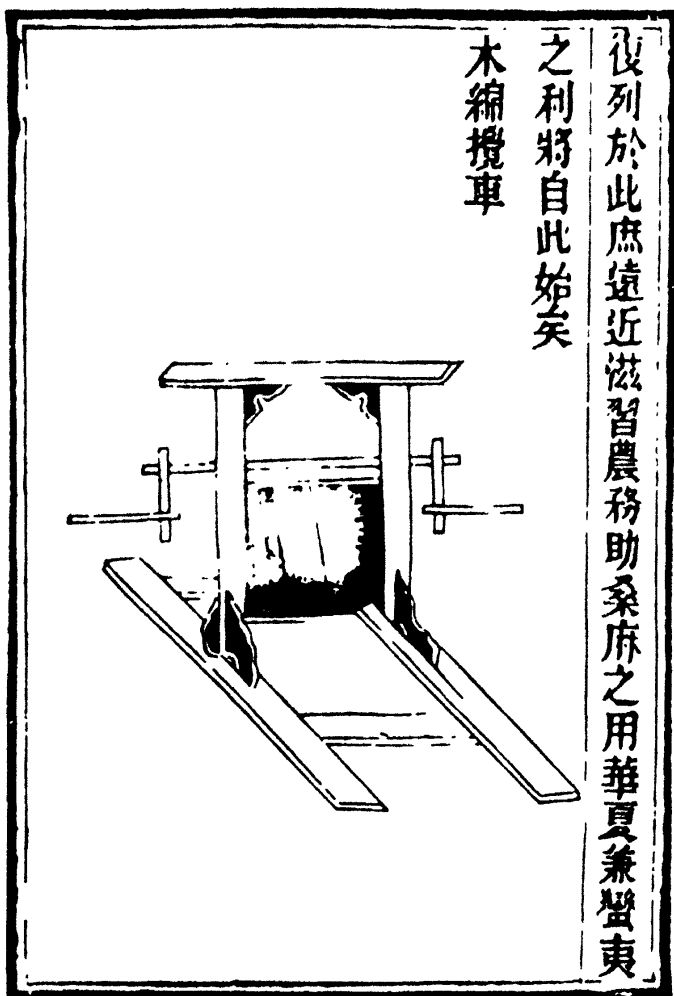


РИС. 43. Китайская хлопкоочистительная машина, применявшаяся в эпоху Юань (XIII–XIV вв.)

Источник: «Нун Шу», 1313.

5. В текстильной отрасли прялка появляется примерно в одно и то же время и в Китае, и на Западе — в XIII в. (возможно, в Китае несколько раньше), — но совершенствуется в Китае гораздо быстрее и существеннее. Китайцы использовали централизованный механический привод в производстве тех видов пряжи, которые относительно легко поддавались механизации, таких как шелк и пенька, а также пряжа из рами (китайского волокнистого растения). В хлопчатобумажной индустрии за-

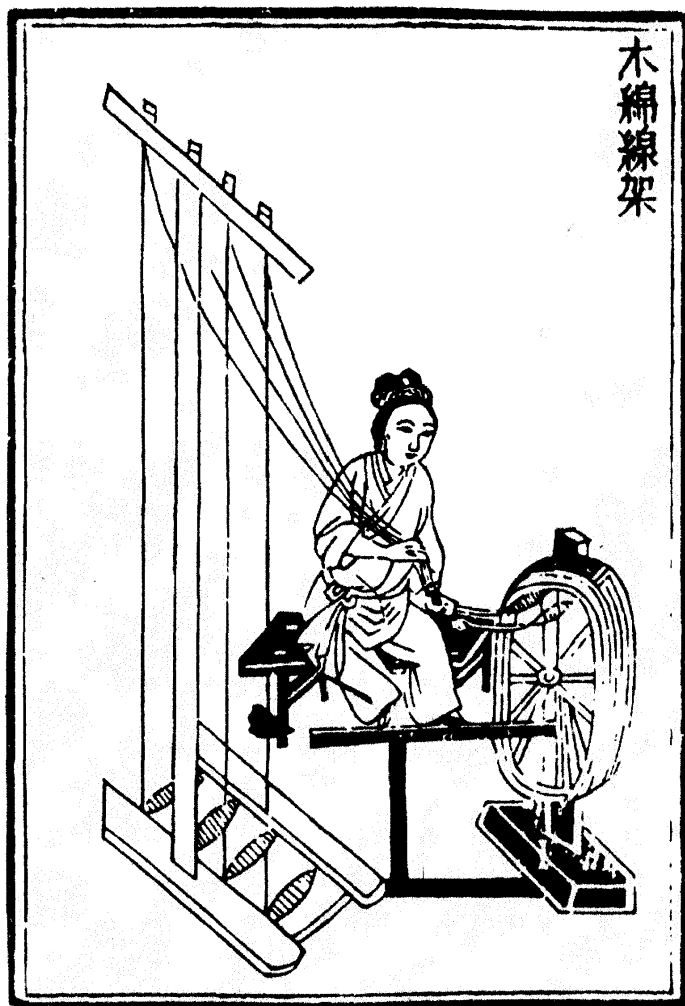


РИС. 44. Прялка для скручивания двух отдельных нитей. Вращение колеса осуществляется педалью
Источник: «Нун Шу», 1313.

дача применения централизованных источников энергии была решена лишь во время британской промышленной революции, однако китайцы задолго до этого сумели создать небольшую прялку с несколькими веретенами, похожую на «Дженни» Харгривса. Сложные ткацкие станки появились еще раньше: станки, позволявшие ткать сложные узоры на шелке, использовались в эпоху Хань (около 200 г. до н. э.), а впоследствии применялись и при производстве хлопчатобумажных тканей.

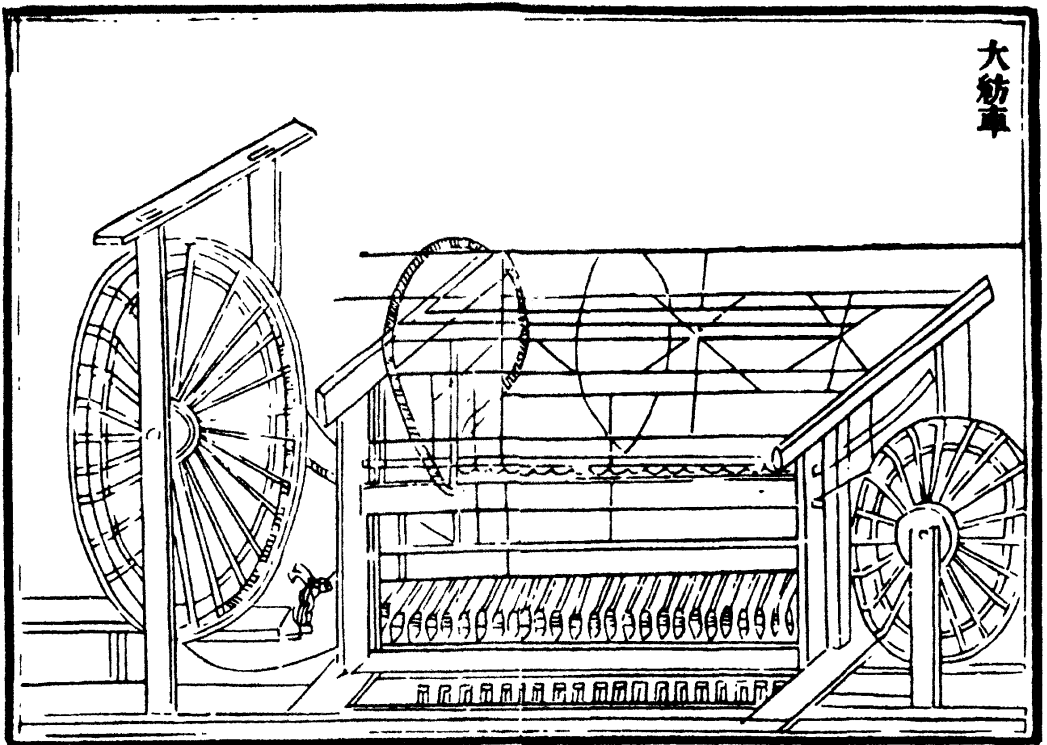


РИС. 45. Средневековый многоверетенный китайский станок для изготовления пряжи из рами. Более крупный вариант такого станка приводился в действие водяным колесом.

Источник: «Нун Шу», 1313.

С помощью механических станков осуществлялась очистка хлопка. Похоже, что к концу Средних веков в Китае сложились условия для процесса, имевшего невероятное сходство с великой британской промышленной революцией.

6. Внедрение водяного колеса в Китае и в Европе шло почти одновременно. Рейнольдс (Reynolds, 1983) показывает, что до III в. н. э. китайцы главным образом пользовались водяным рычагом — примитивным устройством, создававшим возвратно-поступательное движение посредством стержня с лотком на конце, в который наливалась вода, вследствие чего он опрокидывался. Уже в начале VIII в. н. э. китайцы строили гидравлические

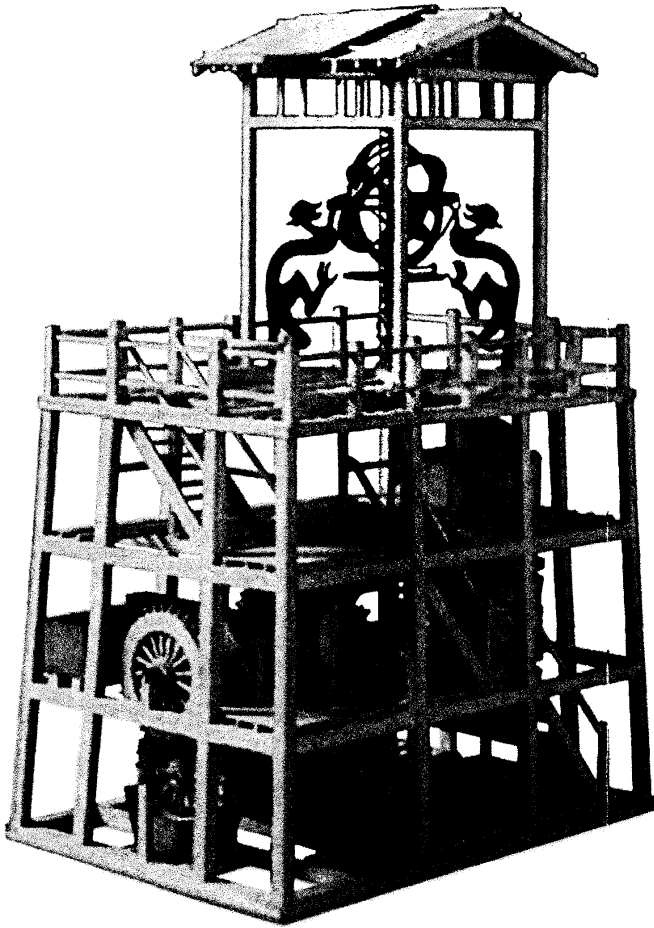


РИС. 46. Модель «Большой космической машины», построенной Су Суном в 1086 г. Эти часы имели механический регулятор хода, но приводились в действие потоком воды
Источник: Музей науки, Лондон.

молоты, а в 1280 г. они полностью перешли на вертикальные водяные колеса.

Столетиями считалось, что китайцы научились измерению времени у европейцев. Эту точку зрения опровергли Нидхэм и его коллеги, показавшие, что в эпоху династии Сун, в X и XI вв., китайские часовщики строили сложные и хитроумные водяные часы с регулятором хода (хотя он отличался от корончато-штыревого механизма, применявшегося в европейских часах-ходиках). Верши-

ной китайских достижений в измерении времени стало строительство знаменитых часов Су Суна в 1086 г. Вероятно, они представляли собой самые сложные из когда-либо сооруженных водяных часов, достигая в высоту 40 футов и не только показывая время, но и отображая самые разные астрономические явления, такие как положение луны и планет. Хотя не вполне верно считать, что китайские водяные часы предшествовали европейским механическим часам, эти инструменты своей сложностью, тщательностью изготовления, продуманностью конструкции и точностью хода далеко превосходили все, что могла предложить Европа около 1100 г. (Landes, 1983, p. 17–36).

8. Не менее впечатляющими были и китайские успехи в сфере кораблестроения. То, что китайцы изобрели компас (около 960 г.), знает каждый школьник, однако компас был далеко не единственным их достижением. В том, что касается конструкции кораблей, китайцы опережали европейцев на много столетий. Их океанские джонки были намного крупнее и превосходили по своим мореходным свойствам лучшие европейские суда, строившиеся до 1400 г.² Китайские корабли имели обшивку вгладь (с планками, уложенными стык в стык), были оснащены множеством мачт, но при этом строились без килля, ахтерштевня и форштевня. Их корпуса были разделены переборками на водонепроницаемые отсеки, не позволявшие кораблю утонуть в случае течи. Нидхэм высказывает догадку, что на эту идею китайцев натолкнули поперечные перегородки в бамбуковом стебле (Ronan

2. Марко Поло в 1290-е гг. отзывался о китайских кораблях самым восторженным образом. Полвека спустя они произвели аналогичное впечатление и на мусульманского путешественника Ибн Баттуту. Элвин (Elvin, 1973, p. 137) отмечает, что после 1000 г. иностранные купцы предпочитали плавать на китайских судах.

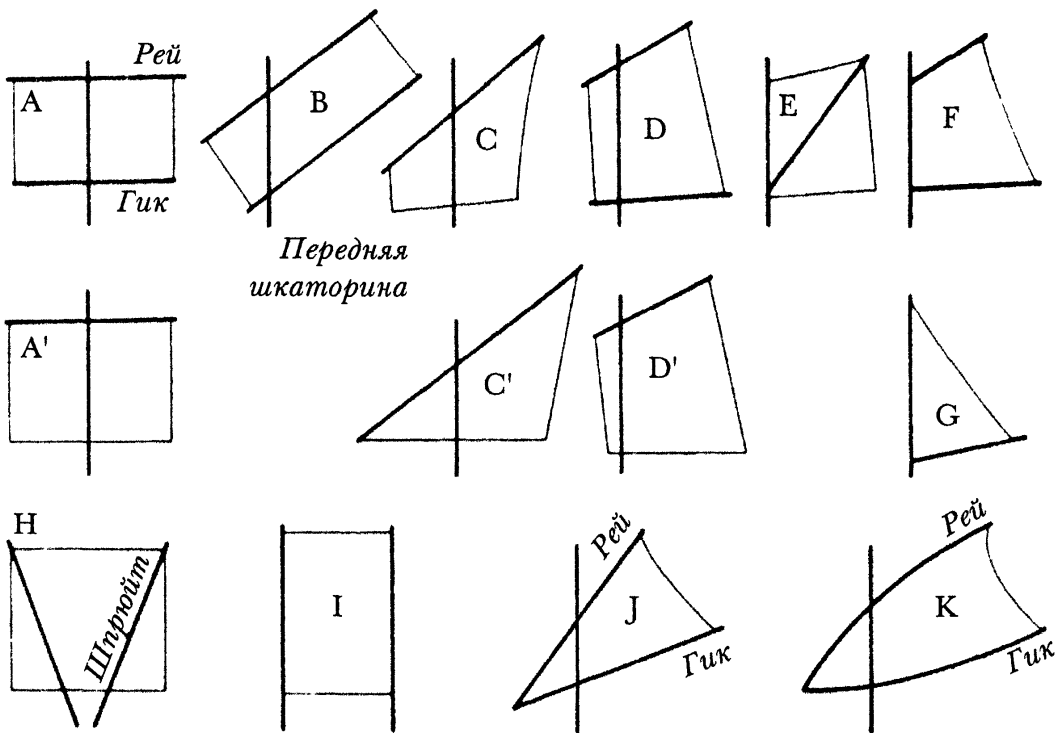


РИС. 47. Основные типы парусов.

D, D' и E — люгерные и шпрюйтовый паруса, использовавшиеся на китайских джонках

Источник: Joseph Needham and Colin A. Roman, *The Shorter Science and Civilisation in China*, vol. 3, Cambridge University Press.

and Needham, 1986, p. 66). Несмотря на очевидные преимущества такой системы, она не применялась на Западе до XIX в. Нидхэм (Needham, 1970, p. 63) делает вывод о том, что китайские корабли имели «намного более прочную конструкцию, чем мы встречаем у любой другой цивилизации».

Кроме того, вплоть до создания трехмачтовых каравелл в середине XV в. ни одно судно не могло сравниться с китайскими кораблями своей маневренностью. Еще в III в. н. э. джонки оснащались трапециевидными люгерными парусами, позволявшими ходить против ветра аналогично западному латинскому парусу. Кроме того, китайцы

придумали судовой руль задолго до того, как тот появился в Европе — достижение тем более замечательное в силу того, что китайские корабли, собственно говоря, не имели ахтерштевня, к которому крепится такой руль³.

9. Китайцы первыми научились делать бумагу, которая стала известна на Западе лишь спустя тысячу с лишним лет. По традиции считается, что бумагу около 100 г. н. э. изобрел Цай Лунь, однако современные исследования показывают, что бумагой пользовались уже за несколько веков до него (Tsuen-Hsuei, 1985, p. 40–41). Реально заслуга Цай Луня состоит в том, что он придумал способ изготовления бумаги из древесной коры. На бумаге не только писали: высококачественная и прочная бумага применялась для производства одежды, обуви и боевых доспехов. За сотни лет до того, как бумажные деньги и обои вошли в европейский обиход, они уже были распространены в средневековом Китае, а еще в 590 г. китайцы широко пользовались туалетной бумагой (Needham, 1970, p. 373). Книгопечатание, вероятно, началось в Китае в конце VII в.⁴ Поначалу китайцы применяли ксилографию — технику печати, при которой текст в зеркальном виде вырезается на деревянной доске, — но уже в 1045 г. н. э. Пи Шэн изобрел разборный шрифт, сделанный из фарфора. Металлический разборный шрифт использовался в Корее около 1240 г. Знал ли Гутенберг об этих изобретениях — вопрос спорный; факты и логика убеждают нас в обратном. Но даже если европейцы изобре-

3. В 1958 г. археологи нашли глиняную модель корабля эпохи Хань (I–II вв.), явно оснащенную кормовым рулем (Needham, 1971, p. 257–258).

4. Первая известная печатная книга была найдена в 1907 г. в пещере. Она представляет собой буддистский текст, напечатанный в 868 г. (Huard et al., 1969, p. 287).

ли разборный шрифт независимо от китайцев, это ничуть не умаляет китайских достижений.

10. К периоду 700–1400 гг. относятся многие другие примеры китайской изобретательности. В эпоху Тан (618–906 гг.) в Китае появился настоящий фарфор. В начале XV в. была построена знаменитая фарфоровая пагода в Нанкине, имевшая в высоту девять этажей (более 260 футов); ее внешние стены были обложены кирпичами из лучшего белого фарфора. В Китае были развиты такие отрасли химического производства, как изготовление лаков, взрывчатки, лекарств, медного купороса (применявшегося как инсектицид) и солей металлов. Идея прикрепить к носилкам колесо вместо второго носильщика, очевидно, до XII в. в Европе никому не приходила в голову, в то время как в Китае тачки были известны уже в 232 г., а может быть, и раньше. Китайцы сверлили в земле глубокие скважины (до 3000 футов глубиной) для добычи соляного раствора в провинции Сычуань. За много веков до Эйлмера из Мелмсбери они умели летать на воздушных змеях. В военной сфере китайцы на столетия обогнали европейцев, широко применяя арбалеты и камнеметы. Современная конская упряжь, созданная в Китае около 250 г. до н.э., проникла в Европу лишь тысячу лет спустя (Needham, 1965, p. 311–312). Китайцы сделали ряд ключевых открытий в медицине, причем некоторые из них (например, иглоукалывание) были окончательно признаны на Западе лишь в последние десятилетия. В области бытовых удобств и развлечений Запад обязан Китаю такими обыденными, но полезными вещами, как спички, зонтик, зубная щетка и игральные карты. И этот список можно продолжать.

И все же Китай не сумел стать тем, чем в итоге стала Европа. Примерно в то время, к которому относится начало европейского Ренессанса, технический прогресс

в Китае замедлился, а затем совершенно прекратился. Вообще говоря, в Китае продолжался экономический рост — но главным образом смитианского типа, основанный на развитии внутренней торговли, монетизации и колонизации южных провинций. Некоторые прежде известные технологии вышли из употребления, а затем были забыты. В других случаях великие начинания так и не были полностью реализованы. Трудно осознать всю грандиозность последствий этого фиаско для всемирной истории. Китайцы, можно сказать, находились в двух шагах от мирового господства, но отказались от него. «В XIV в. Китай стоял на грани индустриализации», — утверждает Джонс (Jones, 1981, p. 160). Однако в 1600 г. китайская техническая отсталость была очевидна для большинства посетителей; к XIX в. ее считали невыносимой сами китайцы⁵.

Это замедление темпа технических изменений не следует понимать как экономическую стагнацию. Вплоть до XIX в. цинский Китай был способен прокормить растущее население при отсутствии сколько-нибудь заметного снижения уровня жизни. Тем не менее этот экономический рост был совершенно лишен технического динамизма эпох Тан и Сун. Момент, когда начался технический упадок Китая, затруднительно определить с приемлемой точностью. Темпы технического развития замедлялись постепенно, приведя к XIX в. к очевидной

5. Один из самых поразительных аспектов великого китайского упадка заключался в том, что, несмотря на непрерывные контакты с европейской цивилизацией, китайцам было трудно признать, как сильно они отстали от Европы. В китайском тексте, написанном в конце XVIII в., утверждалось, что помимо некоторых успехов в геодезии и ирригации, достижения Запада ограничиваются игрушками и курьезами (Cipolla, 1967, p. 89). Однако еще с середины XVI в. китайцы знали, что голландцы и португальцы превосходят их умением делать пушки, часы и приборы. Даже западные корабли имели у китайцев и японцев репутацию более совершенных, чем их собственные (Cipolla, 1965, p. 122).

отсталости Китая по сравнению с Европой. В 1769 г. британец Уильям Хики, посетивший Кантон, отмечал, что китайцы, которых убеждали в том, как выгодно было бы для них освоение европейских технологий, «без колебаний и с крайним хладнокровием признавали наше превосходство, оправдывая свои привычки тем, что „так принято в Китае“» (цит. по: Jones, 1989, p. 16). Степень разрыва между западной и китайской техникой часто иллюстрируют, ссылаясь на «опиумную войну» между Великобританией и Китаем в 1842 г., когда превосходство в военной технике позволило англичанам навязать позорные условия мира огромной и гордой империи⁶. Осознание преимущества Запада, должно быть, служило источником постоянной муки для осведомленных китайских чиновников задолго до этой войны. Перед ними, как выразился Чиполла, стояла дилемма гамлетовского масштаба: следует ли подражать Западу или игнорировать его успехи?

Столетиями Китай предпочитал второй вариант. Начиная с прихода к власти династии Мин в 1368 г. и вплоть до конца XIX в. китайская экономика развивалась главным образом благодаря росту населения, вырубке лесов, коммерческой экспансии и постоянно усиливавшейся интенсификации сельского хозяйства в условиях нарастающей технической стагнации. История Китая убедительно опровергает теорию Бозеруп-Саймона о том, что причиной технического прогресса служит демографическое давление.

Среди тех китайских технологий, что были реально утрачены или забыты, наибольший интерес представляет измерение времени вследствие технологических эффектов перелива, приписываемых изобретению меха-

6. Как подробно описывает Хедрик (Headrick, 1981), когда с полдюжины британских паровых канонерок вошли в реку Янцзы, их мощные пушки и неожиданная способность плыть против течения посеяли панику среди китайцев, тем самым решив исход войны в пользу англичан.

нических часов в Европе. К XVI в. китайцы совершенно забыли о шедевре Су Суна. Не сумели они создать и ничего подобного европейским часам-ходикам. Иезуиты, прибывшие в Китай в 1580-х гг., сообщали, что китайцы знают лишь самые примитивные способы измерения времени, и ловко пользовались часами как приманкой для китайских чиновников, чтобы получить разрешение на въезд в страну. Китайцы выражали радость и изумление при виде нового устройства, но относились к нему как к игрушке, а не как к полезному инструменту.

В сфере океанских плаваний упадок Китая по отношению к Западу наступил внезапно. Менее века спустя после великих путешествий Чжэн Хэ китайские верфи были закрыты, а морские джонки с тремя и более мачтами — запрещены. Китайцы утратили технологию строительства крупных океанских джонок, способных совершать длительные плавания. Менее заметным был упадок в железоплавильной отрасли. Имеются свидетельства о том, что в 1690 г. китайские сталевары применяли холодное дутье, предвосхитив технологию выплавки стали в бессемеровском конвертере. Тем не менее даже такой поклонник китайской техники, как Нидхэм, был вынужден признать, что «в современную эпоху Китай в глазах всего мира предстал страной бамбука и дерева» (Needham, 1964, p. 19). Можно вспомнить и про «сао-чхэ», шелкомотальную машину, использовавшуюся в Китае еще в 1090 г. (Needham, 1965, p. 2, 105–108). Однако к середине XIX в. шелк-сырец, составлявший около 35% китайского экспорта, сматывали исключительно вручную, и вследствие неоднородного качества его приходилось перематывать в Европе (Brown, 1979, p. 553)⁷. Также можно привести в пример

7. Вполне возможно, что Кан (Kuhn, 1988, p. 400–404) прав, утверждая, что переход на механическое шелкомотание почти не давал прироста производительности, обеспечивая главным образом более однородное качество продукции. Однако к концу XIX в. китайцы освоили западные шелкомотальные станки.

уголь, добывавшийся в Китае со Средневековья, о чем не без удивления сообщал Марко Поло. В XIX в. добыча угля в Китае велась на примитивном уровне — в неглубоких шахтах, не имевших никаких механических устройств для вентиляции, откачки воды и подъема грузов (Brown and Wright, 1981). Между Средневековьем и современной эпохой что-то в Китае было утрачено⁸.

Не менее поразительной является неспособность китайских технологий развивать успех в тех сферах, где они были очень близки к прорыву. Например, разборный шрифт не прижился в Китае, где продолжала доминировать печать с деревянных досок. Возможное объяснение состоит в том, что разборный шрифт менее пригоден для иероглифической письменности, чем для более простого западного алфавита⁹. Но как мы можем объяснить, почему китайские прядильщики так и не создали настоящий прядильный станок? Как отмечает Чао (Chao, 1977), станок с несколькими веретенами для получения пряжи из рами так и не нашел применения в хлопчатобумажной индустрии, где использовались небольшие прядки не более чем с тремя-четырьмя веретенами. Принципиальной деталью в «Дженни» Харгривса, отсутствовавшей в китайской хлопкопрядильной отрасли, был вытяжной брус, имитировавший движения человеческой руки и одновременно вытягивавший сразу много нитей пряжи. Трудно поверить в то, что такая относительно простая идея так и не пришла в голову ни одному умному китайцу, но если это когда-либо

8. Упадок китайской железоплавильной отрасли отчасти приписывался монгольскому завоеванию в XIII в. и тому, что войска династии Юань (1264–1368) не испытывали большой потребности в железе, предпочитая использовать иное оружие.

9. В Корее, где впервые появился разборный шрифт, печатники XV в. создали фонетический алфавит «хангыль», который мог бы намного упростить печать. Тем не менее влиятельные круги не пожелали отказываться от старых китайских иероглифов, и потому вплоть до XIX в. в Корее было напечатано очень мало книг (Volti, 1988, p. 141).

и случилось, то мы ничего об этом не знаем. Аналогичным образом, в годы династии Мин (1368–1644) китайцы создали ткацкий станок с педалью, но после этого техника ткачества не изменялась до конца XIX в. Китайцы, очевидно, так и не додумались ни до чего подобного «челноку-самолету» — простому устройству, многократно увеличившему производительность труда ткачей.

Китайцы не сумели закрепить свое преимущество и во многих других сферах. Например, в области военной техники китайцы уже в X в. использовали порох в ракетах и бомбах. Но несмотря на их опыт обращения со взрывчаткой и превосходство в металлургии, им явно пришлось учиться артиллерийскому делу у Запада (в середине XIV в.), а позаимствованные из Европы военные технологии не получили у них дальнейшего развития¹⁰. Когда Китая в 1514 г. достигли португальцы, на китайцев произвели сильное впечатление их мушкеты («франкские устройства») и вертлюжные судовые пушки, немедленно ими перенятые (Needham, 1981, p. 44). Однако китайцам не удавалось поспеть за непрерывным совершенствованием огнестрельного оружия, происходившим на Западе. В XVII в. императорам из династии Мин пришлось обращаться к находившимся в Китае иезуитам, чтобы те помогли им приобрести в Макао пушки, необходимые для защиты страны от маньчжурских монголов. В 1620-е гг. китайские чиновники неоднократно советовали оснастить китайскую армию западной артиллерией. В 1850 г. китайская армия по-прежнему пользовалась оружием XVI в., и лишь поражения, понесенные ею от мятежников-тайпинов во время гражданской войны в 1851–1864 гг., вынудили ее покупать на Западе современное оружие (Hacker, 1977).

10. Не исключено, что впервые пушку изобрели в XI или XII в. в провинции Сычуань. Однако у нас нет никаких фактов об использовании огнестрельного оружия в Китае до появления европейцев. Выражаю благодарность профессору Линде Шаффер из университета Тафтс, сообщившей мне эту информацию.

В области гидротехники прогресс никогда полностью не прекращался, однако китайские достижения «не могли сравняться с достижениями европейцев, особенно в период с XI по XVI вв». (Reynolds, 1983, p. 116). Что касается сельского хозяйства, при посредстве португальских торговцев и китайцев, переселившихся на Филиппины, в Китай попали новые культуры из Америки. Освоение этих культур шло с переменным успехом: такие культуры, как сладкий картофель и арахис, превосходно вызревавшие на бросовых землях, получили широкое распространение. Однако важнейшие продовольственные культуры, претендовавшие в основном на пахотные земли, такие как картофель и кукуруза, осваивались медленно, несмотря на их преимущества (Perkins, 1969, p. 47; Gray, 1984, p. 458)¹¹. С точки зрения специалиста по истории экологии (Jones, 1981, p. 171) китайские успехи в сельском хозяйстве «были совершенно несопоставимы с тем, чего добилась Европа». Другой историк китайского сельского хозяйства (Chao, 1986, p. 195) решительно заявляет, что «темп инноваций [в китайском сельском хозяйстве] резко снизился после 1300 г. и окончательно стал нулевым после 1700 г.». Возможности для развития не использовались. В Китай были завезены европейские поршневые насосы, которые бы оченьгодились в районах поливного земледелия в Северном Китае, например в провинциях Хунань и Шаньси. Однако они

11. Кукуруза имела то преимущество, что ее можно было выращивать в относительно бесплодных горах, не использовавшихся под другие посевы, это делало весьма низкими альтернативные издержки. То же самое верно *a fortiori* и в отношении картофеля — трудоемкой культуры с высокой урожайностью, что делало ее, как и кукурузу, привлекательной в условиях высокой плотности населения. Эти культуры не получили большого распространения в Китае якобы из-за того, что китайцы терпеть не могли их вкуса — вплоть до того, что «употребление в пищу картофеля считалось актом отчаяния, на который решались лишь под угрозой голодной смерти» (Perkins, 1969, p. 48), а кукурузу «решительно ненавидели» и ели лишь «при отсутствии иного выхода» (Gray, 1984, p. 458).

редко применялись — по-видимому, из-за высокой стоимости меди. Но даже такое простое устройство, как архимедов винт, который китайцы, узнав о нем от иезуитов, поначалу внедряли с немалой изобретательностью, также не получило большого распространения вследствие дороговизны металла (Elvin, 1973, p. 303). Почему обществу, в Средние века лидировавшему в сфере металлургических технологий, пришлось отказаться от использования простых и полезных механизмов из-за высокой цены материалов, до сих пор является загадкой. Регресс, кажется, наблюдался даже в том, что касается распространения технических знаний: великая техническая энциклопедия «Тхиен Кун Хай Ву» («Использование даров природы»), написанная в 1637 г. Сун Юнсинем («китайским Дидро») и представлявшая собой превосходный обзор китайских технологий от ткачества до гидротехники и обработки нефрита, была уничтожена — по-видимому, из-за политических воззрений автора — и дошла до нас лишь благодаря японскому переизданию¹². Прославленный «Трактат о сельском хозяйстве» Ван Чэня, изданный в 1313 г., к 1530 г. существовал уже в одном-единственном экземпляре¹³.

12. Многочисленные красивые и информативные изображения механических устройств, приведенные в этой книге, явно противоречат мнению Чиполлы (Cipolla, 1967, p. 33) о том, что разница между Европой и Китаем нашла выражение в выборе тем для рисунков: если Франческо ди Джорджо и Леонардо да Винчи рисовали мельницы и зубчатые передачи, то китайские художники предпочитали рисовать цветы и бабочек.

13. Сравнение двух сельскохозяйственных трактатов, изданных правительством с промежутком в полтысячи лет, позволяет судить о произошедших за это время изменениях. Трактат «Нун сан чи яо», изданный в 1273 г. — это практическое руководство, содержащее полезную информацию о различных почвах и о выращивании наиболее пригодных для них культур. С другой стороны, «Шоу ши тун као» — вышедший в 1742 г. трактат, распространявшийся по всему Китаю, — представлял собой в первую очередь образчик имперской пропаганды, имевший своей целью прославление императора и ставивший церемониал выше практических потребностей (Bray, 1984, p. 70–74).

Возникает искушение трактовать технологический упадок Китая после 1400 г. как чисто относительное явление. Эпоха, в которую замедлилось техническое развитие Китая, приблизительно приходилась на столетие, в течение которого европейцы научились выплавлять чугун, печатать книги и строить океанские суда. Некоторые историки (см., например: Hucker, 1975, p. 356) пытались объяснить позднейшую отсталость Китая тем, что наблюдавшееся там после 1400 г. снижение темпов технических изменений было вполне естественным, и утверждали, что объяснять нужно поразительно быстрое развитие Европы. Но такой релятивистский подход к изучению китайской истории не может нас вполне удовлетворить. Во-первых, отсутствие прогресса в Китае после 1400 г. удивляет не только в свете европейских успехов, но и в сравнении с достижениями самого Китая в предшествующие столетия. Во-вторых, такой сравнительный подход в реальности лишь порождает дальнейшие вопросы. Из европейского опыта как будто бы вытекает, что ничто так не способствует успеху, как успех: медленный, но непрерывный прогресс в начале Средних веков стал фундаментом для достижений эпохи Ренессанса, которые, в свою очередь, вымостили путь для изобретений промышленной революции и полного технического превосходства, достигнутого Европой к 1914 г. Почему такая кумулятивная модель зависимости от пути развития не сработала в Китае? В конце концов, технические проблемы, стоявшие перед обеими цивилизациями: чем удобрять пахотные земли, как производить ткани, как использовать источники кинетической и тепловой энергии и где взять высококачественные материалы для изготовления орудий и для строительства — носили несомненное сходство, а предлагавшиеся решения имели так мало различий, что Нидхэм упорно отстаивает идею о заимствовании инноваций отстающим (Европой) у лидера (Китая).

В аналогичном ключе Брэй (Bray, 1986) утверждает, что явный регресс Китая в некоторой степени пред-

ставляет собой оптическую иллюзию. Технические изменения в трудоинтенсивной рисоводческой экономике просто принимали иную форму, нежели европейские изобретения, направленные на экономию труда. Рост населения вел к интенсификации сельского хозяйства путем сбора нескольких урожаев в год на одном поле и прочих трудоинтенсивных технологий. Брэй критикует «евроцентричные» модели исторических изменений за то, что они не способны учитывать изменения, происходившие на Востоке. В чем-то ее точка зрения разумна. Рисоводство на заливных полях своей урожайностью на единицу площади далеко превосходило сельское хозяйство Запада. Однако урожайность на душу населения — главный критерий экономических успехов — оставалась в лучшем случае стабильной до 1800 г., когда обвалилась вследствие демографического давления. О разнице между европейским и китайским опытом можно судить по тому факту, что в 1750–1950 гг. население Европы выросло в 3,5 раза, а население Китая — только в 2,6 раза. При этом Европа с легкостью могла себя прокормить и производила гораздо больше продовольствия, чем требовалось для поддержания прожиточного минимума, вследствие чего рост уровня жизни в Европе превзошел самые смелые мечты прежних эпох. И напротив, в рисоводческих экономиках Азии и соседних странах, выращивавших пшеницу, бедность и недоедание принимали все более угрожающие масштабы. Европа и Азия отличались не только тем, что в первой был капитализм, а во второй — нет, или тем, что в Европе существовали крупномасштабные зерновые и животноводческие хозяйства, более пригодные для механизации, чем мелкие рисовые чеки. Реальное различие заключалось в том, что Запад, или по крайней мере его существенная часть, обладал технологической креативностью, проявляя ее на протяжении большего времени, чем какое-либо другое общество. В отличие от китайцев, европейцы не просто экономии землю и капитал, используя труд все более и более интенсив-

но. Европейские изобретения иногда позволяли экономить труд, иногда — экономить землю, иногда не давали никакой экономии. Но их главным свойством было то, что они обеспечивали производство все большего количества все более качественных товаров.

О том, как сложно ответить, в чем заключалась причина отставания Китая, свидетельствуют очевидные недостатки некоторых предлагавшихся решений этой загадки. Многие авторы выдвигали гипотезы, объяснявшие, почему в Китае не появились те или иные конкретные инновации. Например, Чао (Chao, 1977, ch. III) считает, что китайцы не сумели использовать в хлопчатобумажной отрасли прядильный станок типа «Дженни» из-за того, что на таком устройстве должны были одновременно работать три человека, и это делало его непригодным для надомного производства. Эта аргументация неубедительна, но даже если бы она была верна, она бы объясняла всего один аспект намного более широкой проблемы¹⁴. Также и прекращение океанских плаваний объяснялось политической победой антифлотской клики при императорском дворе после 1430 г. В сельском хозяйстве причину стагнации урожайности по отношению к Европе усматривали в нехватке удобрений. Однако подобные гипотезы лишь порождают новые вопросы, поскольку они не в состоянии ответить, почему китайцы не сумели увеличить поголовье домашнего скота, выращивая фуражные культуры, как это сделали в Европе, или почему они так медленно осваивали кукурузу и картофель. Брэй в своей монументальной работе о китайском сельском хозяйстве указывает, что

14. Помимо того факта, что в Британии прялка «Дженни» использовалась в надомном производстве, для которого и была первоначально предназначена, Чао совершенно игнорирует наличие в Китае крупных частных предприятий с использованием наемного труда, занимавшихся строительством кораблей и производством железа, чая и тканей. Биржи труда существовали даже в рисоводстве (Bray, 1986, p. 120).

рисоводство на заливных полях не поддавалось механизации вследствие небольших оптимальных размеров хозяйства и проблематичности создания машин, которые могли бы заменить ручной труд на рисовых полях без снижения урожайности (Gray, 1954, p. 613). Но как эта теория может объяснить отсутствие прогресса в сельском хозяйстве северного Китая, основанном на выращивании зерновых культур на богарных землях? Джонс (Jones, 1981, p. 921) подчеркивает значение внутренних миграций, игравших роль предохранительного клапана. Потенциал южных лесистых областей в эпоху Сун оттягивал предприимчивых людей с технологического фронта, «направив династии Мин и Цин на путь статичной экспансии». Однако на Западе колонизация и внутренние миграции как будто бы не препятствовали техническим инновациям. В XII и XIII вв., когда западные европейцы вели колонизацию земель к востоку от реки Эльбы, темпы технического прогресса явно не снизились по сравнению с прежними эпохами.

Амбициозную теорию, объясняющую упадок Китая, выдвинул Элвин (Elvin, 1973), пытавшийся истолковать стагнацию китайской экономики с точки зрения равновесной ловушки «высокого уровня». Согласно модели Элвина, возможности для технических изменений в сельском хозяйстве были ограниченными, а вследствие роста населения возрастал спрос на сельскохозяйственные товары за счет спроса на прочие товары. Более того, он полагает, что демографическое давление привело к дефициту таких необходимых материалов, как дерево и металлы, сократившему возможности для технических изменений. Интересно отметить, что этот подход диаметрально противоположен тем теориям, в которых технические изменения объявляются «ответом» на «проблему» нужды и дефицита. Напротив, по мнению Элвина, дефицит препятствует техническим изменениям. Однако эта теория вступает в противоречие с прочими фактами, и в частности, с резким сокращением населения — по оценкам самого Элвина, уменьшившегося на 35–40% — вследствие

эпидемий, опустошавших Китай в 1580–1650 гг. (Elvin, 1973, p. 311), хотя в других источниках приводятся более низкие оценки. Более того, Элвин считает, что рост населения сопровождался сокращением излишков и дохода на душу населения, а потому приводил к снижению спроса на промышленные товары, вследствие чего «делать прибыльные изобретения становилось все более затруднительно» (Elvin, 1973, p. 314). Согласно Перкинсу (Perkins, 1969) и Жерне (Gernet, 1982), значительного снижения дохода или объема производства в сельском хозяйстве, вопреки утверждениям Элвина, не происходило. Более того, такая аргументация превращается в замкнутый круг, поскольку успешные изобретения повышали бы реальный доход и потому становились бы прибыльными. Наконец, что самое важное, Элвин не отличает валового дохода от дохода на душу населения: рыночный спрос определяют как доход на душу населения, так и численность душ на рынке. По крайней мере с точки зрения последней величины успешное изобретательство в Китае должно было быть более прибыльным, чем полагает Элвин, потому что численность населения страны увеличилась с 75 миллионов человек в 1400 г. до 320 миллионов в 1800 г. Наконец, Элвин, утверждая, что спрос возрастал в основном в аграрном секторе, в то время как технические возможности концентрировались в промышленности, игнорирует связь между развитием несельскохозяйственной техники и улучшением продовольственной ситуации благодаря совершенствованию транспорта и производству сельскохозяйственных орудий. Кроме того, никак не объясняется, почему китайские крестьяне в этот период так медленно осваивали плуг со стальным лемехом и поршневые водяные насосы или почему они не желали выращивать такие трудоинтенсивные и высокоурожайные культуры, как картофель.

Проблема выглядит настолько грандиозной, что для объяснения таких крупномасштабных изменений, произошедших в социетальном поведении, заманчиво прибегнуть к какой-либо экзогенной, но относительно про-

стой теории. В частности, привлекательной альтернативой социальным объяснениям представляются факторы, связанные с физиологией или с питанием. Непрерывно возрастающая зависимость Китая от риса как главного источника пищи могла иметь своим следствием дефицит белков, особенно в условиях незначительного потребления мяса и полного отсутствия молочных продуктов. Переход с пшеницы на рис по мере того, как центр тяжести китайского общества смещался на юг, мог вызывать ухудшение общего качества питания. Показательны замечания путешественников о том, что жители Южного Китая отличались более низким ростом по сравнению с северными китайцами, в рационе которых рис занимал меньше места. Не вполне ясно, действительно ли усиливавшаяся зависимость от риса была связана с ростом дефицита белков, однако эта гипотеза явно достойна дальнейшего изучения¹⁵. От недоедания не обязательно страдали только дети, и вполне возможно, что общий уровень производства продовольствия в отдельных регионах Китая не поспевал за стремительным ростом населения, имея следствием не столько массовый голод, сколько летаргию и отсутствие энергии, характерные для недоедающего населения. В этой связи интересную идею высказывает (но не развивает ее) Джонс (Jones, 1981, р. 6–7), отмечающий, что когда демографический центр тяжести Китая сместился на юг, основную часть

15. Шлифованный рис содержит относительно немного белков (7%), хотя обычно очень высококачественных. Нешлифованный («бурый») рис богаче белками, но поскольку его труднее готовить и пережевывать, он менее популярен, особенно в качестве питания для младенцев. Не имея достоверной информации о том, в каком количестве рис потреблялся младенцами, мы можем лишь строить догадки в отношении того, насколько был распространен синдром младенческого дефицита белков (IPDS). Зерновые в рационе китайцев дополнялись рыбой и соей, обеспечивавших необходимые белки. Однако в густонаселенных аграрных регионах юга зависимость населения от риса могла вызывать серьезный дефицит питательных веществ.

полевых работ крестьяне стали производить в теплой стоячей воде, используя в качестве удобрений человеческие фекалии, и это привело к беспрецедентно высокому, по сравнению с Европой, заражению населения паразитами. Распространение эндопаразитических инфекций — и в первую очередь шистосомоза, тесно связанного с земледелием на заливных полях, — могло лишить страну резервов энергичной и гибкой рабочей силы, необходимых для устойчивого технического прогресса. Объяснения макроисторических событий, основанные на людской физиологии, могут показаться надуманными и спекулятивными. Однако связи между изменениями в биологии человеческого социума и экономической историей начали изучаться совсем недавно, и подробно рассмотреть этот вопрос предстоит будущим исследователям.

Согласно популярному объяснению китайской отсталости китайское мировоззрение было по каким-то причинам непригодно для научного и технического прогресса. В знаменитом эссе «Почему в Китае нет науки», изданном в 1922 г., китайский философ Фэн Ю Лан утверждал, что китайская философия по своей природе обращена не вовне, а внутрь человека. Китайцы стремятся покорить душу, а не свое окружение. «Содержание [китайской] мудрости составляли не интеллектуальные знания, а ее функция состояла не в приращении внешних благ», — писал Фэн Ю Лан (цит. по: Needham, 1969, p. 115). Конфуцианская философия считала целью науки и государственного управления поддержание гармоничных отношений в обществе и достижение равновесия между человечеством и его естественным окружением. Однако в такой грубой форме эта аргументация не выдерживает критики. До 1400 г. в Китае не только была своя наука; китайская наука и техника во многих отношениях превосходили науку и технику Запада. Китайцы никогда не стеснялись использовать свои изобретения, получая точно такие же «бесплатные завтраки», к которым Запад приучился в Средние века. Даже после 1400 г. мы почти не встречаем фактов, которые бы указывали на не-

желание китайцев манипулировать окружающей средой. В XVIII веке в Китае происходили крупномасштабная вырубка лесов и колонизация южных лесистых регионов, вызвавшие эрозию почвы и причинившие окружающей среде ущерб, обычно ассоциирующийся с промышленностью и стремительным развитием. Самая грубая ошибка, какую только можно сделать в этой связи, — пытаться объяснить историю Китая, представляя его себе застывшим обществом. В первую очередь мы должны ответить не почему Китай отличался от Европы, а почему Китай в 1800 г. отличался от Китая в 1300 г.

Имея две крайние точки зрения (согласно первой, отсталость китайской техники объяснялась неприязнью к манипулированию природой и ее эксплуатации; по мнению сторонников второй, Китай и Запад ничем не отличались друг от друга), мы можем выбрать промежуточный компромиссный вариант. Различие между китайской и европейской цивилизациями было вопросом степени, усилившись после 1400 г., когда отношение Европы к материальному миру стало приобретать все более утилитарный характер. Обе цивилизации верили в право эксплуатировать природу для удовлетворения материальных потребностей людей и улучшения людской участи в той мере, в какой это возможно. Однако в истории техники мы видим не только использование имевшихся возможностей, но и их создание. В этом отношении агрессивность Запада и его вера в неограниченный и неконтролируемый прогресс существенно отличались от более умеренных восточных взглядов. Нидхэм (Needham, 1975, p. 38) одобрительно цитирует эссе Лина Уайта «Исторические корни нашего экологического кризиса» (перепечатано в: White, 1968), в котором тот однозначно возлагает ответственность за экологический кризис на западную религию. Китайцам не была свойственна вера в личность Бога, одобрительно взирающего на безжалостную эксплуатацию естественных ресурсов. Напротив, китайская (в первую очередь даосская) натуральная философия старалась найти равновесие между

человечеством и его физическим окружением. В Китае не взяло верх ни подчинение человека непреодолимым силам природы, ни его безусловное господство над природой в соответствии с западным антропоцентрическим мировоззрением. Идеалом считалось стабильное состояние с преобладанием гармоничных отношений сотрудничества между природой и людьми. «Ключевым словом неизменно является „гармония“, — пишет Нидхэм (Needham, 1975, p. 35–37), — чтобы использовать природу, требовалось идти с ней в ногу... всю историю Китая пронизывает осознание того, что человек является частью намного более великого организма».

Даже выраженная в такой скорректированной форме, не столь радикальной, как точка зрения Фэн Ю Лана, роль натуральной философии в истории техники подвергалась сомнению¹⁶. Может быть, дело в том, что около 1400 г. отношение китайцев к природе постепенно начало изменяться. Некоторые исследователи полагают, что распространение «стерильной традиционалистской версии неоконфуцианства» могло привести к тому, что на смену энергии, свойственной эпохам Тан и Сун, пришли интроспективная культура и политическая летаргия, отразившиеся во многих сферах науки и техники (Ronan and Needham, 1986, p. 147; Gille, 1978, p. 466–467).

16. Даосскую мудрость воплощает в себе китайское выражение «ву вэль». По словам Бертрانا Рассела, оно означает «производство без обладания, действие без самоутверждения, развитие без доминирования». Макс Вебер противопоставлял конфуцианский рационализм, подразумевавший разумное приспособление к миру, «„пуританскому“ рационализму», означавшему рациональное господство над миром. Некоторые современные авторы, включая Элвина (Elvin, 1984) и Джонса (Jones, 1981), склонны к обоснованному скептицизму в отношении этого упрощенного представления о китайской экономической истории, указывая на контраст между китайским земледелием, в котором широко использовались ирригация, гидротехнические работы на реках, создание террасированных полей и прочие способы преобразования природы, и европейским земледелием, зависевшим от выпадения осадков.

Видным представителем этой школы был Ван Ян Мин, философ XVI в., учивший, что природа — это всего лишь слепок с человеческого разума и что за пределами разума нет никаких принципов или законов. Если бы подобная теория получила широкое признание, она могла бы объяснить упадок китайской науки, хотя Ван Ян Мин также учил, что знания, не применяемые на практике, бессмысленны (Harrison, 1972, p. 336). В любом случае метафизический идеализм никогда не доминировал в китайском мышлении и вряд ли способен объяснить замедление технического развития в Китае после окончания Средних веков.

Интересное различие между китайским и западным образом мысли связано с логикой. В отличие от Запада, в Китае так и не была создана система формальной логики. Несмотря на свои достижения в алгебре, китайцы явно не интересовались строгими логическими структурами типа «это либо А, либо не А». Наоборот, их привлекало то, что мы сегодня называем «нечеткой логикой» — сравнительно недавно появившаяся область математики, в которой допустимы такие понятия, как «возможно» и «нечто». Нидхэм (Needham, 1975, p. 31–33) упорно утверждает, что эта особенность китайского мышления никак не сказалась на развитии науки, и вслед за Фрэнсисом Бэконом считает, что «логика бесполезна для научного прогресса». Однако очевидно, что Бэкон не хотел бы, чтобы его помнили за такие заявления. С его отрицанием математики как инструмента научного познания не были согласны Галилей, Декарт, Ньютон, Лейбниц и почти все прочие ведущие ученые его времени¹⁷. В аналогичном ключе Хартуэлл (Hart-

17. Интересно, что Нидхэм изменил свою точку зрения в отношении этого момента. В статье, впервые изданной в 1964 г. (Needham, 1969, p. 117), он писал, что «только в Западной Европе был разработан ключевой принцип изучения природы с помощью математизированных гипотез — использование математики для постановки вопросов».

well, 1971) полагает, что китайская логика основывалась на исторических аналогиях, а не на западном гипотетико-дедуктивном методе. Он признает, что выводы на основе аналогий и индукции могут вести к успешным инженерным открытиям, однако трансформация современного мира с помощью индуктивных методов заняла бы «несколько тысячелетий» вместо «трех или четырех веков» (Hartwell, 1971, p. 722–723).

Вопрос не в том, сказалось ли однобокое развитие китайской математики на состоянии современной науки, а в том, не имело ли оно заметных отрицательных последствий для техники. Хотя мы видели, что в XVII в. западные инженеры начали использовать математику в профессиональных целях, представляется преувеличением приписывать ей всю разницу между историческими путями развития западной и восточной техники. Поэтому вопрос, поставленный Фэн Ю Ланом, вдвойне некорректен с точки зрения нашей задачи: в Китае была наука, но та со временем «увязла в замшелом традиционализме» (Gille, 1978, p. 467). Кроме того, Китай столетиями лидировал в технологиях, но после 1400 г. уступил первенство Западу. Однако связь между техникой и наукой носит намного более тонкий характер, чем, вероятно, считали прежние исследователи. Возможно, Нидхэм и прочие авторы, писавшие о Китае, преувеличивали влияние, оказывавшееся западной наукой на западную технику до середины XIX в. Вывод о том, что Запад обладал современной наукой, а потому имел и преимущество в технике, ни на чем не основан. Мы просто не знаем, какой логикой пользовались безымянные люди, участвовавшие в развитии техники за сотни лет до промышленной революции. Корреляция между научными и техническими достижениями не означает наличия причинно-следственной связи. Те же факторы, которые обеспечили подъем науки на Западе, были ответственны и за его технический прогресс. Вопрос Фэн Ю Лана должен был заключаться в том, почему Китай утратил свое лидерство в науке, а не в том, почему в Китае вооб-

ще не было науки. И все же ответ на этот вопрос, важный сам по себе, не обязательно должен совпадать с ответом на вопрос, который интересует нас в первую очередь — почему Китай утратил свое лидерство в технике.

Таким образом, заявления о том, что китайская техническая отсталость, по сравнению с Западом, объясняется бесспорным прогрессом европейской науки по отношению к китайской науке после 1500 года, выглядят слишком поспешными. Тан (Tang, 1979) считает, что китайские сельскохозяйственные приемы в отсутствие научных прорывов вели к снижению отдачи. Но наука почти ничего не сделала для роста производства в европейском аграрном секторе в 1750–1850 годах, когда население Европы выросло почти вдвое и при этом не происходило сколько-нибудь заметного снижения отдачи. Тан (Tang, 1979, p. 9) утверждает, что «подобные манипуляции, эксперименты и открытия, совершавшиеся методом проб и ошибок, на которых строился ранний технический рывок Китая, не могли привести к накоплению кумулятивной систематической базы знаний, способной самостоятельно развиваться и обеспечивать бесконечный поток все более передовых практических инноваций». Однако именно с помощью точно такого же метода проб и ошибок Европа в 1500–1800 гг. добилась технического превосходства над Китаем. В этом отношении между Европой и Китаем не имелось принципиальных различий. Нидхэм (Needham, 1959, p. 154n) отмечает, что даже если Китай не породил людей, подобных Галилею и Декарту, там все же были люди, подобные Агриколе и Тарталье.

В смысле социальных объяснений никем так и не было предложено вполне удовлетворительной интерпретации. К сожалению, планировавшийся восьмой том «Науки и цивилизации в Китае» Нидхэма, в котором он обещал рассмотреть социальные факторы, определявшие технические изменения, так и не появился. В эссе, первоначально изданном в 1946 г., Нидхэм (Needham, 1959, p. 166–168; 1970, p. 82) высказал предположе-

ние о том, что главной причиной, по которой в Китае не появилась техника европейского типа, являлась неспособность китайских купцов взять власть в свои руки. В Европе, утверждал Нидхэм, техника была тесно связана с купцами, финансировавшими исследования с целью создания новых форм производства и торговли. В китайском же обществе доминировала имперская бюрократия, и потому различные прикладные знания, такие как механика, баллистика, гидростатика, насосы и пр., почти не приносили частной прибыли. Такие историки экономики, как Ростоу (Rostow, 1975, p. 19–21), считают невозможным принять эту точку зрения. Согласно современным исследованиям Нидхэм исходил из неверных предпосылок. Метцгер (Metzger, 1979) указывал, что в периоды Мин и Цин (1368–1911) социальный статус менее знатных групп населения, среди которых преобладали торговцы, повысился. Более того, какую бы роль ни играл меркантилистский капитализм в развитии европейской техники, сомнительно, чтобы европейские купцы в целом обладали намного большим политическим влиянием, чем их коллеги в Китае, где торговля и коммерция были развиты не хуже, а может быть, и лучше. Наконец, сама идея о «финансировании» исследований выглядит странным анахронизмом.

В последующих работах Нидхэм явно склоняется к точке зрения, более близкой к взглядам Джонса и других авторов (ср.: Needham, 1969, p. 120–122). Китай был и оставался империей с жестким бюрократическим контролем. Войны европейского типа между внутренними политическими единицами после 960 г. стали в Китае редкостью. Отсутствие политической конкуренции не означало конца технического прогресса, но оно означало, что одна-единственная влиятельная фигура могла нанести ему смертельный удар. Заинтересованные и просвещенные императоры поощряли технический прогресс, однако реакционные правители из числа последних императоров династии Мин явно предпочитали стабильное и контролируемое окружение. Новаторы

и пропагандисты иностранных идей считались смутьянами и подвергались гонениям. Подобные правители существовали и в Европе, но поскольку никто из них не контролировал весь континент, им в лучшем случае удавалось переместить экономический центр тяжести из одного региона в другой.

Возможно, самый выразительный пример того, на что способно реакционное правительство, мы найдем не в сфере технических изменений, а в сфере китайских географических исследований, которые совершенно прекратились после 1430 г. по воле императорского двора. Ни одно европейское правительство не могло остановить исследований: когда португальцы после 1580 г. утратили инициативу в строительстве своей заморской империи, им на смену с готовностью пришли голландцы и англичане. Впрочем, дело было не только в этом. Исследование европейцами новых территорий и их освоение являлось совместным предприятием государства и частного сектора. Почему в Китае после 1430 г. не возникло организации наподобие Ост-Индской компании — какой-нибудь Западно-Европейской компании? Ответ не только в том, что правительство запретило строительство крупных кораблей — более принципиально то, что в Китае отсутствовал спрос на иностранные товары. Европейцы всегда питали тягу к вещам, которые умели делать лишь на Востоке; что касается восточных империй, то они не испытывали особого интереса к европейцам и к их товарам. Все изменилось в середине XIX в., когда Япония и Китай осознали боевые возможности западного оружия. Но и тогда Япония стремительно переняла европейскую технику во всей ее полноте, в то время как Китай десятилетиями пытался импортировать европейское оружие, сохраняя свои старые социальные и экономические институты (Наскер, 1977).

Применима ли аналогичная аргументация к техническим изменениям? Может быть, китайцы просто потеряли к ним интерес? Иными словами, не прояв-

лялось ли различие между Европой и Китаем после 1400 г. в первую очередь в сфере предпочтений — в том, что касалось отношения к техническим изменениям и их последствиям? Нидхэм (Needham, 1969, p. 117–119) утверждает, что хотя «застывший» Китай в реальности никогда не существовал, в китайском обществе наблюдался некий «спонтанный гомеостаз», который Нидхэм противопоставляет «врожденной нестабильности» Европы. Согласно этой точке зрения китайское общество отличалось эндемичным предпочтением к саморегулированию и наличием механизмов обратной связи, обеспечивавших эргодический характер развития китайской техники. Несмотря на определенную привлекательность теории, сводящей различие между Востоком и Западом к различию между равновесной и неравновесной моделями, в данной формулировке она больше похожа на описание, чем на объяснение. Впрочем, это утверждение можно интерпретировать в том смысле, что в среднем китайцы по каким-то причинам ценили стабильность больше, чем европейцы. Возможно, Восток и Запад различались в своей неприязни к переменам и в своем отношении к темпу этих перемен.

Как такое могло случиться? Как говорилось выше, технический прогресс — это игра с положительной суммой, включающая победителей и проигравших. Хотя общая выгода по определению превышает общие потери, не всякое общество было готово платить цену, которую представляли собой издержки адаптации и возможные политические потрясения. Оценить социальные издержки технического прогресса непросто: они могут очень сильно различаться от места к месту. То, что на Западе могло показаться очень дешевым завтраком, в Китае могли счесть неприемлемо дорогим. Соответственно, снижение темпа технических изменений в Китае можно объяснить изменением социальных предпочтений в направлении, о котором говорит Фэй (Fei, 1953, p. 74), подчеркивающий стремление китайского общества избежать социальных конфликтов, нередко вы-

зываемых техническими изменениями. Также возможно, что в китайском обществе распределение власти и влияния сдвинулось в сторону более консервативных групп. Возможно, в этом заключается ключевое различие между Европой и Китаем. В Китае тоже имели место луддизм и открытое сопротивление техническому прогрессу, хотя число подобных случаев, отраженных в документах, невелико (Elvin, 1973, p. 315)¹⁸. Не исключено, что потенциальные новаторы ощущали угрозу и шарахались от новых идей, нередко связанных с западным влиянием¹⁹. Гильдии в Китае оставались значительной силой, и на них возлагают вину за блокирование инноваций в горном деле, на транспорте, в шелкомотальной отрасли и в производстве соевого масла (Olson, 1982, p. 150). Делается даже вывод о том, что «рыночные силы не могли преодолеть оппозицию со стороны заинтересованных группировок и обеспечить успешное освоение даже откровенно более совершенных технологий» (Brown, 1979, p. 568). В прошлом технический прогресс в Китае, как правило, вписывался в политический статус-кво, не нарушая существующего порядка. Радикальных технических изменений, угрожавших сложившемуся балансу сил, тщательно избегали.

18. В 1870 г. китайский шелкопрядильщик Чэнь Чи-юань построил шелкопрядильный станок с приводом от паровой машины по образцу аналогичных французских станков в Аннаме (Индокитай). Протесты со стороны рабочих, опасавшихся остаться без средств к существованию, заставили его вместо первого станка построить новый, не такой большой и более дешевый, который было проще приобрести. Для того чтобы потенциальные новаторы отказались от своих разработок, хватало лишь нескольких угроз. Сопротивление инновациям могло иметь своей причиной не только защиту кровных интересов, но и ксенофобию.

19. Как сообщала в 1887 г. американская газета, «более тысячи столбов одной из телеграфных линий в Китае было повалено местными жителями, считавшими телеграф дьявольской европейской выдумкой» (цит. по: *International Herald Tribune*, Aug. 29–30, 1987).

Различие между Китаем и Европой состояло в том, что в Европе ни одна социальная группа, способная саботировать инновации, угрожавшие ее интересам, не обладала столь же большим влиянием. Во-первых, в Европе технические изменения, как правило, являлись результатом частной инициативы; правители обычно играли вторичную и пассивную роль. До (и во время) промышленной революции с подачи европейских государей было осуществлено совсем немного значительных инноваций в сфере гражданских технологий. Здесь существовал рынок идей, в работе которого власти участвовали в качестве обычных покупателей или — реже — обычных продавцов. Во-вторых, всякий раз, как какое-либо европейское правительство занимало активно враждебную позицию по отношению к инновациям и к порождавшему их нонконформизму, оно сталкивалось с последствиями в виде изменения своего относительного статуса в экономической (а соответственно, и политической) иерархии. Более того, возможность миграций в рамках Европы позволяла креативным и оригинальным мыслителям находить прибежище в том случае, если их родина не отличалась достаточной толерантностью, вследствие чего в долгосрочном плане реакционные общества проигрывали в состязании за власть и богатство.

До 1400 г. государство в Китае намного активнее участвовало в создании и распространении инноваций, чем в Европе. Например, китайское правительство сознательно пыталось монополизировать измерение времени и календарь. Как выразился Ландес (Landes, 1983, p. 33), «В Китае календарь считался атрибутом суверенитета, наподобие права чеканить монету... Время императора было временем Китая». Знаменитые часы Су Суна были построены государственными чиновниками для государственных нужд по приказу императора. Во время великой средневековой сельскохозяйственной экспансии правительство играло ключевую роль при координировании гидростроительных проектов и рас-

пространении технической информации. Чиновники писали и издавали книги о сельском хозяйстве и содействовали внедрению быстрее созревающих и более засухоустойчивых сортов риса, особенно сорта «чампа», в начале XI в. завезенного из Юго-Восточной Азии. Ван Чэнь и Сюй Гуанци, авторы фундаментальных трактатов о сельском хозяйстве, были государственными чиновниками. Еще при династии Хань (221 г. до н.э.—220 г. н. э.) правительство предоставляло крестьянам капитал, требовавшийся им для освоения сельскохозяйственных инноваций, включая орудия и тягловых животных, и активно поощряло использование более совершенных плугов²⁰. Тысячу лет спустя сунские власти принимали меры к финансовому стимулированию крестьян, делавших инвестиции в усовершенствования (Bray, 1984, p. 597–599). Кроме того, государство принимало серьезные меры к развитию транспорта и к насаждению медицинских знаний. Китайское императорское правительство строило огромные государственные железоплавильные печи и способствовало внедрению железных орудий. Даже в текстильной отрасли династия Юань и первые императоры династии Мин очень активно содействовали распространению хлопчатобумажных тканей (Chao, 1977, p. 19–21)²¹.

20. Мэн-цзы, китайский философ, в III в. до н. э. участвовавший в распространении конфуцианского учения, упоминал о том, что «министр земледелия научил людей сеять, жать и выращивать пять видов зерновых» (цит. по: Fei, 1953, p. 65n).

21. В сфере науки государство также играло в Китае важную роль: его стараниями издавались книги, велись записи, финансировались научные экспедиции, инициировались медицинские исследования и строились научные приборы. Некоторые знаменитые изобретения приписываются чиновникам. Чан Хэн, живший во II в. математик и изобретатель, имеющий репутацию создателя первого сейсмографа, был председателем императорской канцелярии. Цай Лунь, придумавший делать бумагу из коры шелковицы, был евнухом на императорской службе, отвечавшим за приборы и оружие.

В какой-то момент эта государственная поддержка прекратилась. Европейцы, в середине XIX в. пытавшиеся развивать китайскую горнорудную отрасль, столкнулись с тем, что эта задача была неосуществима без помощи со стороны властей, но те не желали им ее оказывать. Китайские чиновники просто не интересовались техническими достижениями (Brown and Wright, 1981, p. 80). В эпоху правления маньчжурской династии Цин (1644–1911) китайское правительство практически перестало предоставлять какие-либо общественные блага (Jones, 1989). Оно не занималось созданием инфраструктуры, необходимой для экономического развития, включая систему стандартных мер и весов, коммерческое право, дороги и полицию. Во многих сферах частному сектору удалось заменить государство, но в сфере технического прогресса это оказалось невозможно. Джонс (Jones, 1989, p. 30) делает вывод о том, что «Китайская политическая структура не обеспечивала удовлетворительную юридическую основу для экономической активности». Было бы уместнее переформулировать это утверждение с точки зрения изменений. По-видимому, рутинная экономическая активность протекала достаточно гладко до тех пор, пока существующие институты и техника не подвергались изменениям.

Почему китайская бюрократия в прежние столетия играла столь активную роль в техническом прогрессе, объяснить не так-то просто. Корни этого явления исследователи нередко связывают с зависимостью сельского хозяйства от общественных гидротехнических работ, которая, по знаменитому выражению Виттфогеля, привела к «гидродеспотизму», нуждавшемуся в чиновниках, способных справиться с организацией крупных проектов (Wittfogel, 1957, p. 22–59). Виттфогель утверждает, что целью таких проектов являлся исключительно социальный и политический контроль. Однако в настоящее время в целом выяснено, что гидростроительные проекты осуществлялись главным образом усилиями мест-

ных властей и землевладельцев²². Участие центрального правительства в гидростроительстве сводилось главным образом к распространению технической информации и к контролю за юридическими аспектами водопользования. И все же идея о том, что правитель несет ответственность перед членами подвластного ему общества, и о существовании взаимнообратной связи между населением и властями представляла собой древнюю китайскую концепцию, коренившуюся в учении Мэн-цзы, чье влияние укреплялось при династии Сун. Китайское государство само создавало спрос на железо, корабли и крупномасштабное строительство. Система государственных зернохранилищ позволяла обеспечить стабильное снабжение продовольствием. Государство монополизировало торговлю некоторыми товарами (например, солью) и контролировало внешнюю торговлю — тогда, когда она вообще велась. Короче говоря, китайское государство до 1800 г. осуществляло открытое вмешательство в экономику — отчасти в попытке улучшить экономическое благосостояние народа. В Европе попытки государственного посягательства на сферу частного производства обычно кончались крахом, а идея общественного договора не вполне осознавалась вплоть до XVII в. В большинстве случаев короли, епископы, городские советники и все прочие представители государства в Европе являлись теми же потребителями, покупая, продавая, нанимая и беря займы по ценам, диктуемым обширным рынком.

Возможно, государство в Китае взяло на себя столь важную роль вследствие того, что землевладельцы и интеллигенция не выказывали особого интереса к технике, и это создавало вакуум, который требовалось заполнить. В ряде интерпретаций китайская элита объявляется главной силой, отвечавшей за замедление технического развития. Фэй (Fei, 1953, p. 72–74) выдвигает аргумент,

22. Резюме аргументации Виттфогеля см. в: Harris (1977, ch. 13).

аналогичный тому, что делался ранее в связи с античной цивилизацией. Если образованные и влиятельные классы не интересуются производством и не имеют технических знаний, они не будут ничего делать для внедрения технических усовершенствований, и это приведет к стагнации. Ключевое положение Фэя заключается в том, что в традиционном китайском обществе интеллигенция являлась классом, не обладавшим техническими знаниями и интересовавшимся главным образом мудростью прежних эпох, литературой и искусством. Китайская интеллигенция, рассматривавшая мир сквозь призму людских отношений, утверждает Фэй, была консервативной силой, поскольку в сфере отношений между людьми конечная цель всегда заключается во взаимной гармонии, в то время как технические изменения ведут к социальным потрясениям. Такое объяснение достаточно расплывчато: Фэй не уточняет, какой период имеет в виду, когда пишет о «традиционном Китае», и ничего не говорит о том, происходили ли изменения в мировоззрении интеллигенции в периоды Мин и Цин. И вообще, отсутствие интереса к технике — черта, достаточно характерная для любой интеллигенции. Тем не менее ключевая идея о том, что технический прогресс нуждается хотя бы в очень узком мосте между образованным и трудящимся классами, кажется вполне логичной. В Китае этот мост обеспечивало государство.

Таким образом, империя не всегда несовместима с техническим прогрессом. Однако пример Китая дает нам некоторое представление о причинах отрицательной корреляции между имперской мощью и техническим прогрессом. Во-первых, Китай, по выражению Нидхэма, всегда был «однопартийным государством», в котором две тысячи лет у власти находилась «конфуцианская партия». В эпоху Цин бюрократия не поощряла интеллектуального или политического вольнодумства, хотя свирепая европейская религиозная нетерпимость была чужда китайцам. В противоположность Европе, здесь не было мелких княжеств или воль-

ных городов, куда могли бежать носители новых идей. Более того, при династиях Мин и Цин Китай управлялся профессиональной бюрократией, которая, по крайней мере теоретически, отбиралась в ходе конкурсных экзаменов (на практике в этой сфере царили кумовство и коррупция). При всей привлекательности подобной меритократии в глазах исследователя европейской истории, привыкшего к правителям, отличавшихся в основном алчностью, жестокостью и некомпетентностью, власть мандаринов становилась серьезной помехой для экономического прогресса. Привлекая в свои ряды лучших и умнейших представителей торгового класса, китайская система обеспечивала концентрацию интеллектуальных сил страны в сфере бюрократической деятельности, консервативной по самой своей природе. Хотя заявление Нидхэма (Needham, 1969, p. 202) о том, что «каждый купеческий сын мечтал стать ученым, держать экзамен на имперскую должность и сделать карьеру на государственной службе», является некоторым преувеличением, оно позволяет выявить принципиальное различие между Европой и Китаем²³. В Европе инженеры, изобретатели, купцы и ученые обычно не принадлежали к рядам правящего класса. Талантливым людям незнатного происхождения, как правило, был закрыт путь во власть, и это вынуждало их искать выход своей энергии в других сферах.

Однако более важен тот факт, что технические изменения, осуществляемые главным образом усилиями должностных лиц и центрального правительства, обладают неприятной особенностью — они нуждаются в одобрении властей. Пока режим поддерживает про-

23. На основе официальных биографий Виттфогель (Wittfogel, 1957, p. 351–352) делает вывод о том, что из простонародья происходило меньшинство чиновников. Однако их доля возрастала: если в эпоху Тан (618–907 гг.) простолюдинами были менее 10% всех чиновников, то при династии Мин их доля увеличилась до 23%, и эта тенденция продолжилась при маньчжурской династии.

гресс, тот будет продолжаться. Однако власти могут в любой момент, так сказать, прикрыть лавочку и частные предприятия едва ли придут им на смену. Таким образом, инновации, организуемые чиновниками, возможны, но всецело зависят от их доброй воли. А поскольку большинству устоявшихся бюрократий свойственна сильная неприязнь к изменению статус-кво, то технический прогресс, осуществляемый государством, едва ли окажется сколько-нибудь длительным. Просто чудо, что он столько времени продолжался в Китае. И завершился он в тот момент, когда государство утратило интерес к техническим изменениям.

Трудно сказать, почему китайское государство изменило свое отношение к техническому прогрессу. Власть минских и цинских императоров была более абсолютной и самодержавной по сравнению с их предшественниками. До них частым явлением были перевороты и цареубийства, привносившие элемент «конкуренции» на китайский политический рынок. При минских императорах отличительной чертой китайского государства стали жесткий этикет, беспрекословное подчинение и конформизм. Одновременно с этим китайское чиновничество превратилось в серьезную силу, заинтересованную в сохранении статус-кво. Оно научилось противодействовать нежелательным для него изменениям, вследствие чего даже самые могущественные императоры не могли проводить прогрессивную политику. Два великих просвещенных маньчжурских деспота, Канси (1662–1722) и Цяньлун (1736–1795), чье правление неизменно описывается как эпоха мира и процветания, проявляли заинтересованность к умиротворению, порядку и к отлаженной администрации. Их интересы совпадали с интересами бюрократии, также стремившейся к стабильности. Абсолютистское правление всемогущего монарха, превыше всего ценившего стабильность, лишало страну той динамики, которая в то время была ключом в Европе. Согласно мнению специалиста (Feuerwerker, 1984, p. 322), при минских и маньчжурских императо-

рах государство «едва ли делало хоть что-то для обеспечения современного экономического роста»²⁴. Возможно, это мнение является некоторым преувеличением, поскольку императорский двор в конце XVII в. принимал самые активные меры к возрождению страны (Shang Hung-k'uei, 1981). Экономическая экспансия продолжалась и в XVIII в. Рост сельскохозяйственного производства обеспечивался главным образом путем вырубki лесов и освоения южных провинций, происходившего при активной поддержке правительства. Естественным последствием стабильности, которую приносила власть просвещенных цинских деспотов, являлась коммерческая экспансия. Но при этом страна почти лишилась технического динамизма, которым отличались Китай при династии Сун и Европа XVIII в. К XV в. императорское правительство играло в сфере изобретений и инноваций намного более скромную роль, чем в Средние века, а никакая другая сила в Китае не могла заменить государство в качестве движущей силы технического прогресса. Взять на себя такую функцию было некому. Именно вследствие того, что в Европе технические изменения осуществлялись силами частных лиц в децентрализованном, политически конкурентном окружении, они могли происходить на протяжении долгого времени, делать большие скачки и не терять своего импульса, несмотря на серьезные откаты и препятствия.

24. Вполне возможно, что китайское государство утратило свою ведущую роль в процессе технического развития отчасти из-за сокращения имевшихся в его распоряжении ресурсов по отношению к размерам экономики. Доходы центрального китайского правительства после 1400 г. снизились, согласно Перкинсу (Perkins, 1967, p. 487) составляя лишь несколько процентных пунктов национального дохода. Цифры, приведенные в *Feuerwerkern* (1984, p. 300), выше, но и они говорят о резком сокращении доходов государства — с 13% национального дохода около 1080 г. до 4–8% к 1750 г. Не так-то просто объяснить это явление с помощью теорий, основанных на кривой Лаффера и связывающих экономический динамизм с низкими налогами.

Промышленная революция: Великобритания и Европа

КАК мы уже видели, после 1750 г. промышленная революция первоначально затронула в первую очередь Великобританию. Объяснить, почему последняя на старте сразу же обогнала своих соседей с континента, в течение многих десятилетий было излюбленным развлечением историков экономики, хотя консенсус по этому вопросу среди них так и не сложился. В некотором глобальном смысле этот вопрос может показаться относительно несущественным по сравнению с намного более важным вопросом о том, почему в тот же самый период Европа так сильно оторвалась от остального мира. Тем не менее различия в рамках Запада, «удачливой» части света, тоже остаются загадкой. Трудность заключается в том, что в ходе британской промышленной революции изменениям подверглось множество аспектов экономики, по своей природе не связанных с техникой, вследствие чего невозможно отделить демографические процессы, урбанизацию, огораживания, войны, социальную и коммерческую политику и пр. от технических изменений, а затем сравнивать результаты с тем, что произошло на континенте. Ниже мы ограничимся рассмотрением вопросов о том, почему Великобритания в течение примерно сотни лет удавалось создавать и насаждать передовые производственные технологии более быстрыми темпами по сравнению с континентом и играть роль образца, чей успех стремились повторить все европейские нации, и о том, как и почему она в итоге утратила свое технологическое лидерство.

Технический успех зависит как от присутствия положительных, так и от отсутствия отрицательных элементов. В том, что касается положительных факторов, вполне естественной отправной точкой представляется выдвижение технических идей и способность воплощать их в жизнь. Выдвижение идей, как мы видели, нередко осуществлялось международными усилиями. Вообще говоря, англичанам принадлежала значительная доля технически революционных идей: вряд ли стоит спорить с тем, что большинство подлинно ключевых изобретений той эпохи было сделано британцами. И все же они не столько изобретали, сколько внедряли. В Великобритании были успешно освоены многие важные изобретения, которые можно приписать новаторам с континента. Такие имена, как Бертолле, Леблан, де Вокансон, Робер, Аппер, де Жирар, Жаккар, Арган, Лебон, Эйльман и Фурнейрон, заслуживают места в Зале славы изобретателей наряду с именами Ньюкомена, Аркрайта, Уатта, Корта и их коллег. В XVIII в. британцы не пользовались репутацией сколько-нибудь оригинального или изобретательного народа. Даниэль Дефо в 1728 г. отмечал, что англичане лишь доводят до совершенства чужие идеи. Швейцарский специалист по ситценабивному делу Жан Рине в 1766 г. в трактате о своем ремесле писал, что англичане «не могут похвастаться множеством изобретений; они лишь совершенствуют изобретенное другими... для того чтобы добиться в чем-либо совершенства, нужно изобрести это во Франции и применять в Англии» (цит. по: Wadsworth and Mann, 1931, p. 413). Значительно позже, в 1829 г., инженер Джон Фэри заявлял парламентскому комитету: «важнейший талант англичан и шотландцев состоит во внедрении новых идей, их использовании и доведении до совершенства, но воображение развито у них не так сильно, как у иностранцев» (цит. по: Musson, 1975b, p. 81). Изобретения не равнозначны техническим изменениям. Для того чтобы произошли последние, требуется нечто большее.

Одно из решающих различий между Великобританией и континентом, способствовавших тому, что британцы сразу же вырвались вперед, заключалось в больших резервах квалифицированной рабочей силы, имевшихся в стране накануне промышленной революции. В своей книге «Промышленность и торговля» Альфред Маршалл (Marshall, 1919, p. 62–63) отмечал, что англичане имели возможность пользоваться услугами самых разных высококвалифицированных ремесленников, получавших в свое распоряжение все новые и новые станки, позволявшие работать с точностью, недоступной для человеческой руки. «Таким образом, всякий эксперимент обходился дешевле и выполнялся быстрее... чем в каком-либо ином месте. Когда же наконец удавалось добиться успеха, новое устройство оказывалось более дешевым в производстве... и применялось в промышленности намного шире, чем в любой другой стране». Иными словами, к середине XVIII в. Великобритания имела в своем распоряжении множество механиков и ремесленников, способных делать обыденные, но незаменимые детали «новых приспособлений»¹. Эти навыки приобретались благодаря неформальному и устаревшему институту подмастерьев и непосредственно в ходе работы; им не обучали ни в каких учебных заведениях. Если Великобритания в ходе промышленной революции оставила за спиной весь остальной мир, то это произошло не благодаря формальной британской системе образования, а несмотря на нее. В этом отношении Шотландия отличалась от Англии, так как шотландские школы были намного лучше английских. В Англии распространение технических знаний происходило бла-

1. Точка зрения Маршалла подтверждается отзывами очевидцев. В 1685 г. гость из Франции в первую очередь восхвалял британцев за их *admit* (искусность). В 1704 г. другой наблюдатель отмечал, что англичане «не преуспели ни в одной отрасли, помимо механики, из всех народов привнеся в нее больше всего улучшений» (цит. по: Hollister-Short, 1976, p. 159).

годаря неформальным лекциям, научным обществам и технической литературе.

Великобритании повезло. В конце XVII в. она захватила лидерство в производстве часов. Франция, ее ближайший конкурент, «пострадала от исхода многих лучших часовщиков, бежавших от антипротестантских гонений» (Landes, 1983, p. 219). Великобритания, напротив, готова была принять у себя любых людей с техническими способностями вне зависимости от их религиозных убеждений. Механические навыки часовщиков стали одним из краеугольных камней новых промышленных технологий². Другой отраслью, способствовавшей появлению опытных мастеров, было мореплавание, требовавшее точных и тщательно сделанных приборов. Объемы британского мореплавания колоссально выросли в XVIII в., и морские приборы стали основной продукцией таких людей, как Гаррисон, Смитон и Рамсен. Третьей отраслью, ставшей источником навыков и изобретательности, необходимых для промышленной революции, являлось горное дело. Горняки нуждались в насосах и транспортном оборудовании, вследствие чего и паровая машина, и железные рельсы изначально предназначались для использования в шахтах. К концу XVII в. британские горные и металлургические технологии по-прежнему «на сто — сто пятьдесят лет отставали от самых прогрессивных континентальных технологий» (Hollister-Short, 1976, p. 160). К 1760 г. Британия в этих сферах уже стала лидером Европы, обеспечив ей техническое преимущество, лишь недавно в полной мере признанное историками³. Благодаря

2. Самыми известными изобретателями из числа часовщиков были Бенджамин Хантсмен, разработавший технологию выплавки стали в тиглях, и Джон Кей (полный тезка изобретателя «челнока-самолета»), помогавший Аркрайту в создании «водяной рамы».

3. Как указывает Кардуэлл (Cardwell, 1972, p. 74), горное дело являлось средоточием ряда элементарных технологий (химиче-

традициям, сложившимся в передовых отраслях, Великобритания получила таких инженеров, как Уилкинсон, Ньюкомен и Смитон, способных строить и совершенствовать машины, изобретенные другими⁴. Разумеется, в других странах тоже были свои выдающиеся инженеры. Но большинство из них, включая шведа Кристофера Польхема, австрийца Йозефа-Карла Хелля и француза Жака де Вокансона, работали в относительной изоляции⁵. Напротив, в Великобритании достаточно большая численность инженеров и механиков позволяла им взаимодействовать друг с другом посредством чтения лекций, шпионажа, копирования чужих разработок и их совершенствования. Знаменитое манчестерское Литературно-философское общество и бирмингемское Лунное общество представляли собой лишь два из множества механизмов, с помощью которых производил-

ских, строительных, металлургических) и ставило перед людьми сложные проблемы «человеческого масштаба», связанные с обузданием могучих сил природы и с крупномасштабными превращениями одних веществ в другие.

4. Взаимоотношения между изобретателями и инженерами нередко носили сложный характер. Сверлильные станки Уилкинсона позволили Уатту строить паровые машины с необходимой точностью. Однако их роли поменялись в 1762 г., когда Уатт построил для железодельного завода Уилкинсона небольшой паровой молот. В 1768 г. завод Кэррона в Шотландии мог похвастаться передовой системой мехов, оснащенной цилиндрическими воздухоудками, которую придумал Джон Ройбек, но соорудил вездесущий Джон Смитон.
5. О преимуществах Великобритании, связанных с наличием большого числа опытных механиков, свидетельствуют целенаправленные попытки многих континентальных стран от Швеции до Португалии переманить к себе британских работников. См., например: Ashton (1924, p. 200–205). В становлении французской и бельгийской текстильной отрасли участвовали такие британцы, как Джон Холкер, Уильям Дуглас и Уильям Кокрил. Вполне может быть, что избытком технически сведущего гуманитарного капитала Великобритания была обязана промышленной революции. Однако, скорее всего, последняя являлась не причиной, а следствием.

ся обмен техническими идеями и технической информацией. Взаимодействие между инженерами, учеными и бизнесменами породило итог, превосходивший сумму его отдельных компонентов. Технические изменения и получение новой информации — процессы, не подчиняющиеся законам арифметики.

Британия не обладала существенным научным преимуществом, которое могло бы объяснить ее техническое лидерство. В свете скромной роли, которую научный прогресс играл в техническом прогрессе, такое наблюдение едва ли удивительно. Один из историков науки (Kuhn, 1977, p. 143) даже называет Великобританию в эпоху промышленной революции «в целом отсталой» страной и делает вывод о том, что технические изменения того времени, очевидно, происходили без участия науки. Как мы видели, подобная точка зрения все же чрезмерно упрощает ситуацию. Возможно, мы сможем более точно оценить вклад, внесенный наукой в завоевание Британией технического лидерства, если признаем, что в Великобритании не обязательно было «больше» науки, чем в других странах, но что эта была другая наука. Как отмечает Кан, традиционное представление о том, что британская наука в первую очередь была экспериментальной и механистической, а французская наука — главным образом математической и дедуктивной, как будто бы прошло проверку временем (Kuhn, 1977, p. 137). На ранних этапах промышленной революции преимущество было за теми, кто имел прикладную и приземленную науку и чье научное сообщество поддерживало тесные связи с инженерами и промышленниками. В Великобритании, как недавно подчеркивал Джейкоб (Jacob, 1988), ученые не находились ни на службе у политического статус-кво, ни в оппозиции к нему. В отличие от континента, где ученые и философы либо противодействовали политическому истеблишменту, либо были им наняты, британские ученые и инженеры работали в сотрудничестве с коммерчески мыслящими людьми, больше интересовавшимися

прибылью, чем политическими или военными делами. В этом отношении преимущество Великобритании кажется самоочевидным. Однако оно неизбежно являлось эфемерным, так как законы природы, лежавшие в основе британских технологий, в XIX в. перестали быть тайной. Более того, Сирил Стэнли Смит (Smith, 1981, p. 36) предположил, что именно успехи Британии в металлургии (практически не связанные с научными открытиями) вынудили континентальных ученых к подведению под практику соответствующей теоретической базы с тем, чтобы со временем побить британцев на их собственном поле.

Формирование гуманитарного капитала в Великобритании до и во время промышленной революции определялось достаточно уникальным социальным окружением. К 1750 г. в Британии уже сложился своего рода «средний класс» — состоявший из грамотных и хорошо питавшихся людей, происходивших из торговой или ремесленной среды. Он дал стране большинство инициаторов крупных британских промышленных начинаний (Crouzet, 1985), и нет сомнения в том, что большинство креативных технических умов также в основном были выходцами из этого класса. Креативные личности искали применения своим талантам в промышленной сфере — главным образом из-за отсутствия альтернатив. Карьера на государственной и военной службе была недоступна для нонконформистов, как, в сущности, и для любого, не родившегося в богатой британской семье. Депутатам парламента и армейским офицерам приходилось покупать свои должности и вести роскошный образ жизни. Число профессионалов, находившихся на государственной службе, было невелико, а имперская бюрократия в 1800 г. еще пребывала в зачаточном состоянии. Более того, закрытый характер этого сословия заставлял талантливых людей, не принадлежавших к нему по праву рождения, стремиться добыть единственный ключ, дававший пропуск в политику, публичные школы и в землевладельческие круги:

деньги. В том, что касалось социальной элиты, земельная элита, до 1850 г. контролировавшая политическую власть в стране, внесла незначительный вклад в промышленную революцию в смысле технологий и предпринимательства. Впрочем, она не оказывала ей сопротивления.

В числе вероятных факторов, определивших время и место промышленной революции, находится отношение образованной и грамотной элиты к техническим изменениям. Маклеод (MacLeod, 1988, ch. 11) недавно указывала на отсутствие прямого пути развития от Бэкона с его идеей о техническом прогрессе как средстве накопления богатства до промышленной революции. По ее мнению, в конце XVII в. отношение к изобретениям ухудшилось, получив более абстрактный и отвлеченный характер, и в работах экономистов и философов стало проступать беспокойство за судьбы оставшихся без работы в сочетании с ощущением британской второсортности. Технический прогресс занимает намного более скромное место в произведениях Юма и Адама Смита, чем у Бэкона и Бойля. Впрочем, к 1776 г. умонастроения снова изменились, и отсутствие у Адама Смита энтузиазма по поводу изобретений было крайне нетипичным для того времени. Маклеод интерпретирует факты в том смысле, что авторы находились под впечатлением технических достижений и ощущали потребность защитить их от хулителей и противников. Однако эта связь носила более сложный характер. Как мы неоднократно видели, ценности и отношение к изобретениям могли сильно различаться от места к месту и от эпохи к эпохе. Если в одних случаях настроения становились причиной достижений, то в других случаях дело обстояло наоборот. Об этом механизме, а именно о том, что бэконовские идеи прогресса находили все большее понимание у британской образованной элиты, становясь принципиальной предпосылкой для успеха промышленной революции, недвусмысленно говорит Маргарет Джейкоб (Jacob, 1988). Более того, она дает

правдоподобное объяснение британского лидерства, показывая, что другие страны отставали от Великобритании в восприятии этих идей.

И все же преимущество, обеспеченное гуманитарным капиталом, очень непрочное. За некоторыми исключениями, первые британские изобретатели обычно были «дилетантами», не имевшими серьезного формального технического образования, и их гениальность проявлялась главным образом в механическом хитроумии. По воле судьбы большинство устройств, изобретенных в 1750–1830 гг., относилось к той сфере, в которой могли преуспеть талантливые любители. Создается впечатление, что во многих случаях британским изобретателям просто везло, хотя, как однажды заметил Пастер, Фортуна благоволит подготовленным умам. Технические достижения периода промышленной революции в хлопчатобумажной, железоплавильной и машиностроительной отраслях не требовали серьезного научного понимания соответствующих физических процессов. Когда же после 1850 г. потребовался более глубокий научный анализ, лидерство постепенно захватили немецкие и французские изобретатели, и основные прорывы в химии и материаловедении были совершены уже на континенте. Невзирая на успехи Бессемера, Перкина и Гилкреста с Томасом, «любительский» этап в истории техники к 1850 г. подошел к концу. Однако, пока он продолжался, Британия была на коне⁶.

Другим фактором, обеспечившим технологический отрыв Великобритании в начале промышленной революции, было то, что из крупных европейских экономик только Британия имела относительно единый ры-

6. В 1868 г. британский производитель красителей, выступая перед парламентской комиссией, выражал свое изумление позициями страны в этой сфере, с учетом дефицита научных знаний в Великобритании. «Поразительно, каких успехов мы добились, несмотря на то, как мало мы знаем», — восклицал другой свидетель (цит. по: Julia Wrigley, 1986, p. 162).

нок, по которому легко перемещались товары и люди. По сравнению с европейским континентом Великобритания обладала превосходной внутренней транспортной системой. Каботажные морские линии, каналы и дороги складывались в сеть, равной которой не было ни в одной европейской стране, за возможным исключением Нидерландов. Транспорт в Великобритании сам по себе стал специализированной отраслью и оказался в ведении профессионалов, что повысило эффективность, скорость и надежность перевозок (Szostak, 1986). Более того, Великобритания отличалась политическим единством и отсутствием внутренних барьеров. Плата не взималась ни за речные перевозки, ни за пересечение рукотворных рубежей (в отличие, например, от Франции, где товары, перевозившиеся по стране, до революции облагались внутренними пошлинами). Благодаря новым технологиям строительства дорог и каналов, усовершенствованным в XVIII в., Великобритания получила интегрированную рыночную систему.

Какое отношение рыночная интеграция имеет к техническому прогрессу? Размер рынка влияет и на получение, и на распространение новых знаний. В 1769 г. Мэтью Болтон писал своему партнеру Джеймсу Уатту: «Нет смысла строить [ваши машины] только для трех графств; однако я нахожу более чем выгодным строить их для всего мира» (цит. по: Scherer, 1984, p. 13). Известный минимальный уровень спроса требовался для покрытия фиксированных издержек на конструирование и строительство. На очень маленьких и сегментированных рынках недостаточный спрос мог препятствовать распространению некоторых инноваций, включающих фиксированные издержки. Слова про «весь мир», вероятно, были преувеличением; в XVIII в. британский рынок был уже достаточно крупным для того, чтобы покрыть издержки изобретения. Адам Смит тоже полагал, что размер рынка и степень его интеграции носят решающий характер. Смит считал технический прогресс следствием специализации, а та зависит от разделения

труда и, следовательно, от размера рынка. Если рабочие посвящают каждый свой день решению одной и той же задачи, то они с гораздо большей вероятностью найдут «более простые и быстрые способы выполнения своей конкретной работы». В подтверждение своей точки зрения Смит указывал на то, что «многие машины, применяющиеся на тех фабриках, на которых существует наиболее узкое разделение труда, первоначально были изобретены простыми рабочими»⁷. Все же, невзирая на авторитет Смита, отнюдь не очевидно, что узкое разделение труда и высокая степень специализации в рамках фирмы способствуют обучению в процессе работы или созданию новых технологий⁸.

Намного более значительный эффект на распространение новых технологий оказывает рыночная интеграция. В мире с высокими производственными издержками неэффективные и консервативные производители изолированы от своих более инновативных конкурентов. Мир с высокими транспортными издержками описывается экономической моделью монополистической конкуренции. Одна из особенностей такой модели заключается в том, что новатор и ретроград могут существовать бок о бок. В регионе, обслуживаемом новатором, по-

7. Смит обосновывал свою точку зрения, ссылаясь на мальчика, который работал на одной из первых паровых машин и привязал веревочку к клапану, благодаря чему тот стал закрываться и открываться автоматически. Как указывает Кэрмен в своих примечаниях к «Богатству народов» (Smith [1776], 1976, book 1, p. 13–14), эта история является апокрифом. Ландес (Landes, 1986, p. 592) утверждает, что разделение труда подразумевало упрощение и повторение операций, которое могло привести на мысль заменить ручной труд машинами. Однако, до стандартизации и появления взаимозаменяемых деталей разделение труда лишь незначительно способствовало его упрощению.

8. Бреннер (Brenner, 1987, p. 109–110), также сильно сомневающийся в технических выгодах специализации, указывает на то, что сам Смит не следовал своим собственным советам и с легкостью писал научные труды по полудюжине не связанных друг с другом тем.

ниженные производственные издержки, обеспечиваемые технологическими новшествами, оборачиваются сочетанием более высокой прибыли для производителя и более низких цен для потребителей. Однако ничто не в силах заставить ретроградов последовать примеру, и излюбленная модель экономистов, согласно которой выживают те, кто назначает самую низкую цену, перестает работать. Кроме того, высокие транспортные издержки делают возможным существование местных олигополий. Небольшое число фирм на рынке может способствовать заговорам, направленным против новых технологий, но по мере расширения рынка и увеличения числа фирм, имеющих доступ к данному рынку, организация и деятельность таких «антитехнологических картелей» становится все более затруднительной без поддержки со стороны властей. В Великобритании благодаря хорошему транспорту уровень конкуренции был намного более высоким, чем на континенте, и новая техника вытесняла здесь старую раньше и быстрее, чем в остальных странах. Задержка с распространением технологий в Британии была обычно связана с несовершенством новой техники, а не с некомпетентностью предпринимателей. Например, совершенствование механических ткацких станков и плавки с применением кокса заняло десятилетия, но как только их преимущества стали очевидными, эти новые технологии так же быстро и уверенно завоевали страну, как и мюль-машина и технология пудлингования и прокатки, усовершенствованные относительно быстро.

Тем не менее единые рынки и высокая степень коммерциализации не являются достаточным условием технического прогресса, в чем нас убеждает пример Римской империи и Китая при маньчжурских императорах. Это были коммерчески интегрированные экономики, в которых вместо технического прогресса происходил смитианский рост. Нидерланды в XVIII и XIX вв. — открытая экономика *par excellence*, обладавшая славными традициями мореплавания, высокоразвитыми коммер-

ческими институтами и давней традицией свободной торговли — в годы промышленной революции отличались исключительно низкой креативностью. Представляется, что смитианский рост очень часто подменял собой рост, основанный на техническом прогрессе, хотя в иных случаях он создавал стимул и служил подмогой для технических изменений. При нынешнем состоянии знаний невозможно определить отношения между ними более точно. Так же не вполне ясна и природа отношений между конкуренцией и инновациями. Согласно гипотезе Шумпетера, на каком-то этапе уменьшение конкуренции может быть только полезно для инноваций. Хотя успехи Великобритании в годы промышленной революции не подтверждают эту точку зрения, исследователям предстоит выяснить, не может ли эта гипотеза объяснить тенденции, наблюдавшиеся после 1850 г.

В качестве причины промышленной революции часто называют британскую политическую систему. Возможно, самой выдающейся чертой Великобритании было то, что ее правительство состояло из владельцев собственности, назначалось ими и обслуживало их интересы. Экономисты утверждают, что без четко определенных прав собственности невозможна статичная эффективность. А как насчет технических изменений? Британское правительство и темп технического прогресса были очень слабо связаны друг с другом. Некоторые исследователи (McNeill, 1982) считают, что потребность государства в военной технике влечет за собой инновации, но в Великобритании мы этого почти не видим. Более важным было влияние патентного права на изобретательскую активность. В частности, Норт (North, 1981) утверждает, что патенты, позволявшие изобретателю получить основную часть социальной прибыли от своего изобретения, имели не меньшее значение, чем масштабы рынка. В этом отношении Великобритания намного опережала континент. Британская патентная система была создана в 1624 г., в то время

как во Франции аналогичный закон был принят лишь в 1791 г., а большинство других европейских стран завело у себя патентное право лишь в начале XIX в. В США довольно неэффективная патентная система существовала с 1790 г., а формально Патентное бюро было основано только в 1836 г.

Насколько важную роль играла защита прав изобретателя патентами? Из экономической теории и исследований, проводившихся современниками, вытекает, что влияние патентной системы на темп технического прогресса носило неоднозначный характер и отличалось от отрасли к отрасли (Kaufner, 1989). Положительное стимулирующее влияние на изобретателей *ex ante* следует сравнивать с отрицательным влиянием на распространение новых знаний *ex post*, замедляющееся вследствие монополии, полученной изобретателем. Более того, технический прогресс может сдерживаться невозможностью развивать новые идеи в тех случаях, когда какой-либо конкретный компонент уже был запатентован кем-то другим⁹. Монопольная позиция, полученная

9. Два примера патентов, препятствовавших другим изобретениям, мы найдем в биографии Джеймса Уатта. Первым из них был полученный Уаттом патент на машины без конденсации, «работавшие посредством одной лишь силы пара». Он фактически заблокировал разработку паровой машины высокого давления, хотя сам Уатт был решительным противником таких машин и не собирался их создавать. Вторым был взятый другим инженером патент, не позволявший Уатту строить машины, в которых возвратно-поступательное движение поршня преобразовывалось бы во вращательное движение. Очевидным механизмом, осуществлявшим это преобразование, был кривошип, соединенный с шатуном поршня, однако патент конкурента охватывал использование кривошипа в любых паровых машинах. Гений Уатта вскоре позволил преодолеть это препятствие путем изобретения знаменитой «планетарной» эпиклической передачи. Другим случаем, когда патент стал временной преградой на пути технического прогресса, являлось изобретение телефона. Телефон Белла был примитивным устройством (он позволял обмениваться звуковыми посланиями лишь на небольших расстояниях) и сильно уступал теле-

изобретателем в качестве награды, может стать помехой для его дальнейшей работы, если она позволяет ему жить безбедно и не напрягаясь или если прибыль от новых изобретений грозит оказаться ниже возможных потерь, связанных с утратой монопольных прибылей (Kamien and Schwartz, 1982, p. 29–30). С другой стороны, патент может стать стимулом для следующих изобретений, если те используются для финансирования дополнительных исследований, что очень полезно в тех случаях, когда рынки капитала не благоволят новаторам.

Безусловно, некоторые великие изобретатели не сомневались в пользе патентов. Джеймс Уатт опасался того, что «жизнь инженера без патентов лишилась бы смысла», а Бессемер полагал, что «гарантии, предоставляемые патентным правом лицам, истратившим крупные денежные суммы... на разработку новых изобретений, обеспечили много новых и важных усовершенствований на наших заводах». Возможно, эти заявления были предвзятыми, исходя от людей, живших за счет патентов, и мы без труда отыщем высказывания других крупных изобретателей, свидетельствующие об их разочаровании патентной системой (Gilfillan, 1935, p. 93). Однако сам тот факт, что многие изобретатели предпочитали брать патенты на свои изобретения, невзирая на соответствующие издержки, свидетельствует о важной роли патентов. В тех странах, где не было патентной системы, об этом порой сожалели. Как писал Гете, «мы [немцы] относимся к открытиям и к изобретениям как к лично приобретенной собственности, достойной восхищения... но умные англичане посредством патентов превратили их в реальную собственность... [и] вправе пользоваться своими открытиями,

фону Эдисона, изобретенному несколько лет спустя. Однако Эдисон не мог обойти патент Белла и они с Беллом вступили в продолжительную борьбу за права на изобретение (хотя усовершенствования, предложенные Эдисоном, в конце концов нашли применение в телефоне, разработанном в 1880-х гг.).

пока те не приведут к новым открытиям и новым трудам. Как здесь не задаться вопросом — почему они опережают нас во всех отношениях?» (цит. по: Klemm, 1964, p. 173). Возможно, патенты также поощряли предпринимателей и инвесторов к сотрудничеству с держателями патентов и к предоставлению им венчурного капитала; есть свидетельства о том, что Мэтью Болтон, партнер Джеймса Уатта, инвестировал средства в его предприятие лишь после того, как получил гарантию, что его капитал будет защищен патентом (Scherer, 1984, p. 24).

Работа патентной системы как стимула к изобретениям была далеко не идеальной¹⁰. Суды не признавали патентных прав Харгривса под тем формальным предлогом, что он продал несколько прялок «Дженни» прежде, чем получил патент. Аркрайт после долгого и разорительного судебного процесса в 1785 г. лишился всех своих патентов — одновременно с Арганом. Также и Теннант из-за несоблюдения формальностей утратил патент на отбеливающую жидкость — хотя сохранил патент на отбеливающий порошок. Столетием спустя Дж. Б. Данлопу, изобретателю пневматической шины, было отказано в выдаче патента на том основании, что пневматический принцип уже использовался в малоизвестном патенте, полученном в 1845 г., хотя Данлоп, несомненно, пришел к этой идее самостоятельно. Несмотря на эти неудачи, Аркрайт, Теннант и Данлоп стали богатыми людьми. Впрочем, роль патентной системы при этом остается под вопросом, поскольку и Теннант, и Данлоп сумели нажиться, взяв патенты на второстепенные изобретения.

Тяжбы по поводу патентных прав могли подорвать креативность великих технических умов и разорить изобретателей. В число новаторов, погубленных па-

10. Чарльз Бэббидж писал в 1829 г., что британское патентное право представляет собой «систему вредных и мошеннических законов, которые... лишают человека естественных прав на плоды своего таланта» (цит. по: Robinson, 1972, p. 116).

тентными тяжбами, входили изобретатель «челнока-самолета» Джон Кей, инженер Джонатан Хорнблоуэр и Чарльз Гудьир, придумавший процесс вулканизации резины. Патентные войны Илая Уитни из-за «коттон-джина» привели к тому, что противники посадили его в тюрьму и едва не довели до банкротства. Впоследствии он утверждал, что тяжбы из-за «коттон-джина» обошлись ему дороже, чем он на нем заработал (Hughes, 1986, p. 133–134). Братья Фудринье, внедрившие в Великобритании бумагоделательную машину, в 1810 г. обанкротились и почти весь остаток жизни потратили на тяжкие и дорогостоящие судебные процессы, связанные с патентами. Робинсон (Robinson, 1972, p. 137) утверждает, что британские судьи в целом не симпатизировали изобретателям и что двусмысленность законов приводила к полной непредсказуемости любой патентной тяжбы. Более того, изобретатели сталкивались с простым выбором. С одной стороны, чем более подробной была патентная заявка, с тем большей вероятностью она была бы одобрена: закон требовал, чтобы заявка была достаточно четкой для того, чтобы третья сторона могла воспроизвести запатентованное устройство, исходя из одной лишь заявки. Однако разглашение слишком многих технических деталей не позволяло воспользоваться тайной как альтернативным способом защитить свое изобретение в случае отклонения заявки. Но несмотря на эти проблемы, отрицательный отзыв Робинсона о британской патентной системе не согласуется с тем фактом, что в 1770–1850 годах из 11962 выданных патентов лишь 257 оспаривались в суде (Dutton, 1984, p. 71).

В особо важных случаях общество не считалось с патентной системой, награждая тех изобретателей, чья частная прибыль оценивалась как явно недостаточная по сравнению с социальной прибылью, полученной от их изобретений: так, парламент выдал специальные премии Томасу Ломбу, изобретателю шелкокрутильной машины, которому отказали в продлении патента, Сэмюэлю Кромптону, так и не получившему патент

на свою мюль-машину, и Эдмунду Картрайту, у которого кредиторы отобрали патент на механический ткацкий станок. Шведу Джону Эриксону, внесшему решающий вклад в изобретение судового винта, но не сумевшему доказать свой приоритет, адмиралтейство выплатило 4000 фунтов. Генри Корт также лишился своих патентов из-за ряда финансовых неудач и получил небольшую пенсию, однако Ричарду Тревитику было отказано в аналогичной просьбе. В США законодательное собрание Южной Каролины наградило Илая Уитни 50 тысячами долларов за изобретение «коттон-джина». В дореволюционной Франции было принято назначать пенсии изобретателям устройств, признанных общественно полезными, и выдавать премии за конкретные начинания, такие как попытки синтезировать селитру, предпринимавшиеся в 1775–1794 гг. (Multhauf, 1971). С 1740 по 1780 год правительство выплатило 6,8 миллионов ливров изобретателям в виде субсидий и беспроцентных ссуд. Возможно, политика поощрения изобретателей была непоследовательной и порой сопровождалась коррупцией, однако она стимулировала изобретательство так же, как и патентная система¹¹.

Невзирая на несовершенство патентной системы, все другие формы защиты изобретений работали еще хуже. Изобретатели в принципе всегда могли сохранить свои разработки в тайне, однако по самой своей природе этот рецепт был применим лишь в немногих отраслях. Ричард Робертс полагал, что «никакой профессиональный секрет не будет долго оставаться секретом; квар-

11. Английское правительство также назначало премии за решение технических проблем. Одним из самых знаменитых примеров такого стимулирования является премия, обещанная в 1714 г. парламентом за создание морского хронометра. Следует отметить, что после того, как изобретение было сделано, у правительства не оставалось серьезных причин для выплаты премии. Гаррисон, честно заработавший премию, был вынужден десять лет осаждать парламент, прежде чем тот выплатил ему обещанные деньги, хотя его успех никем не оспаривался.

та эля в этом смысле творит чудеса» (цит. по: Dutton, 1984, p. 108–111). Тем не менее такие попытки предпринимались. Бенджамин Хантсмен так старался сохранить в тайне свой способ выплавки стали в тигле, что некоторое время работал лишь по ночам. Генри Бессемер решил хранить в секрете одно из своих ранних изобретений — бронзовый порошок, — и не брать на него патент, так как считал, что его товар упадет в цене, если станет известен способ его изготовления (MacLeod, 1988, p. 95). При возможности сохранить секрет решение о получении патента представляло собой особенно сложную дилемму: для получения патента изобретатель должен был раскрыть все технические детали.

Особый интерес представляет собой феномен коллективных изобретений, на который обратил внимание Аллен (Allen, 1983). В тех случаях, когда технический прогресс опирается на эксперименты, являющиеся побочным продуктом инвестиций, когда он идет постепенно и когда новшества трудно запатентовать, может оказаться так, что фирмы захотят бесплатно делиться друг с другом информацией и совместно пользоваться полученными результатами. Подобное сотрудничество было скорее исключением, чем правилом, однако Аллен показывает, что в 1850–1875 гг. этот принцип практиковался в британской железоплавильной отрасли. Благодаря свободному обмену информацией удалось добиться значительного прогресса при разработке оптимальной конструкции доменной печи. Разумеется, даже в железоплавильной отрасли все, что возможно, патентовалось и все, что возможно, сохранялось в тайне. Коллективное изобретательство происходило в достаточно специфических условиях; в обычных обстоятельствах фирмы не разглашают той информации, которая может увеличить прибыль их конкурентов. Лишь в тех случаях, когда число фирм, участвующих в изобретательском процессе, невелико и они могут каким-либо образом избавиться от «безбилетников», фирмы могут принять соглашение о сотрудничестве и заключить

взаимно обязывающие контракты, допускающие обмен технической информацией. В число разглашаемых сведений, как и можно ожидать, входят, как правило, те, которые не ставят под удар относительное преимущество фирмы над конкурентами. Однако сотрудничество между новаторами служит важным напоминанием о том, что патенты и право собственности на новую информацию не являются строго необходимыми условиями технического прогресса (Nelson, 1987, p. 79). Ландес (Landes, 1986, p. 614) утверждает, что большая, а может быть, и основная доля прироста производительности в фабричном производстве была результатом мелких, непатентуемых усовершенствований, и делает вывод о том, что патенты не являлись важным стимулом для изобретательства. При нынешнем состоянии наших знаний такое заявление выглядит преждевременным¹².

Значение патентной системы варьировалось от отрасли к отрасли. В целом, получение патентов шире практиковалось в отраслях с высоким уровнем конкуренции; кроме того, механические изобретения патентовались чаще, чем химические процессы. Также определенную роль играли состояние, уже имевшееся у изобретателя, и место его жительства. Патенты выдавались не только на изобретения, и не все изобретения патентовались. Как оценивает Маклеод (MacLeod, 1988, p. 145), девять из десяти патентов были взяты в отраслях, где инновации почти отсутствовали. Поэтому пользоваться дан-

12. Утверждение Ландеса уязвимо для двух критических соображений.

Во-первых, у нас нет исследований, в которых бы выяснялось, какая доля прироста производительности обеспечивалась патентуемыми, а какая — непатентуемыми изобретениями. Даже если удастся точно определить, какие изобретения являются «непатентуемыми», подобное исследование столкнулось бы со множеством трудностей. Во-вторых, Ландес не понимает того, что многие мелкие непатентуемые изобретения, возможно, вовсе не замышлялись в таком качестве и их создатели первоначально собирались последовать примеру более удачливых держателей патентов.

ными о патентах в качестве показателя технической активности, что недавно опять стало модным среди историков экономики (Sokoloff, 1988; Sullivan, 1989), следует с крайней осторожностью. Изобретения представляют собой пример «нечетких объектов» и славятся тем, как трудно их подсчитать и измерить. У нас нет ответов на вопросы о том, что лучше — такое плохое приближение, как статистика по патентам, или отсутствие всякого приближения, и о том, добавляет ли эконометрический анализ патентов что-либо к нашему пониманию технического прогресса.

Таким образом, вердикт о значении патентной системы как одной из причин технической креативности будет определено неоднозначным. С учетом частных и общественных издержек, связанных с получением патентов и с патентными тяжбами, а также наличия многочисленных альтернатив патентам, мы не можем сказать ничего определенного об их влиянии на техническую креативность общества¹³. Возможно, патентная система была относительно второстепенным фактором вследствие «бесплатных завтраков», которые приносит технический прогресс, то есть вследствие того, что социальная прибыль от изобретения нередко многократно превышает затраты на его разработку. Соответственно, изобретателю совсем не обязательно получать всю социальную прибыль, обеспеченную его творением, или хотя бы ее большую часть: небольшой доли может быть вполне достаточно для того, чтобы его усилия окупились. Патентная система гарантирует изобретателю получение части прибылей в течение конечного времени, тем самым, как ни странно, поощряя в первую очередь маргинальные изобретения. Разумеется, при большом числе таких маргинальных изобретений они тоже могут оказывать существенное влияние на экономический

13. Сравнительные исследования технических изменений в странах, где нет патентов, не дали убедительных результатов (Schiff, 1971), но как будто бы опровергают их значение.

рост. Еще более важно то, что патентная система поощряет делать такие изобретения, от которых не ожидается высокой социальной прибыли вследствие очень низкой *ex ante* вероятности успеха, то есть она поощряет разработку идей, представляющих собой радикальный отход от общепризнанной практики, иными словами, согласно нашей терминологии, — макроизобретений. Таким образом, патентная система играет важную роль при осуществлении тех ярких прорывов, когда чудачки срывают банк. Шерер (Scherer, 1980, p. 448) полагает, что это случается очень редко. Социальные издержки, лежащие на другой чаше весов, включают многие часы, истраченные талантливыми и оригинальными мыслителями на погоню за технологическим миражом, сулящим золотые горы.

Была ли патентная система фактором, поощрявшим технические изменения во время промышленной революции? Даттон (Dutton, 1984) полагает, что такая несовершенная патентная система, как британская, представляла собой лучший из всех возможных миров. В отсутствие патентов изобретатели лишились бы финансовых стимулов. Однако слишком строгое соблюдение патентного законодательства могло бы затормозить распространение изобретений. Изобретателям казалось, что патентная система защищает их лучше, чем это было в действительности. Но этот разрыв между оценкой эффективности *ex ante* и *ex post* мог оказаться полезным. Также и интуиция, вероятно, подсказывает экономисту, что людей нельзя дурачить слишком долго. Впрочем, если исходить из этой логики, Атлантик-сити уже давным-давно бы разорился. Более того, изобретательство не совсем аналогично игре, потому что по определению не бывает двух одинаковых изобретений, и следовательно, та информация, которую потенциальный изобретатель может извлечь из прошлого опыта, ограничена. Соответственно, вполне могло быть так, что патентная система обманывала будущих изобретателей, заставляя их стараться сильнее, чем в том случае, если бы они зна-

ли, как малы их шансы на выигрыш. Если дело действительно обстояло таким образом, то патентная система решала поставленные перед ней цели.

Другой возможной причиной, благодаря которой технический прогресс в 1760–1830 гг. шел в Великобритании значительно быстрее, чем на континенте, служило то, что промышленная революция совпала с одной из самых бурных эпох в истории Европы. Если французская революция и последующие войны существенно замедлили технический прогресс на континенте, вполне могло быть так, что небольшое преимущество, достигнутое Великобританией к концу 1780-х гг., к 1815 г. превратилось в огромный разрыв исключительно вследствие этого обстоятельства. Факты не слишком подтверждают такую интерпретацию. В годы войн британским технологиям стало труднее пересекать Ла-Манш, а после 1806 г. торговые связи Великобритании как с ее заморскими владениями, так и с континентом оказались под угрозой. Как указывает Кардуэлл (Cardwell, 1971, p. 150), Великобритания обладала более передовой техникой, в то время как Франция была ведущей научной нацией. Научные идеи и литература по-прежнему приходили из-за Ла-Манша, однако обмен технологиями пал жертвой разрыва торговых связей в 1793–1815 годах. Более того, на континенте в целом и во Франции в частности политика и война поглощали творческую энергию талантливых людей, замедляя прогресс. Карьера некоторых изобретателей была прервана политическими событиями¹⁴.

14. Самый знаменитый пример мы имеем в лице великого химика Антуана Лавуазье, казненного в 1794 г. Лавуазье возглавлял пороховую комиссию, которая в течение долгих лет безуспешно пыталась решить проблему поставок селитры, которой отчаянно не хватало во Франции для производства взрывчатки. Также в пример можно привести Николая де Барневилья, активно участвовавшего в освоении британского прядильного оборудования во Франции. Де Барневиль, которого неоднократно приглашали на различные военные должности, был «одним из тех

И все же Великая французская революция и наполеоновские войны привели к приходу к власти более прогрессивных правительств в Европе. Во Франции субсидировались прикладные исследования, выдавались премии за полезные изобретения, а такие учебные заведения, как *Ecole Polytechnique* (основанная в 1794 г.) и *Ecole des Arts et Metiers* (основанная в 1804 г. по инициативе Бонапарта), позволяли мобилизовать технические таланты на решение текущих задач, обычно определявшихся правительством. Аналогичные заведения были созданы в Праге (1806), Вене (1815), Цюрихе (1855) и нидерландском Делфте (1863). Ту же идею воплощали в себе горные школы, наподобие той, что была основана в 1840 г. в Леобене (Австрия). Кульминацией этого процесса стало создание знаменитых германских технических университетов, первый из которых был основан в 1825 г. в Карлсруэ. Более того, катастрофическое состояние международной торговли также давало континенту определенные преимущества. В течение двух десятилетий его индустрия была защищена от дешевых британских промышленных товаров, что создавало «тепличные условия» для развития ряда отраслей, особенно хлопчатобумажной. Однако, несмотря на временное избавление от британской конкуренции, в зарождающихся отраслях на континенте не произошло ничего подобного британской промышленной революции. Некоторые города — например, бельгийский Гент и Мюлуз во французском Эльзасе — до 1815 г. сумели завести у себя хлопчатобумажные предприятия, но им так и не удалось набрать такого же импульса, как в Ланкашире. И все же,

несчастных людей, чья жизнь оказалась омрачена войной и революцией... [представляя собой] несомненную жертву смутных времен» (McCloy, 1952, p. 92–94). Третьим можно назвать Николая Кюньо, в 1770 г. впервые в истории построившего повозку с приводом от паровой машины. За это изобретение Кюньо получил от французского правительства пенсию в 600 ливров. Революционное правительство лишило старого изобретателя пенсии и тем самым обрекло его на нищету.

благодаря блокаде и стимулам, создававшимся французским императорским правительством, на континенте был сделан ряд важных технических прорывов — включая процесс мокрого прядения льна, жаккардовый станок и производство свекловичного сахара.

Помимо политических событий, существует вопрос социального окружения, в котором работали изобретатели и новаторы. Например, во Франции лишь немногие изобретатели сумели разбогатеть или извлечь иную пользу из своих разработок. Мы уже упоминали о печальной судьбе Леблана и Аргана. Робер (изобретатель непрерывного процесса производства бумаги), Тимонье (изобретатель швейной машины) и Жюффруа (в 1783 г. построивший первый работоспособный пароход) также умерли в нищете. Клод Шапп, изобретатель семафорного телеграфа, в 1805 г. совершил самоубийство из-за финансовых затруднений. Другие, такие, как де Жирар и Брюнель, в конце концов эмигрировали. Исключением был Жозеф-Мари Жаккар, изобретатель ткацкого станка, носящего его имя, получивший пенсию и патентные отчисления и ставший своего рода национальной знаменитостью. Николя Аппер, изобретатель консервирования, был вознагражден более скромно, получив 12 тысяч франков от Французского общества поощрения промышленности, основанного Наполеоном. Разумеется, не всем британским изобретателям повезло так же, как Аркрайту или Уатту, но успех приходил к ним достаточно часто для того, чтобы в стране сохранялся постоянный интерес к изобретательству. Кажется, континент сильнее страдал от дефицита смелых предпринимателей, нежели от дефицита изобретателей. На континенте явно не хватало таких промышленников, как Веджвуд, Кроуши, Болтон или Стратт, в принципе не создававших новых технологий, но способных распознать потенциал чужих изобретений и принимавших энергичные меры к их освоению. Спорно, что Великобритания имела абсолютное преимущество в изобретателях и предпринимателях, она облада-

ла относительным преимуществом в предпринимателях и квалифицированных рабочих, и, соответственно, импортировала изобретения и изобретателей, одновременно экспортируя предпринимателей и мастеров в индустриальные анклавы на континенте¹⁵. До 1860 г. в числе крупнейших промышленников на континенте мы видим такие имена, как Джон Кокрил, Исаак Холден, Сэмюэль Листер и Уильям Малвени. Переселение технически искушенных и предприимчивых британцев на континент свидетельствовало не только о существовании неравновесия в первой половине XIX в., но и о работе уравнивающих сил, обеспечивавших передачу технических новинок от лидеров к отстающим. Пока сохранялось это неравновесие, Великобритания пожинала квазирену, источником которой служило ее временное преимущество. Этим объясняется запрет на трудовую эмиграцию квалифицированных рабочих (отмененный в 1825 г.) и на вывоз машин (отмененный в 1843 г.), хотя ни одна из этих мер не была особенно эффективной. Временное лидерство Великобритании в годы промышленной революции не отличалось от других периодов, когда европейский регион обладал временным техническим преимуществом над другими частями света. Не смотря на усилия, предпринимаемые властями лидирующего региона, европейские технические знания быстро становились достоянием других народов.

Как нам объяснить концентрацию технологических достижений в таких темпоральных (временных)

15. Помимо изобретений, Великобритания импортировала с континента и ряд изобретателей, включая Марка Брюнеля, Фридриха Кенига и швейцарского инженера Дж. Дж. Бодмера. Кроме того, в Великобритании пробовали искать счастья несколько бизнесменов с континента. Самым известным из них был Фредерик Уинсор (Фридрих Винцер), немецкий авантюрист, первым создавший в Лондоне систему газового освещения. Британские инженеры после 1840 г. начали в большом количестве эмигрировать на континент, распространяя новые технологии по всей Европе (Buchanan, 1986).

кластерах, как промышленная революция? Если инновации возникают случайным образом и независимо друг от друга, то следует ожидать их более-менее равномерного распределения по времени. Различие между промышленной революцией и прежними кластерами технических изменений заключалось в той степени, в которой инновации влияли друг на друга. Во-первых, работал эффект подражания: многие пытались повторить успех Джеймса Уатта и Ричарда Аркрайта, достигших славы и богатства. Изобретения и усовершенствования приобрели, по крайней мере в некоторых кругах, респектабельность. Во-вторых, действовал эффект комплементарности: успешное решение одной проблемы почти всегда приглашало к следующему шагу, вдохновляя изобретателей на дальнейшую работу. Собственно, многие самые полезные изобретения представляли собой не более чем радикальные модификации прежних идей: это относится и к кортовскому процессу пудлингования и прокатки, и к двигателям Уатта и Тревитика, и к мюль-машине Кромптона. Ни одна из этих теорий типа «из одного вытекает другое» не в состоянии объяснить факт промышленной революции. Они лишь объясняют хронологическое распределение инноваций: в тех случаях, когда новаторы оказывают друг на друга серьезное влияние, весьма вероятно концентрация успешных изобретений в темпоральных кластерах. Как показали Массон и Робинсон (Musson and Robinson, 1969), такие кластеры могут возникать в тех случаях, когда непрерывное взаимодействие — так сказать, «перекрестное опыление» — изобретателей, ученых и предпринимателей порождает критическую массу инноваций. Разумеется, феномен кластеров наблюдается не только в технической сфере: на память сразу же приходят голландская живопись XVII в. и австрийская музыка XVIII–XIX вв. Хотя таланты могут появляться через равномерные промежутки времени, это, несомненно, не относится к возможностям их реализации. В 1770–1830 гг. в Великобритании почти не было значительных художников. Если

не считать кластера писателей и поэтов-романтиков, ключевую роль играли инженеры, ученые и политэкономисты.

Сферой, практически выпавшей из поля зрения исследователей, занятых поисками ответа на вопрос «почему Англия была первой?», является политическая экономия технических изменений. В эпоху промышленной революции многие, разделяя заблуждение, существовавшее в течение столетий, опасались того, что машины лишат людей работы¹⁶. Более обоснованным был страх перед убытками, угрожавшими почтенным фирмам в механизировавшихся отраслях. Во многих сферах — от надомного ткачества и гужевых перевозок до кузнечного дела — промышленная революция вынуждала фирмы играть по ее правилам или выходить из дела вследствие конкуренции. Сопротивление инновациям с большей вероятностью исходило со стороны существующих фирм, нежели со стороны рабочей силы (хотя в случае ремесленников и ткачей-надомников это различие, вероятно, было не очень четким). Технический прогресс уменьшает богатство обладателей капитала (денежного или гуманитарного), который связан со старыми технологиями и с трудом поддается переводу в новые технологии. Поэтому наиболее сильное сопротивление наблюдалось в таких старых отраслях с интенсивным использованием навыков, как набивка и отделка шерстяных тканей.

Сопротивление инновациям усугублялось тем фактом, что выгода от инноваций в эпоху промышленной революции доставалась потребителям (которым очень трудно сплотиться ради совместных политических действий), а издержки обычно несло сравнительно небольшое число людей, во многих случаях уже имевших свои

16. Даже Рикардо в запутанном численном примере, который приводится в главе про «Машины», включенной в третье издание его «Принципов», приходит к выводу о том, что машины могут стать причиной структурной безработицы.

организации или знавших друг друга и живших в одной местности. Проигравшие могли либо прибегать к экстралегальным методам (бунты, уничтожение машин, личное насилие против новаторов), либо пытаться остановить технический прогресс с помощью политической системы. Так или иначе, насаждение технического прогресса порой выливалось в социальную борьбу, и решения, которые должны были выноситься рыночными силами, отдавались на откуп политикам и судьям. В этом отношении технические изменения были аналогичны свободной торговле. Вследствие рассеянности выгод и концентрации издержек свободная торговля всегда находилась под угрозой и обычно сохранялась на протяжении недолгого времени. И несмотря на то, что нам известно, какие силы стоят за наблюдаемыми процессами, всегда трудно предсказать последствия или хотя бы полностью разобраться в причинах конкретного исхода. Ясно лишь то, что в 1750–1850 гг. британская политическая система неизменно принимала сторону победителей — это касалось и технического прогресса, и во все большей степени свободной торговли. Накануне промышленной революции большинство активов британского правящего класса было вложено в недвижимость и в сельское хозяйство; фабрики и машины ничем ему не угрожали.

Опять же, различие между Великобританией и континентом представляло собой вопрос степени, заключающийся в мелочах. Известны многочисленные примеры агитации против машин в Великобритании до и во время промышленной революции. В 1551 г. парламент запретил механические ворсовальные станки, применявшиеся при отделке шерстяных тканей. Гильдия чулочников так яростно сопротивлялась внедрению вязальной рамы Уильяма Ли (1589), что ее изобретатель был вынужден покинуть Великобританию. В 1638 г. король наложил запрет на использование в Великобритании лентоткацких станков. «Челнок-самолет» Джона Кея (1733) вызвал ожесточенное противодействие со стороны тка-

чей, опасавшихся потерять средства к существованию. В 1768 г. 500 пильщиков напали на механическую лесопилку в Лондоне. Жестокие бунты сотрясали Ланкашир в 1779 г., а в 1792 г. была сожжена манчестерская фирма, первой освоившая механический ткацкий станок Картрайта. Утверждается, что ее разрушение «на несколько лет задержало развитие механического ткачества в этом регионе» (Stevenson, 1979, p. 118). Не исключено, что сильное сопротивление передовым технологиям производства пряжи и тканей из шерсти на юго-западе Англии — особенно в Уилтшире и Сомерсете, — являлось одной из причин, по которым основные центры шерстяной промышленности переместились в северные графства. В 1811–1816 гг. Мидлендс и промышленные графства стали ареной «луддитских» бунтов, в ходе которых был нанесен большой урон станкам. В 1826 г. состоялся трехдневный бунт ткачей-надомников в нескольких ланкаширских городах, а в 1830 г. на юге Англии развернулось движение «капитана Свинга» против использования молотилок в сельском хозяйстве.

По большому счету все эти попытки были безуспешными. Ворсовальные и лентоткацкие станки, вязальные рамы и «челноки-самолеты» в итоге были освоены британской промышленностью (хотя, возможно, не так быстро, как это могло бы произойти). Законы, запрещавшие машины, оставались неэффективными. В XVIII в. правительство постепенно занимало все более жесткую позицию по отношению к группам, пытавшимся воспрепятствовать техническому прогрессу. В 1769 г. Парламент издал строгий закон, в котором преднамеренное уничтожение машин объявлялось уголовным преступлением, караемым смертью. В 1779 г. армия подавляла ланкаширские бунты, а настроения властей хорошо выражались в резолюции, принятой мировыми судьями Престопа: «Единственной причиной крупных бунтов были новые машины, используемые в хлопчатобумажной промышленности; тем не менее их установка стала большим благом для страны [и] разрушение их в нашей

стране приведет лишь к тому, что их заведут у себя другие страны... к серьезному ущербу для британской торговли» (цит. по: Mantoux, [1905] 1961, p. 403). Во время луддитских бунтов 1811–1813 гг. британское правительство выставило против восставших 12 тысяч солдат — больше, чем числилось в Пиренейской армии Веллингтона на момент ее создания в 1808 г. Восстания луддитов жестоко подавлялись и обычно завершались казнями и высылками.

Не более удачными были и попытки остановить промышленную революцию юридическими методами. В 1780 г. хлопкопрядильщики подали в парламент петицию с просьбой о запрете хлопкопрядильных станков, но комитет, назначенный для рассмотрения этого вопроса, отверг петицию. В 1794 г. шерстечесальщики выступали против гребнечесальной машины, изобретенной Эдмундом Картрайтом, однако предприниматели снова одержали верх. Такая же участь постигла и все прочие петиции, включая ту, в которой требовалось запретить ворсовальный станок на основании закона 1551 г. (Mantoux, [1905] 1961, p. 403–408). В 1803–1809 годах в шерстяной отрасли разгорелась битва между промышленниками и рабочими по поводу отмены старинных уставов и правил, рассматривавшихся промышленниками как тормоз для внедрения новых технологий. В 1809 г. эти законы были отменены (Randal, 1986). В 1814 г. был отменен и действовавший 250 лет Ремесленный устав, несмотря на требования ремесленников, пытавшихся защитить свою профессию. Дело рабочих было политически безнадежно. При всей убедительности аргумента о том, что запрет на новые машины приведет лишь к их распространению за рубежом, это был лишь один из факторов. Главную роль в британской политике играли классы собственников, которые могли не опасаться того, что новая техника уменьшит стоимость их активов. Более того, положение многих работников в традиционном секторе первоначально не ухудшилось. Хотя некоторые трудящиеся, например

ткачи-надомники и вязальщики, в результате механизации лишились работы, многие рабочие, из-за машин оставшиеся без куска хлеба, в итоге пошли на фабрики. Некоторые надомные отрасли, производившие товары, которые дополняли продукцию фабрик или служили для них сырьем, благодаря новым технологиям долгие годы только процветали, пока не настала и их очередь конкурировать с машинами. В этом отношении список бунтов и волнений, при всей его внушительности, обманчив. Большинство инноваций внедрялось без особых проблем, и не всякие проблемы обязательно отражали возмущение появлением новых машин¹⁷.

Сильно ли отличалась ситуация на континенте? Как и в Великобритании, источником сопротивления здесь служили гильдии квалифицированных работников и неквалифицированные трудящиеся, опасавшиеся безработицы. До французской революции ремесленным гильдиям, все еще существовавшим в большинстве регионов, удавалось сдерживать распространение некоторых новых технологий. В частности, это достигалось путем прямого запрета изобретений, угрожавших устоявшимся интересам. Лентоткацкий станок, известный в Англии как голландский или механический станок, столкнулся с сопротивлением по всему континенту, в противоположность Ланкаширу, где он быстро распространился после 1616 г. (Wadsworth and Mann, 1931, p. 104). Гильдии Бранденбурга успешно препятствовали внедрению вязальной рамы на протяжении значительной части XVIII века. Во Франции и в других странах успешное противодействие внедрению новых технологий наблюдалось в ряде отраслей, включая набивку

17. Причиной для многих рабочих волнений эпохи промышленной революции в большей степени служили низкие заработки и высокие цены, нежели новая техника. Отчасти такой характер носили луддитские бунты 1811–1816 гг.: вязальные рамы, разрушенные в Ноттингеме, представляли собой старую, хорошо известную технику.

тканей и хлопчатобумажную промышленность¹⁸. Старые городские гильдии все чаще создавали помехи для технического прогресса, выражавшиеся не столько в открытом сопротивлении, сколько в огромном количестве предписаний и запретов, касающихся сырья и производства¹⁹. Например, согласно этим предписаниям цирюльнику Ричарду Аркрайту было бы проблематично основать хлопкопрядильную мастерскую. Однако влияние гильдий в XVIII в. уже уменьшалось. После 1760 г. гильдии начали сдавать позиции в Германии и Франции, а в 1784 г. они были отменены в южных Нидерландах. Французская революция привела к их отмене в 1791 г. во Франции, а впоследствии и на территориях, захваченных французами. К 1815 г. на всем континенте гильдии либо лишились всякого влияния, либо были полностью отменены. Политические потрясения и смуты 1790–1815 гг., представлявшие собой цену за избавление от отживших институтов, отчасти могут объяснять задержку с освоением некоторых технологий в Европе. С другой стороны, в долгосрочном плане революция очистила континент от обломков старого режима,

18. В 1772 г. Вильгельм Хаас, шрифтолитейщик из Базеля, изобрел печатный станок, который был тяжелее и стабильнее существовавших, и потому его можно было делать из тяжелых металлических деталей. Гильдия базельских печатников в судебном порядке добилась того, что Хаасу запретили строить такие станки (Audin, 1979, p. 658). Хорошим примером также может служить противодействие со стороны бумагоделов попыткам внедрения «голландца» — машины, резавшей тряпье и измочаливавшей его, превращая в бумажную массу. *Copagnonnages* (союзы квалифицированных работников) в бумажной отрасли успешно сопротивлялись этой инновации, прибегая к саботажу и поджогам.

19. Гильдии голландских кораблестроителей, первоначально отличавшиеся прогрессивностью и поддержкой технических инноваций, где-то в середине XVII в. приобрели консервативный характер и начали противодействовать изменениям, тем самым тормозя развитие голландского судостроения. См.: Unger (1978).

обеспечив Европе возможность вслед за Великобританией со временем осуществить революцию в своей производственной системе.

Не то чтобы на континенте слабо сопротивлялись инновациям. Страх перед структурной безработицей хорошо заметен в *cahiers* 1789 г. (жалобах, адресованных Генеральным штатам). В 1788–1791 гг. рабочие неоднократно бунтовали, протестуя против машин, в которых они видели угрозу своим заработкам. В летние месяцы 1789 г. рабочие громили машины в Руане, а затем и в других городах, включая Париж и Сент-Этьен. Гнев бунтовщиков был направлен на прядильные машины, ввезенные из Великобритании, и на станки местного производства, например, для изготовления вил. Хотя эти волнения постепенно утихли, причиненный ими ущерб мог ощущаться в течение долгого времени. По словам одного историка (McCloy, 1952, p. 184), «бунтовщики... перевели стрелку часов, по крайней мере в промышленности, примерно на двадцать лет назад, так как лишь после завершения войн... Франция сумела снова завести у себя такие машины». И все же после революции, при сильном и прогрессивно настроенном наполеоновском правительстве, оппозиция новым технологиям выглядела на континенте не менее беспомощно, чем в Англии²⁰. Лионские ткачи тщетно сопротивлялись внедрению жаккардового станка в первом десятилетии XIX в. (Ballot, [1923] 1978, p. 379). Десятилетием спустя с определен-

20. Наполеона, посетившего в 1803 г. город текстильщиков Седан, встречали стригальщики шерсти — представители одной из наиболее организованных и непримиримых профессий, — которые кричали: «Да здравствует Первый консул! Долой машины!». Наполеон ответил в характерном для него стиле: «Ваши опасения беспочвенны. Поскольку машины для стрижки снижают цену ткани, потребление будет возрастать быстрее, чем снижаться нужда в рабочей силе» (Payen and Pils, 1979, p. 616–617). Впрочем, суждения императора о технике не всегда были безошибочными. Он называл газовое освещение «глупостью», и оно было внедрено во Франции лишь после 1815 г.

ным сопротивлением столкнулись во Франции приспособления для стрижки шерсти. Тем не менее некоторые исследователи полагают, что луддизм, «несомненно, не мог замедлить освоение машин французской промышленностью» (Manuel, 1938).

Однако было бы ошибкой отождествлять то, что обычно называется луддизмом (бунт против машин), с рациональным сопротивлением новой технике со стороны групп, которым грозили убытки в случае ее внедрения. Во-первых, к разрушению машин нередко прибегали просто потому, что машины были удобной и уязвимой целью при трудовых конфликтах, а не только из-за возмущения воплощавшимися в них конкретными новыми технологиями. Что еще более важно, сопротивление новой технике нередко принимало скрытые формы, с трудом поддающиеся выявлению. В недавних исследованиях по социальной истории подчеркивается высокая организованность французских рабочих. После 1815 г. место гильдий заняли «общества взаимопомощи», нередко втайне игравшие роль профессиональной обороны. Мелкие независимые мастера зачастую поддерживали незаконные союзы в борьбе с предпринимателями-новаторами, с целью сокращения издержек переходившими на машины (Sewell, 1980, p. 182). В 1895 г. эти общества насчитывали почти 400 тыс. членов (Shorter and Tilly, 1974, p. 176)²¹. Необходимость задобрить квалифицированных ремесленников вполне могла иметь своим следствием выбор Францией технологий, отличавшихся от британских. Так, французская индустрия, возникшая в XIX в., по-прежнему основывалась на мелком ручном производстве, ориентированном

21. Хороший пример того, как группа квалифицированных ремесленников пыталась затормозить механизацию, а с ней — и обесценение своих традиционных навыков, нам дают стеклоделы из южной Франции. В конце XIX в. они создали союз с целью сохранить свои рабочие места и практику освоения своей профессии в качестве подмастерьев (Scott, 1974, p. 91–107).

на более-менее местные рынки. Некоторые историки экономики объясняют это различие между Великобританией и Францией разницей в темпах роста населения, однако нельзя же до бесконечности возлагать ответственность на демографические процессы. Таким образом, технический процесс во Франции в большей степени, чем в Великобритании, должен был учитывать интересы ремесленников и находить компромисс между традиционными навыками и потребностями современных заводов. В Бельгии, Швейцарии, Чехии и долине Рейна сопротивление новой хлопкопрядильной технике потерпело крах. С другой стороны, в Нидерландах рабочие неоднократно разрушали машины на текстильных предприятиях на юге страны. Хотя подобных инцидентов было немного, они вполне могли удерживать предпринимателей от установки нового оборудования.

Технический прогресс являлся результатом сотрудничества многих наций, помимо Великобритании, преимуществ которой носили количественный и преходящий характер. Тем не менее мы можем извлечь важные уроки из сравнения тех путей, которыми шли страны Европы в 1750–1914 гг. Их сопоставление позволит пролить некоторый свет, например, на причины, по которым как будто бы соблюдается закон Кардуэлла, согласно которому никакая экономика не способна оставаться технологически креативной в течение длительного времени. Британия, колыбель технологий, из которых выросла промышленная революция, утратила свое лидерство в конце XIX — начале XX вв. Хотя историки экономики до сих пор дискутируют о том, замедлилось ли ее развитие до или после 1900 г., нет никаких сомнений, что в 1914 г. самые передовые технологии создавались уже в других странах.

* * *

Политическая экономия технических изменений остается почти не изученной сферой. Некоторым наблюдателям технический прогресс напоминает жизненный

цикл человека: юношеская энергия сменяется осторожностью, присущей людям в годах, за которым следует немощность старческого или «климактерического» возраста. Для того чтобы подобный антропоморфный образ имел экономический смысл, он нуждается в конкретизации. Общества представляют собой совокупные образования и стареют не так, как отдельные люди. Если мы хотим понять, почему затухает инновационный огонь, то должны предложить модель, в которой технический прогресс создает условия для своего собственного угасания. Во-первых, вспомним, что социальные издержки инноваций частично обусловлены процессом «творческого разрушения». Шумпетер, популяризовавший это понятие, связывал его с капитализмом, но в реальности оно представляет собой неотъемлемую часть технического прогресса при любом экономическом режиме. Постоянное устаревание определенных негибких активов, имеющих вид как физического, так и гуманитарного капитала — вот та цена, которую общество платит за непрерывный прогресс. В той мере, в которой группы, выигрывающие от внедрения новых технологий, совпадают с группами, расплачивающимися за убытки (не превышающие величину прибыли), сопротивление техническому прогрессу будет слабым. Чем сильнее несовпадение двух этих групп, тем больше у проигравших окажется стимулов к тому, чтобы встать на пути у прогресса. Представляется вероятным, что ключевым фактором здесь является устаревание гуманитарного капитала, потому что его гибкость резко снижается к концу жизненного цикла. Но заметную роль играет и физический капитал. Впрочем, до тех пор, пока гарантирован свободный вход в отрасль, способность любой группы помешать внедрению новых технологий останется ограниченной. Таким образом, «жизненный цикл» технически развитого общества будет состоять из трех этапов. Первый из них — этап молодости, на котором новой технике удастся заменить прежнюю технику благодаря своей более высокой эффективности. Этот этап соот-

ветствовал периоду с 1760 по 1830 гг. в Великобритании. Далее следует этап зрелости: новая техника доминирует, однако творческое разрушение, вызываемое новыми технологиями, взимает с общества все более высокую дань, вынуждая слои, все еще контролирующие ситуацию, принимать все более серьезные меры к своей защите. Для третьего этапа характерно наличие социальных или политических механизмов, защищающих успешную устаревшую технику от инноваций. Если они работают успешно, общество лишается технологической креативности. Если они не выполняют своих задач, цикл начинается заново.

Имеет ли такая схематическая теория жизненных циклов хоть какую-то ценность? Ее предсказательные возможности очень ограничены: не имея дополнительной информации, мы не сможем сказать, сколько времени общество будет обладать креативностью, каким образом оно ее утратит и сможет ли когда-нибудь ее вернуть. Однако, подобно большинству теоретических моделей, эта модель подсказывает экономисту-эмпирику и историку экономики, где искать конкретные факты. Обществам, впадающим в консерватизм после завершения креативного периода, приходится бороться с инновациями, создавая механизмы, не позволяющие существующим фирмам брать на вооружение новые идеи, препятствуя входу потенциальных новаторов в окостеневшие отрасли и пресекая проникновение новых идей из-за границы. Япония в 1638 г. практически закрыла свои рубежи для европейцев. Как мы видели, исламский мир и Китай пытались оградиться от западного влияния, прибегая к сочетанию идеологических и запретительных мер. Однако на самом Западе подобная оборона нередко принимала менее явные формы. Протекционистские тарифы столетиями обеспечивали выживание устаревших технологий (под предлогом необходимости смягчить тяготы переходного периода). С помощью гильдий, профсоюзов, ассоциаций производителей и лицензионных требований насаждался

конформизм и предотвращалось появление новых людей с новыми идеями. По мере возрастания требований к объему основного капитала в промышленности новым барьером на пути новых идей и новых технологий становилось ограничение кредитов²².

В поздневикторианской Великобритании новый правящий класс, пришедший к власти, защищал свои позиции, оградив британскую элиту от проникновения в ее ряды точно таких же предпринимателей, какие являлись ее прародителями. Он пытался перекроить иерархию ценностей, намереваясь вернуть производство и технику на то непрестижное место, которое они занимали в течение столетий до промышленной революции. Подобные попытки в целом были безуспешными. Вследствие конкуренции с другими индустриальными державами и внутренней конкуренции между британскими фирмами Великобритания никак не могла избежать второй промышленной революции. Однако британцы пытались осуществить вторую промышленную революцию с помощью тех орудий, которыми делалась первая, подобно тому, как генералы ведут новую войну, применяя тактику предыдущей войны. Систематическое использование молодых естественных наук тормозилось сохранявшимися традициями любительства и дилетантизма и практически полным отсутствием технического образования. Основным механизмом передачи навыков по-прежнему было обучение в процессе работы. Изобретения по большому счету оставались уде-

22. На заре американской автомобильной промышленности подозрительные банкиры отказали в выдаче небольших займов Р. И. Олдсу и Чарльзу К. Дюреа. Когда Уилл Дюрант сделал предсказание о том, что когда-нибудь в США будет построено 500 тыс. автомобилей, могущественный банкир Джордж Перкинс посоветовал ему «держатъ эти идеи при себе, если он не хочет остаться без кредитов» (Stern, 1937, p. 44). Джеймса Казенса, казначея Генри Форда, при попытках раздобыть капитал столько раз вышвыривали из детройтских контор, что однажды он просто сел на тротуар и разрыдался (Hughes, 1986, p. 288).

лом талантливых людей со стороны, а британские ученые (за исключением нескольких выдающихся фигур, таких как Чарльз Парсонс) были так же слабо вовлечены в исследование новых возможностей, как и в организацию повседневного производственного процесса. Как мы видели, Великобритания не утратила свою ключевую позицию в сфере изобретений, но эта позиция представляла собой полную противоположность по сравнению с ситуацией вековой давности: на пике первой промышленной революции страна была нетто-импортером технологий, а после 1850 г. превратилась в их экспортера. Технологическая креативность, понимаемая как использование новых идей в производстве, начала утрачивать в Британии свои прежние темпы. Сами идеи продолжали появляться, но экономическое окружение постепенно лишалось восприимчивости к ним.

Неожиданным орудием, взятым на вооружение правящей элитой, оказалась система образования. Английские публичные школы открыли свои двери для представителей новой элиты, но старательно избегали давать им такое практическое образование, которое бы позволило им стать угрозой для технического статус-кво. Те, кому представилась возможность получить образование, обычно отдавали предпочтение свободным профессиям. Система образования, никогда не являвшаяся самым прогрессивным из британских институтов, сопротивлялась включению прикладных наук в свое расписание²³. Старая британская традиция неформального обучения оставалась основным средством передачи технической информации. Напротив, в большинстве других европейских стран были созданы технические школы, игравшие ключевую роль в ходе догоняющего развития. Выпускники немецкой *Technische Hochschule* вызывали у британских

23. В Германии университеты тоже пытались противодействовать реформам и сумели не допустить преподавания инженерных наук в своих стенах. Однако германские власти перехитрили университеты, создав независимую систему технических училищ.

бизнесменов изумление и все более серьезные опасения в отношении грядущей конкуренции (Ashby, 1958, p. 795; Julia Wrigley, 1986, p. 172–173). Как мы видели ранее, аналогичные школы существовали в Нидерландах (Делфт), в Швейцарии (Цюрих) и во Франции (например, *Institut Industriel du Nord* в промышленном городе Лилле).

Вряд ли кто сможет утверждать, что решающую роль здесь играли только факторы спроса: среди англичан наблюдался большой интерес к научным и техническим достижениям, которые во второй половине XIX в. им все чаще приходилось импортировать. Так, Британская ассоциация содействия развитию науки заказала фон Либиху его знаменитый трактат 1840 г., после перевода на английский с энтузиазмом встреченный британской публикой. Ученика Либиха Августа фон Хофмана пригласили в Лондон преподавать химию в Королевском химическом колледже и консультировать как частные компании, так и британское правительство. Но после возвращения Хофмана в Германию в 1865 г. и особенно после Парижской выставки 1867 г. стало ясно, что Британия переходит в отстающие. Как писал в 1867 г. один англичанин, на Парижской выставке «сложилось поразительно единодушное мнение о том, что наша страна проявляет мало изобретательности и почти не развивает свою промышленность... Единственная причина этого, по всеобщему убеждению, состоит в том, что Франция, Пруссия, Австрия, Бельгия и Швейцария обладают хорошими системами производственного образования... которого нет в Англии» (цит. по: Ashby, 1958, p. 789). Для решения этой проблемы неоднократно назначались королевские комиссии и специальные комитеты, единодушно рекомендовавшие расширить масштабы и повысить качество научного и технического образования. Научное образование существенно улучшилось, но техническим колледжам пришлось ждать принятия Закона 1889 г. о техническом обучении. В течение всего этого времени главным аргументом, перевешивавшим все прочие доводы, было убеждение сторонников техниче-

ского образования в том, что без такой системы Великобритания не сможет конкурировать с другими нациями. Как мы уже неоднократно видели, наличие государств-конкурентов представляло собой самый эффективный противовес силам технической реакции.

Разумеется, слабость британского технического образования не следует наивно объяснять каким-либо коварным заговором сторонников статус-кво. С другой стороны, понятно, что существовавший политический и экономический строй почти ничего бы не выигрывал в случае усилившегося государственного вмешательства, которое требовалось для того, чтобы привести британское техническое образование в соответствие с континентальным. Подобно тому, как этот строй успешно противодействовал государственному вмешательству, принимавшему вид протекционистских тарифов, точно так же он сопротивлялся и росту расходов на образование. Однако консерватизм не только заразил университеты и правительство, но и проник на производство. Созданию и распространению технических школ противодействовало то, что Ландес называл «мистикой практического опыта» — идеей о том, что технические навыки можно приобрести только на рабочем месте, но никак не при получении формального образования. Деловой мир пытался создать «сеть старых приятелей» в попытке подкупить или оставить за бортом тех, кто покушался на технический статус-кво. Был возрожден «джентльменский менталитет» — не в качестве причудливой черты британского характера, а в качестве механизма обороны от тех, кто готов был сделать с британской элитой то же, что ее деды столетием ранее сделали с предыдущей элитой. Прибыль снова становилась источником стыда, а не гордости²⁴. Прибегали также

24. Например, как высказывался на закате своих дней Уильям Перкин, наживший состояние на изобретении анилиновых красителей, «говорили, что своим примером я причинил ущерб науке, отравив помыслы молодых людей от чистой к прикладной на-

к тактике кооптации будущих бунтарей в ряды старой элиты, принимая их в публичные школы и университеты при условии, что они не станут раскачивать лодку. С теми, кто не был на это согласен, обращались как с социальными изгоями. Даже такие люди, как Уильям Перкин и Эдвард Николсон (также занимавшийся химическими красителями), нажившие состояние благодаря научной работе, впоследствии решили полностью посвятить себя чистым исследованиям.

Во второй половине XIX в. трудящиеся также проникались все более отрицательным отношением к машинам, однако объектом их стремлений, помимо желания защитить свои специальные навыки, являлись более высокие заработки и улучшение условий труда. Альфред Гоббс, американский изготовитель замков, использовавший при их производстве взаимозаменяемые детали, в 1857 г. констатировал: «важным препятствием, помешавшим внедрению машин бирмингемскими оружейниками, являлось сопротивление работников подобным новшествам». Джозеф Уитворт в своем докладе 1854 г. о различиях между американской и британской промышленностью подчеркивал, что британские рабочие относятся к новой технике намного враждебнее, чем американские рабочие, поскольку первые имеют более высокую квалификацию, лучше организованы и менее мобильны (Rosenberg, ed., 1969). Внедрение швейных машин было запрещено в Нортхэмптоне, центре обувной промышленности, после трех забастовок, произошедших в конце 1850 гг.; новая техника не была допущена также в некоторые центры ковроткачества, печати, стеколоделия и металлообработки, где она сталкивалась с решительным сопротивлением (Samuel, 1977, p. 9–10, 33). Однако в большинстве случаев противодействие принимало форму жесткого торга за изменение заработной

уже, и вполне возможно, что в течение какого-то времени некоторых из них привлекали к изучению химии иные мотивы, помимо подлинно научных» (цит. по: Веер, 1959, p. 45).

платы и условий труда вследствие изменения производственных условий.

Лазоник (Lazonick, 1979, 1986) подробно показывает, каким образом сильным британским профсоюзам XIX в. удалось повлиять на инновационный процесс, а впоследствии и создать атмосферу враждебности к техническим изменениям. Сильные позиции квалифицированных рабочих делали весьма затратным внедрение новых машин в хлопчатобумажной отрасли — дряхлеющем флагмане британской индустрии. В частности, рабочие-прядильщики вынуждали капиталистов сохранить систему «смотрителей», возникшую в первой четверти XIX в. В соответствии с этой системой капиталист делегировал часть полномочий по надзору за работниками и по их найму специальному рабочему, отвечавшему за мюль-машину. Эта система не смогла воспрепятствовать внедрению самодействующего станка, хотя, возможно, затормозила этот процесс и помешала капиталистам использовать новое устройство для укрепления своих позиций по сравнению с позициями рабочих. Впрочем, к 1880-м гг. мюль-машина исчерпала свои возможности, а кольцепрядильная машина так и не проникла в Британию. Лазоник (Lazonick, 1987, р. 303) приходит к выводу о том, что «кровные интересы — и в частности, участие британских рабочих в производственном контроле и сыгранная ими роль в исторически сложившейся недоразвитости британского менеджмента — встали на пути... распространения передовых производственных методов». Все это не обязательно становилось непосредственной причиной неэффективности, понимаемой в узком экономическом смысле как неудачное распределение ресурсов. Следует вспомнить слова Кардуэлла (Cardwell, 1972, р. 193) о том, что поздневикторианская Британия потерпела неудачу не в экономике, а в сфере науки и техники²⁵.

25. Современные историки экономики пытались снять с британских предпринимателей обвинение в том, что те «не сумели» вос-

Экономики, достигшие третьего этапа технологического жизненного цикла, могут выбирать различные защитные механизмы, в зависимости от своей политической системы и социальных обычаев. Влиятельного правителя можно склонить либо к защите статус-кво, либо к поддержке сил прогресса. Иногда удается достигнуть компромисса. В результате последствия становятся неопределенными, а технологически креативные этапы жизненного цикла могут удлиняться или сокращаться. Тем не менее политический механизм этого типа способен пролить некоторый свет на силы, скрывающиеся за законом Кардуэлла. Эти механизмы невозможно описать более конкретно, не имея более точного представления о сложных повторяющихся играх между теми, кому технические изменения выгодны, и теми, кому они не выгодны. Однако ясно то, что эта игра структурирована особым образом. Всякий раз, как появляется какая-либо новая техника, она вынуждена вступать в борьбу с существующим статус-кво и может победить в этой борьбе с вероятностью p . В случае победы она становится доминирующей и, в свою очередь, на следующем этапе сама окажется под ударом. Если же она проигрывает, то силы реакции создадут новый анти-технический набор институтов, одолеть который будет

пользоваться открывавшимися им техническими возможностями. Однако проблема заключается в *создании* возможностей, а не в их эксплуатации. Линдерт и Трейс (Lindert and Trace, 1971, p. 266) соглашаются с тем, что британских предпринимателей можно осудить или оправдать в зависимости от того, как мы оцениваем имевшиеся у них возможности. «Если считать, что научные открытия были им неподвластны, то британских предпринимателей нельзя обвинить в том, что они оставили львиную долю британских и мировых рынков красителей на откуп германским и швейцарским фирмам... Однако представляется оправданным возлагать на британских бизнесменов вину за недостаточное стремление к новым открытиям». В любом случае британское общество как целое явно потеряло хватку, не воспользовавшись инновациями, связанными со второй промышленной революцией.

гораздо сложнее, то есть в следующем раунде игры вероятность победы новой техники будет равна p' , где $p' < p$. Не исключен вариант, когда $p' = 0$, то есть общество навсегда оставит у себя прежнюю технику, и победа статус-кво приведет к созданию подлинно замкнутого государства. Впрочем, есть причины полагать, что этим дело не исчерпывается. Во-первых, как p , так и p' , вероятно, будут зависеть от соотношения между потерями и приобретениями, связанными с переходом на новую технику. Более резкие перемены увеличат и потери, и приобретения, но не обязательно *pari passu*, вследствие чего у достаточно передовой техники будет шанс на победу над реакционными институтами. Более того, в глобальном окружении p' зависит от величины разрыва между реакционными и прогрессивными экономистами. В какой-то момент этот разрыв станет нетерпимым и реакционные силы потерпят поражение, как произошло в Японии в 1868 г. и — не так быстро — в Китае после 1898 г.

Альтернативный способ понять, почему периоды технологической креативности не продолжались бесконечно и обычно быстро заканчивались, основывается на связи между структурой рынка и инновациями. Экономисты в течение многих лет обсуждали гипотезу Шумпетера; обзор литературы по этому вопросу можно найти в других работах (Kamien and Schwartz, 1982; Scherer, 1980, ch. 15; Baldwin and Scott, 1987). Вкратце, Шумпетер утверждал, что «самым мощным двигателем технического прогресса» являются крупные фирмы, обладающие значительным рыночным влиянием, а не идеально конкурентные фирмы (Schumpeter, 1950, p. 106). Свободный вход на рынок, по его мнению, несовместим с экономическим прогрессом, основанным на технических изменениях. По большей части эта дискуссия имеет сомнительное отношение к тому, что происходило до 1914 г. Еще менее уместны ссылки на другую версию этой гипотезы, выдвинутую Гэлбрейтом, пытавшимся связать размер фирмы со склонностью к иннова-

циям²⁶. До 1850 г. крупные фирмы встречались крайне редко и производство осуществлялось главным образом семейными предприятиями, нередко использовавшими труд домашней прислуги и наемных работников. Поэтому представляется маловероятным, чтобы размер фирм являлся принципиальным фактором, объяснявшим развитие техники в эпоху до нового времени. В любом случае Шумпетер вел речь не о размере, а о степени конкуренции. В этом отношении мы видим в истории намного больше разнообразия. Мелкие фирмы не гарантируют конкурентоспособности. Если фирмы обслуживают достаточно небольшой рынок (то есть транспортные издержки достаточно высоки), то даже один-единственный кустарь может стать монополистом. Более того, в отраслях с конкуренцией могут создаваться предохранительные механизмы, сглаживающие остроту конкуренции и в определенной степени превращающие отрасль в монополию. В Европе эту задачу в течение многих столетий определенно выполняла система гильдий, хотя она была создана с другими целями. В XIX в. конкурентное давление ослаблялось посредством картелей, профессиональных ассоциаций, государственного регулирования и неписаных джентльменских соглашений, определявших, какое поведение пристало бизнесмену. Идеальная конкуренция наблюдалась редко. Ход игры регулировался ограниченным набором правил, способствовавших инновациям в одни эпохи сильнее, чем в другие.

Современная эмпирическая литература, описывающая рыночную структуру, наиболее благоприятную для

26. В любом случае аргументы, связанные с размерами фирм, всегда были самым слабым звеном в гипотезе Шумпетера. Его точка зрения практически не подтверждается ни теорией, ни эмпирическими наблюдениями. Более того, факты говорят о том, что мелкие фирмы в большинстве случаев являются лидерами в НИОКР. См.: Kamien and Schwartz (1982, p. 67–69). Лишь в очень нетипичных случаях инновационные издержки и риски инноваций бывают настолько велики, что для разработки и внедрения требуются ресурсы крупной фирмы.

технических изменений, по большей части неубедительна и порой противоречива. Исторические факты тоже не слишком нам помогут. После 1750 г. англосаксонские экономики в целом были более конкурентными по сравнению с прочими; картели и формальные препятствия для выхода на рынок встречались на континенте намного чаще. В Германии и Австрии государство в конце XIX в. поощряло и навязывало создание картелей; в США после 1890 г. они были запрещены, а в Великобритании являлись экстралегальными — их не запрещали и не поощряли. Однако на практике большинство британских фирм оставались мелкими, а британская промышленность по-прежнему носила фрагментированный и децентрализованный характер. Сами по себе эти различия не означают, что на континенте конкуренция была менее развита, чем в Великобритании или США. Более того, история технических изменений в 1750–1914 гг. едва ли подтверждает простую гипотезу Шумпетера. Великобритания, будучи наиболее конкурентной экономикой, первоначально имела инновационные преимущества, но после 1870 г. утратила их в состязании с европейским континентом и США. Либо мы неверно измеряем степень конкуренции и Великобритания в конце XIX в. в реальности была менее конкурентной экономикой, чем кажется, либо новая техника, появившаяся в ходе второй промышленной революции, в этом отношении принципиально отличалась от прежней техники. Такие изобретения, как химические красители, двигатель внутреннего сгорания, электроприборы и сталь, могли стать пригодными к использованию лишь после длительного процесса разработки и многочисленных усовершенствований. В этом смысле менее конкурентные германские олигополии, возглавлявшиеся немногочисленными, но мощными инвестиционными банками, а также крупные фирмы, возникавшие в США в конце XIX в., могли обеспечивать более оптимальные условия для технических изменений (Mowery, 1986).

Несмотря на неубедительность литературы о связи между структурой рынка и инновациями, мы можем почерпнуть из нее кое-какие дополнительные соображения о причинах, по которым выполняется закон Кардуэлла. Взаимосвязь между техническими изменениями и рыночной структурой носит взаимно-обратный характер. Считается, что рыночная структура влияет на технологическую креативность отрасли или всей экономики, однако технические изменения тоже сказываются на структуре рынка. Результаты этого взаимодействия также будут неопределенными. Некоторые виды технических изменений обычно ведут к усилению конкуренции — улучшение транспорта и связи подрывает силу локальных монополий, переход на электричество способствовал уменьшению оптимального размера фирмы, а новые виды продукции вступают в конкуренцию со старыми. Изменения другого типа (например, патенты) усиливают экономию за счет масштаба и создают препятствия для входа в отрасль. Однако все это приводит нас к поразительному выводу: каким бы ни был характер взаимоотношений в данной модели, из нее следует, что технические изменения с высокой вероятностью окажутся эфемерными. Крайне упрощенного варианта этой модели будет достаточно для того, чтобы показать, как взаимосвязь между размером фирмы и техническими изменениями может объяснить закон Кардуэлла. Предположим, что существуют только два типа рыночных структур: тип i , благоприятствующий техническим изменениям, и тип j , который им не способствует. Этот рейтинг рыночных структур в соответствии со степенью их содействия техническим изменениям сам по себе зависит от используемой техники, а технические изменения могут привести как к смене структуры i на структуру j , так и к перемене их мест в рейтинге. Предположим, что у нас имеется рыночная структура i , в которой происходят технические изменения. Мы можем получить один из четырех возможных результатов: 1) в течение следующего периода сохранит-

ся преобладание рыночной структуры i , которая станет еще более благоприятной для технических изменений; 2) в течение следующего периода структуру i сменит структура j при сохранении их прежнего рейтинга; 3) в течение следующего периода сохранится структура i , но рейтинг изменится; 4) в течение следующего периода произойдет переход от структуры i к структуре j , но теперь именно последняя будет более благоприятной для технических изменений. В случаях 1 и 4 прогресс продолжится; в случаях 2 и 3 техническое развитие остановится. Если все четыре исхода считаются случайными событиями, имеющими вероятность выше нуля, то процесс развития неизбежно придет к концу, когда мы получим результат 2 или 3²⁷. Впервые анализ подобных марковских процессов применительно к шумпетеровской динамике был проведен в работе Futia (1980), где показано, каким образом легкость входа в отрасль и технические возможности определяют структуру отрасли и вероятность технического прогресса. Эти исследования можно продолжить с целью дальнейшего изучения идеи Шумпетера о том, что технические изменения имеют преходящую природу.

При исследовании технического прогресса встает вопрос о том, какое состояние считать нормальным: креативность или стагнацию? От ответа на этот вопрос зависит, что именно подлежит объяснению: периоды прогресса или периоды стагнации. На этот вопрос невозможно ответить на основании одних только истори-

27. Аналогичный аргумент выдвигают Кэмиен и Шварц (Kamien and Schwartz, 1982), считающие, что «самоподдерживаемость» представляет собой самую существенную проблему в этой сфере. Они указывают, что «если рыночная структура, благоприятствующая техническому развитию, влечет за собой создание структуры, враждебной ему, то технический прогресс не будет самоподдерживающимся... процесс „творческого разрушения“, описанный Шумпетером, может обратиться против самого себя и привести к уничтожению того фундамента, на котором он строится» (Kamien and Schwartz, 1982, p. 218, 220).

ческих фактов. Очевидно, периоды технических изменений являлись в истории человечества исключением, а не правилом. Однако в результате промышленной революции настоящее и будущее могут оказаться принципиально иными. С другой стороны, «ловушка Кардвелла» выглядит слишком распространенным явлением для того, чтобы заранее делать подобные выводы.

Эволюция и динамика технических изменений

Что нам известно о динамике технического прогресса? Экономисты уже давно признали, что традиционные инструменты экономической теории, построенной на концепции равновесия, непригодны для анализа технических изменений. Однако неясно, что можно предложить в качестве альтернативы. В экономике роста использовалась концепция равновесия как *стабильного состояния (steady state)*, представляющего собой разновидность роста, постоянную и предсказуемую саму по себе и потому способную заменить концепцию равновесия в качестве ее динамического эквивалента. Представляется естественным рассматривать стабильное состояние как эволюционный процесс. К идее эволюционного развития нас подводят такие выражения, как «технологический дрейф» и «неумолимо надвигающиеся изменения, отчасти совершающиеся методом проб и ошибок» (Jones, 1981, p. 63). Однако этим термином гораздо чаще жонглируют, нежели реально его используют в качестве рабочих рамок. Слово «эволюция» имеет два разных значения, выступая либо как синоним «постепенного и непрерывного процесса», либо как специфическая динамическая модель, в которой решающую роль играют мутации и отбор. Два этих определения не совпадают и могут противоречить друг другу. Современные теории эволюционных изменений открыто допускают существование хаотических бифуркаций и катастроф, приводящих к новым непредсказуемым стабильным состояниям (Laszlo, 1987).

Ряд исследователей, включая историков (Cipolla, 1972, p. 46; Hindle, 1981, p. 128; Basalla, 1988) и экономистов (de Bresson, 1987), предлагали эволюцию в ее втором смысле в качестве модели технических изменений. Ниже мы рассмотрим те возможности, которые нам дает такая аналогия¹. Она полезна для понимания динамических аспектов технического прогресса. В частности, ее можно использовать для ответа на вопрос, происходит ли технический прогресс мелкими постепенными шагами или большими скачками. Аналогия с эволюцией представляется сегодня более уместной, чем когда-либо прежде, вследствие оживленной дискуссии между сторонниками постепенного и скачкообразного развития, кипевшей в эволюционной биологии на протяжении прежнего десятилетия и в какой-то степени проходившей параллельно диспутам между историками экономики.

Идея применять концепции из теории эволюции к экономике, разумеется, не нова, хотя эволюционные теории по большей части остались в стороне от главных направлений современной экономической теории. Такую попытку предпринял Боулдинг (Boulding, 1981), однако его аналогия между экономикой и биологией оказалась несколько смутной². Нельсон и Винтер в своей

1. Впервые аналогию между техническим развитием и биологической эволюцией пытался провести еще Маркс в главе «Машины и крупная промышленность», помещенной в первом томе «Капитала». Аналогичную идею выдвигал, но не подвергал рассмотрению, Гилфиллан (Gilfillan, 1935, p. 14–17). Обзор других вариантов такой аналогии см.: Basalla (1988, p. 14–25). Данная глава была в целом закончена до того, как я ознакомился с книгой Базаллы, и некоторые из освещающихся ниже моментов были развиты мной независимо от него.

2. По словам Боулдинга, индивидуальные фенотипы являются «представителями как биологических, так и социальных видов, включая экономические блага» (Boulding, 1981, p. 24), а мутациями он называет любые процессы, в ходе которых изменяются параметры системы экологического взаимодействия. Согласно такой аналогии, вид представляет собой товар, его производство соответствует рождению, а акт его потребления — смерти (p. 33).

первопроходческой работе (Nelson and Winter, 1982) попытались переписать теорию фирмы, опираясь на эволюционные модели. Они отказались от традиционных экономических концепций максимизации прибыли и равновесия, вместо этого предположив, что фирмы следуют стандартному распорядку и процедурам. Таким образом, в модели Нельсона-Винтера фирма является аналогом биологического вида. При этом ключевую роль по-прежнему играет конкуренция, но ее действие проявляется через механизмы дарвиновского отбора: фирмы, использующие более гибкие процедуры, будут процветать и расти за счет менее удачливых конкурентов. В целом, теории такого рода имеют мало отношения к собственно техническому прогрессу как к эволюционному процессу, поскольку в рамках этих моделей фирмы не производят отбор, а сами являются объектом отбора³. Прямое сравнение биологической эволюции и технического прогресса предложил де Брессон (de Bresson, 1987), указывающий на некоторые из тех моментов, что будут освещены ниже. Однако, возможно вследствие своего

3. В своей внушительной новой работе Фостер (Foster, 1987) развивает концепцию *homo creativus* как альтернативу *homo economicus*. В этой работе речь в открытую идет об эволюционной динамике, однако книга Фостера не имеет непосредственного отношения к дарвиновским механизмам естественного отбора в моделях долгосрочных исторических изменений. Другой экономист, выражающий прямой интерес к эволюционным моделям — Гуа (Guha, 1981), считающий, что экономический рост — не аналог эволюции, а ее часть. Гуа утверждает, что технические и прочие экзогенные изменения влекут за собой изменения в обществе, которое адаптируется к внешним изменениям точно так же, как биологические виды. Таким образом, общество предстает аналогом видов, ведущих борьбу за выживание. Точка зрения Гуа в чем-то сходна с идеями Раза (Ruse, 1986) о дарвиновской эпистемологии, согласно которым наука развивается потому, что естественный отбор благоприятствует интеллекту и креативности. Такой несколько эксцентричный подход не в состоянии объяснить существование длительных периодов научной и экономической стагнации, и потому не будет здесь рассматриваться.

слабого интереса к долгосрочным историческим изменениям, он в итоге приходит к выводу о существовании «обоснованных причин, не позволяющих нам подходить к экономике технических изменений, используя эволюционные рамки... После тщательного рассмотрения вопроса мы будем вынуждены отказаться от биологических аналогий» (de Bresson, 1987, p. 759).

Вопросу о том, насколько полезны аналогии между эволюцией и культурным или научным прогрессом, посвящена обширная и занимательная литература. Использование аналогий, заимствованных из других дисциплин, — почтенная традиция в экономике. Теория равновесия и сравнительная статика вдохновлялись классической ньютоновской физикой. Однако такие параллели неизбежно являются неполными и не дают исследователю четких аналитических инструментов. Кроме того, не каждый элемент в одной сфере имеет точный эквивалент в другой: например, что может служить экономическим аналогом гравитации?⁴ Преимущества и недостатки таких аналогий обсуждаются в работах Мэйнарда Смита (Maynard Smith, 1972, p. 36–43) и Раза (Ruse, 1986, p. 32–35). Те случаи, когда аналогия между А (хорошо известным явлением) и В (объектом изучения) диктует определенные варианты подхода к изучению В и определенные гипотезы, подлежащие проверке, но отнюдь не выполняющиеся по отношению к В только потому, что они выполняются по отношению к А, эти авторы называют «эвристическими аналогиями» (по выражению Раза), противопоставляя их «аналогиям-доказательствам», когда некое предположение объявляется истинным по отношению к В толь-

4. Некоторые авторы идут еще дальше и утверждают, что фундаментальная динамическая структура изменений в природе и обществе — от физических явлений и биологической эволюции до социальных изменений — подчиняется единым законам движения. См. сделанное в таком духе заявление, дополняющее нашу позицию: Laszlo (1987).

ко потому, что оно истинно по отношению к А. Биологическая эволюция и техническое развитие — процессы достаточно сходные для того, чтобы эвристическая аналогия была интересной и могла подсказывать нам новые пути изучения экономической истории техники. Однако они достаточно различаются для того, чтобы сделать неправомерным объяснение промышленной революции путем непосредственных ссылок на теорию Дарвина. Впрочем, такие различия не являются *ipso facto* запретом на использование аналогий.

Согласно избранному нами подходу, технологии — понимаемые в узком смысле слова как рецепты производства тех или иных товаров и услуг — являются аналогами биологических видов, а их изменения носят эволюционный характер. Идея или представление о том, как производить определенный товар, можно считать генотипом, в то время как конкретную технологию, применяемую фирмой для производства данного товара, можно представить себе как фенотип конкретного представителя вида. Фенотип каждого организма отчасти определяется генотипом, но свою роль играет и окружающая среда. Аналогично, разновидности данной технологии ограничиваются общей идеей, однако конкретная технология складывается под влиянием таких факторов, как гибкость и способность адаптироваться к обстоятельствам. Соответственно, изобретение — появление новой технологии, — эквивалентно видообразованию, возникновению нового биологического вида. Эта аналогия является неполной, а строить теории на основе неполных аналогий — достаточно рискованное занятие. Тем не менее это упражнение позволит нам прийти к некоторым выводам.

Наша базовая предпосылка сводится к тому, что техника имеет эпистемологическую природу. Ее нельзя назвать феноменом, каким-то образом «существующим» вне людского сознания. Подобно науке, культуре и искусству, техника по сути представляет собой *знания*, и соответственно технические изменения должны

рассматриваться как изменение суммы наших знаний. В последние годы существенное влияние приобрела новая школа эволюционной эпистемологии, объявляющая, что знания и культура развиваются под воздействием механизмов, аналогичных тем, которые являются причиной видообразования⁵. Как можно применить эволюционную теорию к системам знаний? Ключевая идея весьма проста. Утверждается, что новые идеи, подобно мутациям, возникают случайным образом (Campbell, [1960] 1987). Некоторые культурные, научные и технические идеи берутся на вооружение, потому что они тем или иным образом отвечают потребностям общества — точно так же, как некоторые мутации закрепляются в гено типе благодаря естественному отбору. В своем простейшем виде процесс отбора работает потому, что наиболее приспособленные фенотипы также быстрее всего размножаются.

В контексте технического прогресса закрепление нового признака в гено типе означает, что при данных ценах на факторы производства конкретная технология позволяет производить некий товар при наименьших издержках (приведенных к качеству). Благодаря такому процессу отбора выживают самые удачные идеи, в некоторых случаях полностью вытесняя менее удачные идеи. Конкурентная игра при этом ведется не на уровне фирмы, а на уровне самих технологий. Победа в этой игре означает, что данная технология или обычай являются, по выражению эволюционных биологов, «адаптивными»⁶. Вне рамок производственной сферы идею адаптивности трудно наделить серьезным оперативным

5. В число плодотворных работ этого направления входят статьи Campbell ([1960] 1987) и Toulmin (1987). Применительно к науке см. в первую очередь: Hull (1988a, 1988b) и Ruse (1986, ch. 2).

6. Термин «адаптивный» будет использоваться здесь в его биологическом смысле, как признак, наделяющий его носителя большей приспособленностью, то есть повышающий вероятность его выживания и размножения.

содержанием. Литература, посвященная культурным изменениям, сталкивается с неоднозначностью, заложенной в попытках определить степень «адаптивности» тех или иных обычаев. Возьмем, например, одежду. Адаптивная ценность ношения белой одежды в пустыне или меховой шубы в Арктике очевидна. Также адаптивна «провокационная» женская одежда, поскольку она стимулирует сексуальную активность (хотя точный уровень «провокационности» сам по себе определяется культурой). Однако в иных случаях вид одежды зависит от культурного окружения: так, ортодоксальные евреи покрывают голову шляпами по причинам, уходящим корнями в древность. Та легкость, с какой евреев можно отличить по их головному убору, однозначно являлась отрицательной адаптивной чертой в тех местах, где евреи подвергались дискриминации. Тем не менее этот обычай сохранился. Во многих других случаях непонятно, является ли данная черта адаптивной или нет⁷. Впрочем, при изучении технических изменений, когда изучаемыми «видами» являются сами технологии, ответить на подобный вопрос сравнительно просто. Преимущества новой технологии можно описать несколькими переменными, большинство из которых учитываются в таком экономическом понятии, как социальная экономия, представляющем собой разницу между общими социальными издержками (включая издержки, внешние по отношению к фирме, такие как загрязнение окружающей среды), связанными с производством одного и того же товара по старой и по новой технологии. Примерами четко определенных адаптив-

7. Например, сомнительно, чтобы сама по себе технологическая креативность являлась адаптивным признаком для популяций, обладающих ею и обогащающихся с ее помощью. В некоторых случаях технический прогресс сопровождается ростом населения, однако современная техника сделала войны более разрушительными и привела к появлению таких отрицательных адаптивных признаков, как использование средств контрацепции и курение.

ных признаков могут служить снижение производственных издержек, повышенная долговечность и возросшая безопасность производственного процесса. Свою роль могут играть и другие факторы. Старые технологии могут выжить вследствие их привлекательности по иным параметрам, помимо чисто экономических критериев — таким, как их эстетические свойства. И все же исходя из сравнительно ограниченного количества информации, касающейся цен на факторы производства и того, насколько высоко общество ценит тишину, чистый воздух, сохранение девственных лесов и т. д., технологии могут быть ранжированы согласно степени их адаптивности.

Повторимся: в рамках предлагаемой нами парадигмы аналогами биологических видов выступают не фирмы, не общества и не люди, а лишь сами технологии. Сначала отметим, что статичную технику можно уподобить гипотетическому миру, в котором нет эволюции. В отсутствие прогресса техническая информация будет передаваться от поколения к поколению в неизменном виде. Передача «технологической ДНК» следующему поколению будет производиться путем обучения, подмастерьев или сыновей, людьми, обладающими этой информацией. Хотя передача информации может сопровождаться возникновением случайных шумов, механизмы, устраняющие их, обычно берут верх, и любая особь, обладающая заметно отличающимися характеристиками, окажется неприспособленной и погибнет. Конкуренция между живыми существами за ресурсы аналогична конкуренции на рынке, а естественный отбор будет гарантировать стабильность. Подобные периоды застоя и в биологии, и в истории техники представляют собой скорее правило, нежели исключение.

За техническими изменениями стоит возникновение новых идей. Они могут появляться совершенно случайно, «вслепую» (неожиданно для самих игроков), или систематически, но с большим стохастическим компонентом. Новые идеи, подобно мутациям, представляют

собой отклонения от демонстрируемых характеристик и подвергаются различным испытаниям, выявляющим их работоспособность в данном окружении. Так же, как мутации, многие из них являются мертворожденными или умирают в младенчестве. Из тех немногих идей, которые достигают зрелости, некоторые начинают размножаться, то есть перенимаются другими особями. Если новая технология достаточно адаптивна, она приобретет новых последователей или просто обеспечит более быстрое размножение своих носителей, вследствие чего постепенно вытеснит старую технологию. Эта аналогия не является особенно натянутой; подобно техническому прогрессу, эволюция очень часто понимается как прирост информации (Bartley, 1987, p. 23).

Такая аналогия поможет нам провести различие между изобретениями и их распространением. В период, когда вид претерпевает изменения, мы можем в любой момент наблюдать представителей и старой, и новой популяции. Если последняя имеет более высокие шансы на выживание (например, в случае бактерии, невосприимчивой к антибиотикам), то она постепенно заменит популяцию с меньшей адаптивностью. Естественный отбор вполне может работать, изменяя не сами гены, а лишь их распространенность, вследствие чего в менделевских процессах наследования будут доминировать более адаптивные виды. Однако мы не обязательно когда-нибудь придем к стабильному состоянию с преобладанием в данном окружении одного-единственного наиболее приспособленного вида. К тому моменту, как новый вид вытеснит старый, могут произойти новые мутации, породив еще более жизнеспособные формы. Если этого не случится, эволюция прекратится; таким образом, «отбор подобен огню, пожирающему свое собственное топливо... если только мутации не будут периодически обновляться, эволюция прекратится, едва начавшись» (Lewontin, 1982, p. 151). Техническим изменениям присуща аналогичная динамика. В любой конкретный момент используются как наиболее передовые,

так и среднестатистические технологии, основанные на устаревших, но еще применяемых приемах работы. В случае одноразовой инновации конкурентный процесс при определенных обстоятельствах в конце концов приведет к устранению устаревших технологий и обеспечит единообразие производственных методов. Однако при непрерывном «рождении» новых технологий ни одна самая передовая технология никогда не захватит полного господства в отрасли.

Эволюционная модель не гарантирует выживания лишь наиболее приспособленных. Биологи-эволюционисты уже давно отвергли идею Спенсера о выживании сильнейших, считая ее либо заблуждением, либо тавтологией. Географическая изоляция порой приводит к возникновению ниш, в которых более примитивные формы существуют бок о бок с более продвинутыми видами. Нарушение такой изоляции вызывает нарушение равновесия, за которым может последовать вымирание менее приспособленного вида. Аналогичным образом возможно сосуществование различных технологий, если менее эффективные производители обладают правами собственности на некий конкретный ресурс, позволяющий им выживать и размножаться, защищая их от жесткой конкуренции с другими производителями. В тех случаях, когда условия изменяются, конкуренция за ресурсы усиливается. Ни дронты, ни примитивное кустарное производство не пережили начавшихся процессов глобализации.

Проводя аналогию между дарвиновской эволюцией и техническими изменениями, не следует заходить слишком далеко, поскольку технический прогресс в принципе имеет недарвиновскую природу⁸. Технологии —

8. Стивен Джей Гулд отмечает, что «сравнение биологической эволюции с культурными или техническими изменениями принесло намного больше вреда, чем пользы», и называет такие аналогии типичной интеллектуальной ловушкой (Gould, 1987, p. 18). С учетом послужного списка социал-дарвинизма и социобио-

это информация, передающаяся в процессе обучения, а не записанная в генах. Таким образом, она представляет собой культуру в ее традиционном понимании (Cavalli-Sforza and Feldman, 1981, p. 10). В качестве культуры наука, искусство и технологии передаются следующему поколению путем усвоения им признаков, приобретенных предыдущим поколением (то есть того, чему оно обучилось) (Boyd and Richerson, 1985). Разумеется, биологическая эволюция не допускает ламарковского наследования приобретенных признаков. В конце концов, передача технической информации от поколения к поколению производится посредством сознательного обучения и подготовки подмастерьев, наследников и студентов. Однако эта подготовка в какой-то степени определяется тем, что предыдущее поколение узнало в течение своей жизни. Более того, технологии могут изменяться в ходе горизонтальной передачи информации: в отличие от животных, принадлежащих к одному виду, фирмы и трудящиеся могут подражать друг другу и учиться друг у друга.

Передача приобретенных признаков называется «предвзятой» (biased transmission); по большому счету именно к ней сводится распространение инноваций. Эта предвзятость может носить разный характер: бывает прямая предвзятость, когда все существующие варианты подвергаются испытанию и выбирается самый подходящий; косвенная предвзятость, когда выбор делают, ориентируясь на некий удачный пример; и, наконец, предвзятость порой проявляется в выборе того варианта, который чаще всего использовался в преды-

логии подозрительное отношение к поверхностным сопоставлениям нельзя назвать беспочвенным. Однако, за немногими исключениями, аналогия между техническими изменениями и биологической эволюцией до сих пор никем не освещалась. Я полагаю, что она относится к числу тех аналогий, о которых Гулд отзывается в другой работе (Gould, 1981, p. 328) как о «полезных, но ограниченных... [отражающих] общие ограничения, но не общие причины».

душем поколения. Каждому из этих типов предвзятости можно найти аналог при распространении новых технологий⁹. В Cavalli-Sforza and Feldman (1981) показывается, что конкретный метод передачи культурной информации является решающим фактором, определяющим, насколько консервативно или прогрессивно данное общество в смысле освоения адаптивных инноваций. Настроенная связь между теми, кто обучает, и теми, кто обучается, снижает шансы на выживание разнородных технологий.

Эта аналогия является не слишком точной, поскольку эпистемология не вполне эквивалентна ДНК и не изменяется вследствие мутаций в генах и хромосомах. Строго говоря, мутации — это не что иное, как ошибки копирования, совершающиеся при передаче генетической информации от поколения к поколению. При культурных изменениях, включая технические, изменениям подвергаются живые особи. Таким образом, речь идет не об ошибках копирования в обычном смысле слова, а скорее об идеях и замыслах, чье появление не вполне случайно, хотя его механизмы по большей части нам неизвестны¹⁰. В отличие от науки и техники, биологическая эволюция не несет в себе элемента интен-

9. Подробный анализ этих моделей содержится в Boyd and Richerson (1985). Хотя эта книга посвящена «культуре», авторы определяют культуру как информацию, приобретенную путем обучения или подражания, и применение их идей к техническому прогрессу выглядит многообещающей сферой исследований.

10. Однако интересно, что некоторые выдающиеся технические идеи появились в ходе и в результате межпоколенческой передачи информации — то есть во время университетских лекций. В числе изобретений, имевших такой источник вдохновения, можно назвать многофазный электродвигатель Теслы, созданный под влиянием профессора политехнического училища в Граце; технология выплавки алюминия, которую Холл разработал после того, как услышал о возможности ее создания от профессора в колледже Оберлин; и двигатель Дизеля, идея которого сложилась у него на лекции в Мюнхенском политехническом институте (Т. Р. Hughes, 1987, p. 60).

циональности. В биологии нет сознательных игроков, аналогичных индивидам, пытающимся сделать жизнь лучше, снизить производственные издержки, научиться лечить рак или осуществить термоядерную реакцию¹¹. Окружение влияет на новые идеи посредством скрытых и нередко неосознаваемых механизмов. В силу того что культурные и технические инновации направлены на решение конкретных проблем, в среднем они будут более адаптивными, чем в случае чисто случайных инноваций (Cavalli-Sforza and Feldman, 1981, p. 66). Это соображение не обязательно представляет собой фатальный изъян в нашей аналогии. Несмотря на то что генетические мутации являются ошибками копирования, они тоже не полностью случайны. Мутации тоже отчасти определяются окружающей средой, в частности они могут вызываться такими мутагенными факторами, как рентгеновские лучи. Более того, не все гены одинаково чувствительны к мутагенным факторам, а некоторые фрагменты хромосом, известные как «горячие точки», в очень высокой степени подвержены мутациям. Наконец, мы уже знаем, что вероятность мутаций не симметрична: в некоторых направлениях мутации происходят чаще, чем в противоположных — это явление известно как «мутационное давление» (Dawkins, 1987, p. 307)¹².

Еще одно различие между техникой и биологией связано с горизонтальным обменом. В эволюционной биологии различные виды довольно редко обмениваются генами, то есть информацией. В мире живой природы гибридизация если и происходит, то только ме-

11. Как убедительно показывает Халл (Hull, 1988b, p. 468–474), такое различие ни в коем случае не обесмысливает нашу аналогию.

12. Еще сильнее подтверждают нашу аналогию недавние достижения в эволюционной биологии, из которых следует, что в природе могут наблюдаться «направленные мутации», то есть такие, в которых нуждается организм. См.: «How Blind is the Watchmaker», *The Economist*, Sept. 24, 1988, p. 114.

жду близкородственными видами. Мы делим 99% генов с другими приматами, однако скрещивание между ними и людьми невозможно. Напротив, в истории техники такой обмен происходит постоянно. В биологии эволюция одних видов воздействует на другие виды главным образом посредством своего влияния на окружающую среду, в то время как в технике изменение одних «видов» сказывается на других видах как непосредственно, путем взаимного обмена, так и косвенно, путем влияния на экономическое окружение. «Перекрестное опыление» различных технологий не вполне оценено историками техники. Исключение представляет собой Сахаль (Sahal, 1981, p. 71–74; см. также: Basalla, 1988, p. 137–138), который указывает на значение явления, называемого им «творческим симбиозом», когда происходит объединение прежде не связанных друг с другом технологий. Достижения в металлургии и в сверлильной технике сделали возможным создание паровых машин высокого давления; радикальные изменения в конструкции часов и кораблей подсказали, как делать более совершенные приборы и ветряные мельницы; топливо и печи, использовавшиеся в пивоварении и стеклодувном деле, оказались полезными в железоплавильной отрасли; секреты строителей органов нашли применение в ткачестве. Однако неясно, в какой степени это различие обесценивает нашу аналогию. Халл (Hull, 1988b, p. 451) приходит к выводу о том, что «гибридизация чаще встречается в биологической эволюции и реже встречается в социокультурной эволюции, чем подсказывают нам поверхностные представления».

Более того, в зоологии для размножения обычно требуются два родителя. Поскольку различные виды по определению не могут иметь совместное потомство, возможность неожиданных эволюционных скачков оказывается сильно ограниченной. Отдельный мутант едва ли найдет себе партнера с аналогичными свойствами и не сможет передать свою мутацию потомству. Для передачи культурной или технической информации сле-

дующим поколениям не требуется спаривания, и потому динамика изобретательства сильно отличается от динамики видообразования. Но опять же, это различие не настолько глубоко, как может показаться. Половое размножение, для которого нужны два родителя одного вида, не является обязательным правилом в мире биологии. Как указывает Халл (Hull, 1988b, p. 444), если бы механизмы отбора работали лишь при наличии двух родителей, то естественный отбор был бы невозможен на протяжении большей части эволюционной истории. Более того, половое размножение подразумевает взаимодополнительность, ограничивающую мутации. Аналогичная взаимодополнительность диктуется законами генетики. В тех случаях, когда мутации подвергается рецессивный аллель, результат мутации не проявляется в фенотипе до тех пор, пока два мутировавших аллеля не образуют гомозиготу, то есть особь с одинаковыми материнскими и отцовскими аллелями, несущими генетическую информацию. В истории техники мы видим множество примеров подобной взаимодополнительности. Многие изобретения требовали соответствующих дополнительных изобретений, без которых они были бы обречены подобно мутанту, не имеющему пары. К этому вопросу мы еще вернемся ниже.

Важное различие между биологической и технической эволюцией состоит в том, что ключевым элементом биологической эволюции обычно считается адаптация к меняющемуся окружению, в то время как технические изменения — это в первую очередь манипулирование окружающей средой (хотя некоторые живые существа, такие как бобры или муравьи, иногда, разумеется, тоже видоизменяют свою окружающую среду). В эволюционной биологии адаптация к изменениям окружающей среды гораздо чаще включает то, что экономисты назвали бы аналогом взаимозамещения факторов производства — то есть речь в гораздо большей степени идет о выборе между существующими технологиями (их взаимозамещение), нежели о создании новых, более удачных

альтернатив. Грань между взаимозаменяемостью и усовершенствованием технологий нередко является расплывчатой, так как на практике трудно понять, была ли данная технология известна и доступна, но не использовалась, или ее просто еще никто не разработал — однако данное логическое различие весьма существенно¹³. Но, как мы увидим, подобная разница между биологической эволюцией и техническим развитием не обязательно будет принципиальной. Видообразование не эквивалентно адаптации, хотя та нередко ему сопутствует (Eldredge, 1985, p. 97) — точно так же, как изобретение не равнозначно взаимозаменяемости технологий, хотя порой сопровождается ею. Вообще, первоначальная идея Дарвина о том, что эволюционные изменения главным образом вызываются необходимостью приспособляться к изменениям окружающей среды, в настоящее время уже не признается биологами. Успешно существующим видам не требуется «жесткой приспособленности» к своей среде обитания (Stanley, 1981, p. 11). Считается, что темп эволюционных изменений определяется в основном темпом мутаций и такими характеристиками популяции, как ее размер. Мутации случаются даже в не-

13. Данную аналогию ставит под сомнение и тот факт, что биологическая эволюция протекает очень медленно и является необратимой, в то время как культурные и технические изменения протекают стремительно и могут менять свое направление (Gould, 1981, p. 325). Скорость процесса представляется мне фактором, не имеющим отношения к делу, так как не существует способа, позволяющего нам привести оба процесса к одному масштабу. Что касается обратимости, то Гулд, разумеется, прав, указывая, что культурные изменения не закодированы в наших генах. Однако, с другой стороны, техническая информация *была* зафиксирована — в средневековых манускриптах Роджера Бэкона и монаха Теофила, в великих ренессансных технических трактатах Агриколы и Рамелли, в чертежах Джона Смита и в тысячах современных журналов по прикладной науке и инженерному делу. Техническое развитие можно повернуть вспять, и нам известны такие случаи; однако исторические факты свидетельствуют о том, что в целом оно необратимо, подобно биологической эволюции.

изменном окружении, и потому там может происходить видообразование (хотя, разумеется, одни условия более благоприятны для видообразования, чем другие). Поскольку с точки зрения каждого вида все остальные виды являются частью его среды обитания, подобные изменения означают, что стабильная среда обитания может быть разрушена самой эволюцией. Каждый вид должен меняться лишь потому, что меняются другие виды. Подобная модель динамики изменений не должна удивлять исследователя экономической истории технического прогресса. То, что современные биологи называют «гипотезой черной королевы» — необходимостью эволюционировать для того, чтобы не отставать от других видов (Maynard Smith, 1988, p. 183) — представляется вполне удачным описанием инновационных волн, о которых говорили Шумпетер и другие авторы. Те виды, которые перестают соответствовать окружающей среде, вымирают. Эволюция, как и технический прогресс — это творческое разрушение.

Это соображение приводит нас к самому серьезному логическому затруднению в нашей аналогии: новый вид находится в репродуктивной изоляции по сравнению с другими видами (или становится таковым с течением времени). Благодаря этому обстоятельству обычно бывает несложно провести принципиальное различие между адаптацией и видообразованием. В технике мы не можем с той же легкостью провести четкую грань, отделяющую новые «виды» (то есть технологии) от ранее существовавших, и потому слова об «усовершенствовании старой технологии» и о «создании новой технологии» неизбежно носят произвольный характер. Тем не менее, как мы попробуем доказать, проведение такого различия, несмотря на наличие «серых зон», не только возможно, но и необходимо для понимания технического прогресса. Пожалуй, некоторым утешением может служить то, что биологи-эволюционисты тоже не в состоянии сформулировать определение вида, которое бы всех устраивало (Bush, 1982; Maynard Smith, 1988, p. 127).

Таким образом, наша аналогия несовершенна, но не следует недооценивать сходства между обоими явлениями. В конечном счете, как биологическое размножение, так и экономическая активность представляют собой естественные динамические процессы, сдерживаемые ограниченностью ресурсов. Вспомним, что сам Дарвин пришел к идее естественного отбора, прочитав эссе Мальтуса «О народонаселении», в котором фактически постулируется дефицит ресурсов в динамическом контексте¹⁴. Демографическое давление задает главный *modus operandi* естественного отбора (Ruse, 1986, p. 24), хотя существуют и другие причины, вызывающие различие уровней выживания и размножения. Аналогичным образом, технические изменения будут затруднены в таком экономическом окружении, в котором фирмы не могут свободно входить в те или иные отрасли или выходить из них, или в таком, в котором традиции и институты не позволяют фирмам изменять долю, занимаемую ими на рынке. Однако и в этом случае конкуренция между производителями — не единственная причина для выбора применяемых технологий. Даже в той отрасли, где нет конкуренции между технологиями, технология может исчезнуть, если она используется для производства того, что больше не нужно потребителям. Теория естественного отбора, разумеется, тесно связана с идеей Адама Смита о «невидимой руке», которая посредством конкуренции между индивидами, стремящимися к получению прибыли, порождает высший порядок¹⁵. Невзирая на колоссальную разницу во временных масштабах, и в истории техники, и в био-

14. Вдохновляющее воздействие экономики на науку само по себе служит классическим примером горизонтального обмена, который не может происходить в биологии, где вся информация передается генетически.

15. На это указывает Гулд (Gould, 1980b, p. 68), который также едко отмечает: «Пусть Дарвин украл идею естественного отбора у экономистов, но это не делает ее неверной».

логической эволюции прослеживаются заметные долгосрочные тенденции. В их число входит тенденция к возрастанию эффективности и сложности, хотя подобный прогресс более заметен в технической истории, чем в эволюции. И там и там процесс отбора действует крайне расточительно. Подавляющее большинство и новых технических идей, и мутаций оказываются бесполезными — либо в принципе, либо в данном окружении. Однако и в отношении технического прогресса, вероятно, также сохраняет свою силу замечание Халла (Hull, 1988a), указывающего на то, что в случаях научного развития и биологической эволюции невозможно повысить эффективность процесса отбора, не нейтрализуя его последствий. В конце концов, технические изменения — это путь в неизвестное, а не в неясное. Риски не могут быть окончательно диверсифицированы.

Тем не менее процесс отбора нередко оставляет ощущение странной незавершенности. Некоторые явно «неприспособленные» виды упорно цепляются за жизнь. В других случаях, как указывают биологи, случайный генетический дрейф может привести к неопределенным последствиям. Слегка испорченные гены посредством генетического дрейфа могут становиться и становятся в популяции гомозиготными, несмотря на давление естественного отбора (Lewontin, 1982, p. 159). В популяционной генетике уже давно признано, что процессы отбора, отвечающие за адаптацию частот гена, не обеспечивают максимальную приспособленность. Хотя историки экономики в течение нескольких последних десятилетий доблестно пытались показать, что некоторые явно неэффективные технологии, выжившие, несмотря на появление новых, более передовых технологий, в реальности были замечательно приспособлены к своему окружению, эти попытки не подтверждают бескомпромиссную функционалистскую точку зрения, согласно которой долгосрочное выживание неэффективных технологий невозможно. Очевидную субоптимальность эволюционных процессов в биологии и в технике ил-

люстрирует тонкая аналогия между большим пальцем панды и раскладкой «QWERTY» на клавиатуре, являющимися откровенно неэффективным результатом естественного отбора (Gould, 1987). Не все проблемы решены и не все возможные решения найдены. Как отмечает Кэмпбелл (Campbell, 1987, p. 105), «Знания, с которыми мы сталкиваемся, были получены вопреки грандиозным препятствиям».

Эту аналогию можно продолжить. И технический прогресс, и биологическая эволюция представляют собой последовательные процессы, раскладывающиеся на поколения — иногда перекрывающиеся, иногда нет. Как выразился Халл (Hull, 1988b, p. 441), «Всякий раз, когда старик показывает мальчику, как сделать лук и стрелы, речь идет о смене концептуальных поколений». В результате и в биологической эволюции, и в техническом развитии число исходов оказывается ограниченным, поскольку на каждом этапе происходит отбор. Вариации неудачных экспериментов, проводившихся в предыдущем поколении, обычно не допускаются до испытаний. Так, согласно Артуру (Arthur, 1989), после того как паровые автомобили вышли из употребления, все работы по их совершенствованию были прекращены, хотя вполне возможно, что дальнейшее обучение в процессе работы могло бы привести к созданию парового автомобиля, своими параметрами превосходящего автомобиль с бензиновым двигателем. Именно это явление — накопление результатов случайных вариантов и последующее изучение новых вариантов на путях, прошедших предыдущие испытания — не допускает бесконечного экспериментирования и, как выразился Кэмпбелл, делает невозможное неизбежным. Объектом отбора является то, что существует, а не то, что могло бы возникнуть (Nelson and Winter, 1982, p. 142). Иными словами, эволюция обнаруживает зависимость от пройденного пути, которая свойственна и техническим изменениям, как недавно подчеркивали Дэвид (David, 1987, 1988) и Артур (Arthur, 1989). Как отмечал Шумпетер

(Schumpeter, 1934, p. 6), унаследованная из прошлого сеть экономических и социальных связей удерживает нас «стальными оковами на нашем пути». Биологи-эволюционисты в последнее время начали признавать, что в случае, когда особи, подвергающиеся действию отбора, являются компонентами более крупных систем, прошлое накладывает структурные ограничения на процесс отбора. Эволюция неспособна изменить сразу слишком многое, и результаты ее работы нередко носят причудливый характер. В качестве примера Халл (Hull, 1988b, p. 449) указывает на надгортанник у человека.

Вообще говоря, в мире с зависимостью от пройденного пути последствия никогда не будут неизбежными, и мы, к неудовольствию историков-ортодоксов, вполне можем предаться плодотворным размышлениям о мирах, которых никогда не было, но которые могли бы быть¹⁶. Базалла (Basalla, 1988, p. 190) называет это свойство «ветвистым характером» технического развития и утверждает: «вопреки распространенному убеждению в том, что мир не мог бы быть иным, чем он есть... имелись возможности для других вариантов выбора». Если бы все было по-другому, мы могли бы ездить на паровых автомобилях, строить фабрики с приводом от во-

16. Интересным свойством зависимости от пройденного пути является инерция, или сопротивление изменениям, которое наблюдается как в биологической эволюции, так и в ходе технического прогресса. Майр (Mayr, 1988, p. 424) объясняет, что изменчивость ограничена, поскольку «гены объединены в сбалансированные комплексы, противящиеся изменениям». Успешное видообразование требует разрыва прежних связей и их замены новыми. Сцепление генов напоминает явление, известное как техническая взаимозависимость (Frankel, 1955; David, 1975, p. 245–246). Попытки установить современное оборудование на устаревшем заводе или поставить современный локомотив на древние рельсы обычно обречены на неудачу по причинам технической связности. Но ограничения, налагаемые такой связностью на технические системы, не являются очень жесткими, поскольку технические системы имеют намного меньшую сложность, чем биологические системы.

дьяных колес, пересекать Атлантику на цеппелинах или питаться преимущественно картошкой. Тем не менее история техники, освещавшаяся в первой части, демонстрирует, что в большинстве случаев та или иная система становилась преобладающей потому, что была «адаптивна», то есть лучше работала. Естественный отбор порой может приводить к аномалиям или уступать место прихотям либо суевериям. Не все, что было, было хорошо. Но по большому счету мы видим порядок и логику в развитии техники, и при необходимости оковы прошлого могут быть сброшены. Именно по этой причине зависимость от пройденного пути ощущается в биологической эволюции намного жестче, чем в технической сфере. Вполне можно допустить, что люди снова начнут пользоваться паровыми автомобилями или ветряными мельницами, если сложатся соответствующие обстоятельства; кроме того, экономика иногда делает неожиданные скачки, переключаясь с одной технологии на другую — в тех случаях, когда становятся очевидными преимущества совершенно новой технологии.

Живые существа принадлежат к биологическому виду в том же смысле, в каком различные производители «принадлежат» к данной технологии. Это накладывает ограничения на возможности, доступные индивидам, и привносит некоторую произвольность в определение тех или иных параметров. Например, долгоиграющие пластинки записаны на скорости 33 оборота в минуту, а ручная передача переключается против часовой стрелки. В большинстве стран принято правостороннее движение. Эти стандарты *per se* нельзя назвать оптимальными, но раз они существуют, их следует соблюдать, и это обстоятельство сужает круг доступных технологий. Не бывает «оптимальных» языков, однако дети учатся говорить на языке того общества, в котором им довелось родиться. Слова сами по себе бессмысленны, но будучи частью системы, они становятся общим адаптивным признаком, обычно закрепляющимся благода-

ря естественному отбору. Впрочем, не всякое конкретное поведение имеет определенный адаптивный смысл, так же, как не всякие технические условности обязательно являются эффективными (David, 1985).

Более того, и в биологической эволюции, и в сфере техники существует разница между курсом *ex post* и курсом *ex ante*. Долгосрочные изменения заключают в себе серьезный элемент случайности: как свидетельствуют факты, существенную роль играют интуиция, оппортунизм и «эффект царя Саула» (речь идет о ситуациях, когда поиск решения конкретной проблемы непреднамеренно приводит к совершенно новому набору возможностей)¹⁷. Значение этого эффекта в биологической эволюции до сих пор находится под вопросом. Гулд (Gould, 1982a, p. 384) указывает на то, что подобные эффекты будут носить неадаптивный (или преадаптивный) характер, и подчеркивает их ключевую роль в эволюционном процессе. Например, увеличение человеческого мозга было вызвано рядом сложных факторов, связанных с отбором. Но после того как мозг достиг определенных размеров, он оказался в состоянии выполнять задачи, не имеющие никакого отношения к причинам, обусловившим его рост. Подобные ситуации часто встречаются в истории техники; многие крупные изобретения были преадаптивными в том смысле, что предназначались для решения мелких местных проблем, но постепенно переросли в нечто совершенно иное.

Как биологические виды, так и применяемые производственные технологии существуют в течение огра-

17. Напомним, что юный Саул отправился на поиски ослиц, а нашел царский трон (1-я Книга Царств, гл. 9–10). Классическими примерами действия этого эффекта в технике являются открытие Перкиномом анилиновой краски при попытках синтезировать хинин и случайное изобретение Эдисоном фонографа в ходе работ по совершенствованию устройства, записывавшего телеграфные сигналы на бумажные диски.

ниченного времени. Многие биологи-эволюционисты считают, что виды рождаются и умирают подобно индивидам. Точно так же родились и умерли нижнебойные водяные колеса, водяные часы и паровые машины Ньюкомена¹⁸. Аналогичным образом, одни виды возникают из других видов. В технике это происходит в ходе изобретательского процесса; в эволюции — главным образом посредством процесса, известного как аллопатрическое, или географическое видообразование, под которым имеется в виду возникновение новых видов в результате географической изоляции, препятствующей внутривидовому скрещиванию (Mayr, 1970). Виды прекращают существование либо в результате вымирания, нередко вызванного каким-либо внешним экологическим потрясением, либо в результате псевдовымирания, когда они трансформируются в нечто иное. Оба явления имеют свои аналоги в истории техники. Прежде всего, и техническое развитие, и эволюция содержат элементы, фактически исключающие возможность прогнозов. Историки могут объяснить прежние технические тенденции, но они так же не в силах предсказать, к чему они приведут, как биологи-эволюционисты неспособны предсказать, какие виды появятся в будущем. Базалла (Basalla, 1988, p. 210), в некоторых отношениях идущий в своем анализе теми же путями, что и я, сетует на то, что «у нас, выдвигающих теории технической

18. Раз (Ruse, 1986, p. 52) утверждает, что эта аналогия некорректна в том, что касается научного прогресса, поскольку научные теории обычно не вымирают. Однако научные теории сменяют друг друга. Галеновскую медицину и флогистонную теорию вполне можно считать «исчезнувшими без следа». Де Брессон (De Bresson, 1987) указывает, что, в отличие от биологических видов, ни одно изобретение не было утрачено и что технические знания имеют кумулятивную природу. Но технологии нередко перестают использоваться или сохраняются лишь в музеях и отдельных анклавах, таких, как общины амишей. Мы вправе считать прялку и римскую лошадиную упряжь вымершими точно так же, как вымерли динозавры.

эволюции, есть свои Дарвины, но нет своих Менделей». Но при этом упускается принципиальный момент нашей аналогии. Изучение генетики — это изучение причин генетических вариаций в популяции. Тем не менее генетика мало что привнесла в наши представления о видообразовании и ничего не дала нам для понимания процессов вымирания (Lewontin, 1974, p. 12). Экономический анализ, постулирующий, что технологии выбираются фирмами, стремящимися к максимизации прибыли и нанимающими инженеров, в сознании которых содержатся генотипы различных технологий, играет роль, аналогичную роли генетики. Он объясняет, каким образом спрос и предложение порождают разнообразие технологий, и указывает на сдерживающее влияние окружающей среды и конкуренции, ограничивающее степень разнообразия. Так же, как генетика сама по себе не объясняет видообразования, экономическому анализу проблематично объяснить макроизобретения. Подобно эволюции, технический прогресс не судьба и не случайность. Однако сила дарвиновской логики — естественного отбора, накладывающегося на случайные вариации — состоит в том, что нам не приходится выбирать между тем и другим.

Свойственны ли эволюционному процессу тенденции либо направление — вопрос чрезвычайно противоречивый (Hull, 1988c). Ласло (Laszlo, 1987, p. 83) утверждает, что биологическая эволюция ведет ко всё более и более высоким уровням организации, создавая всё более и более сложные, но при этом всё более специализированные и потому более уязвимые виды. В своих взглядах он следует за некоторыми из самых выдающихся ученых, создавших современную эволюционную биологию — от самого Чарльза Дарвина до Рональда Фишера. Однако большинство современных биологов-эволюционистов с этим не согласны. По сути, ведутся даже споры о том, можно ли назвать эволюцию прогрессом. Похоже, что биологическая наука в ее нынешнем состоянии склоняется к позиции, согласно которой фак-

ты в лучшем случае подтверждают местную и обратимую направленность эволюции, но этот вопрос остается предметом дискуссий. Биологическая эволюция не телеологична: она не ведет ни к какой конкретной цели, если только не считать этой целью человечество. Симпсон (Simpson, 1967, p. 239–262), разбирая этот вопрос, приходит к выводу о том, что ответ на вопрос, прогрессивна ли эволюция, зависит от выбора соответствующих критериев¹⁹. Эту тему подробно освещает Айала (Ayala, 1988), отвергающий в качестве общих критериев прогресса такие факторы, как вероятность выживания или количество генетической информации. В зависимости от выбора критерия мы можем считать *homo sapiens* как самым прогрессивным видом (например, если исходить из такого критерия, как умение собирать и обрабатывать информацию о своей окружающей среде), так и самым примитивным (если избрать такой критерий, как способность синтезировать биологический материал из неорганического вещества). Разумеется, нет никаких причин для того, чтобы предпочесть один критерий другому.

Аналогичным образом, нет смысла дискутировать о том, был ли человечеством за сотни лет достигнут какой-либо прогресс, если мы не договорились о том, что считать его критериями. Экономисты склонны исходить из такого критерия, как способность производственного сектора к удовлетворению людских потребностей по отношению к имеющимся ресурсам. В этом смысле технический прогресс достоин своего имени. Он привел к такому несомненному «достижению», как

19. Симпсон (Simpson, 1967, p. 251) полагает, что историю человечества можно назвать прогрессом вследствие нашей практически исключительной возможности манипулировать своим окружением: «... это специальный *человеческий* прогресс, удивляющий нас точно так же, как сам факт существования человека — животного нового типа, открывшего для себя новые возможности, — и это — прогресс, вне зависимости от выбранной нами точки зрения» (курсив оригинала).

освобождение значительной части человечества от существования на грани прожиточного минимума. Но выбирая этот критерий, мы сталкиваемся с дилеммой: повышение уровня жизни наблюдается в лучшем случае в течение последних полутора веков. Означает ли это, что происходившее до 1850 г. не заслуживает названия «прогресс»? В 1930-х гг. выдающийся археолог В. Гордон Чайлд (Childe, [1936], 1965, p. 7) писал, что «прогресс в понимании историка может быть эквивалентом эволюции, о которой говорит зоолог». Под этим он имел в виду, что экономический прогресс может быть назван успешным в том ограниченном смысле, что он позволяет тем или иным видам плодиться и размножаться. Использование этого критерия позволит устранить данное затруднение при оценке исторических последствий технического прогресса. Технические изменения могут приводить либо к росту численности населения, либо к повышению экономического благосостояния. В течение большей части истории технический прогресс сопровождался в основном ростом населения, как отмечали экономисты-классики во главе с Мальтусом. По чисто биологическому критерию, предложенному Чайлдом, — численности вида — технический прогресс, несомненно, привел к успеху. С этой точки зрения история техники как возможностей, созданных людьми и отобранных неумолимыми экономическими механизмами, которые вынуждают общество отдавать предпочтение тому, чего больше и что дешевле, может быть избавлена от обвинений в «прогрессизме». Даже если тот показатель, который мы сегодня определяем как уровень жизни, до середины XIX в. сколько-нибудь сильно не увеличивался, рост размеров семьи и сокращение младенческой смертности, достигнутые благодаря совершенствованию производственных технологий, сами по себе достойны называться прогрессом. Очевидно, что историки сегодня отвергают грубые представления о прогрессе, согласно которым история — это поэтапное движение к некоему утопическому изобилию. Од-

нако есть опасность зайти слишком далеко и отрицать какое-либо влияние механизмов естественного отбора на направление экономической истории техники. Направление не равнозначно цели, а выявление тенденции — еще не телеология. Совершенно отрицать идею прогресса в ее более узком смысле означает отрицать сам факт экономического роста, который мы пытаемся объяснить в нашей книге.

Таким образом, если мы примем, что у нас есть основания для изучения техники с эволюционной точки зрения, то может показаться, что градуалистская школа в экономической истории, включая тех, кто откровенно отрицает всякую пользу концепции промышленной революции, сумеет найти какие-либо косвенные подтверждения своей позиции путем сравнений с эволюционной биологией. Согласно синтетической неodarвиновской теории, до недавнего времени являвшейся бесспорной парадигмой у биологов-эволюционистов, эволюция происходила медленно, непрерывно и постепенно. Виды превращались друг в друга бесконечно малыми шагами, каждый из которых был слишком незначительным для того, чтобы его заметить. Однако благодаря естественному отбору процесс, который в противном случае был бы стационарным, двигался по пути адаптивных генетических изменений. Очевидно, градуалистский подход к истории техники, включая и такую интерпретацию промышленной революции, которая отрицает ее революционный характер, был бы полностью совместим с подобным представлением об историческом процессе. Каждое изменение производственных методов представляло собой мелкое усовершенствование прежних технологий, и технический прогресс в конечном счете осуществлялся именно путем накопления тысяч таких мелких изменений. Этот крайний градуализм, ассоциирующийся с работами социолога С. К. Гилфиллана (Gilfillan, 1935), в свое время был чрезвычайно необходимым противовесом против характерных для начала XX в. наивных историй

о «великих людях» как творцах технического прогресса и с тех пор непрерывно набирал популярность.

Многие историки экономики верят в эволюционную модель изменений, понимая под «эволюционностью» постепенность. Они считают, что технические изменения сводятся к сумме небольших постепенных шагов, к «непрерывному накоплению бесчисленных мелких усовершенствований и модификаций, перемежаемых весьма редкими крупными инновациями» (Rosenberg, 1982, p. 63; см. также: Sahal, 1981, p. 37; и Basalla, 1988, p. 26–63). Однако они не до конца понимают, что биологи отнюдь не придерживаются единодушия в отношении постепенной природы самой биологической эволюции. В своей классической, но противоречивой работе генетик Ричард Голдшмидт (Goldschmidt, 1940) предложил делать различие между микро- и макромутациями. Первые отвечают за изменения в рамках вида, являясь более-менее непрерывными и накапливающимися. Благодаря последним происходят крупные скачки в биологической эволюции, приводящие к возникновению новых видов. Голдшмидт считал, что эволюция иногда движется рывками посредством этих макромутаций. Он утверждал — возможно, чересчур уверенно — что видообразование происходит посредством макромутаций, но никак не путем непрерывного накопления микромутаций. После возникновения нового вида его эволюция следует стандартному адаптивному процессу кумулятивных микромутаций. Голдшмидт оставался одиноким и безжалостным критиком стандартной эволюционной теории²⁰. Эволюционная биология в ее традиционном неodarвинистском варианте не признает голдшмидтовского сальтационизма.

Впрочем, в последнее время современная синтетическая теория эволюции подпала под огонь с неожиданного направления. Некоторые видные палеонтологи

20. См.: Gould (1980a, p. 124). Особенно презрительный и ошибочный анализ взглядов Голдшмидта см.: Dawkins (1986, p. 223–252).

и палеобиологи, и в первую очередь Стивен Джей Гулд и Найлс Эддридж, выдвинули идею о том, что представление о непрерывности и постепенных изменениях чрезмерно, если не вовсе ошибочно. Согласно их заявлениям, ископаемая летопись свидетельствует не о градуализме, а о существовании продолжительных периодов застоя, за которыми следуют периоды коротких, лихорадочных эволюционных изменений. Эти периоды застоя известны как «пунктирное равновесие». Сальтационистские взгляды Голдшмидта стали серьезным источником вдохновения для этих исследователей, полагающих, что эволюционные изменения происходят короткими и резкими скачками.

Вероятно, не случайно то, что вызов синтетической градуалистской теории был брошен палеонтологами, изучающими окаменелости. Источник их скептицизма — отсутствие свидетельств об изменениях на протяжении длительных периодов времени, подтверждающее идею о застое, и отсутствие свидетельств о существовании промежуточных форм между различными видами, требуемых градуализмом (Eldredge, 1985). Палеонтологи имеют такое же отношение к изучению эволюции, какое историки имеют к изучению техники. Они изучают факты из прошлого, а не абстрактные модели или современные экспериментальные данные, и это позволяет им видеть весь процесс в уникальной, долгосрочной перспективе. Новые приверженцы пунктирного равновесия вслед за Голдшмидтом говорят о существовании двух типов видообразования: первый — непрерывный, кумулятивный и адаптивный, а второй — возникновение новых видов путем отдельных, нередко неадаптивных изменений. Считается, что эти макромутации представляют собой результат хромосомных изменений, происходящих на ранних этапах онтогенеза и порождающих «каскадный эффект» в ходе развития эмбриона (Gould, 1980a, p. 127).

Нечто аналогичное свойственно и техническим изменениям. В истории техники наблюдаются длительные

периоды застоя, так же, как и крупные уникальные изменения, аналогичные макромутациям. Адаптируя терминологию Голдшмидта к истории техники, можно говорить о важных изобретениях, являющихся причиной уникальных изменений, как о «макроизобретениях». Голдшмидт называет макромутации «многообещающими уродствами», и эта выразительная метафора поразительно удачно подходит и к новым изобретениям. Подобные макроизобретения составляют незначительное меньшинство всех когда-либо сделанных изобретений. Тем не менее важно не их число. Изобретения не подчиняются законам арифметики, и значение макроизобретений было намного более существенным, чем можно судить, исходя из их малочисленности. Пусть их было немного и они делались редко, но они все равно представляют собой тот материал, из которого делаются новые «виды», то есть технологии.

Макроизобретение — это изобретение, не имеющее ни сколько-нибудь ясной родословной, ни заметной преемственности с прежними технологиями. Как не без преувеличения утверждает Морисон (Morison, 1966, p. 8–9), исследование «почти каждого» нового изобретения свидетельствует о том, что задолго до того, как изобретатель доводил до конца свой труд, почти то же самое «неосознанно или случайно» делали многие другие²¹. Не меньшей ошибкой было бы и заявление о непрерывности любых изменений, исходящее из того, что многие макроизобретения все же опирались на работы предыдущих изобретателей (Basalla, 1988, p. 26–63)²².

21. Это обобщение основывается всего на двух наблюдениях: о том, что бессемеровский процесс — случайный побочный продукт выплавки железа в пудлинговых печах и о том, что европейские матери обычно грели молоко до того, как Пастер открыл процесс стерилизации. Мы можем найти и другие примеры, однако в целом данное обобщение, несомненно, является ошибочным.

22. Никто не станет отрицать отсутствия преемственности в том случае, когда Мартин Лютер прибил свои «25 тезисов» к дверям

Предшественников следует оценивать с точки зрения их успеха и их влияния на само макроизобретение.

Для того чтобы макроизобретение стало успешным, оно должно обладать способностями к конкуренции и к выживанию. Требование жизнеспособности заключается, во-первых, в том, чтобы новая идея была осуществима технически, то есть чтобы современники имели возможность воспроизводить ее и использовать на практике²³. Во-вторых, новая идея должна быть осуществима экономически, то есть быть не менее эффективной, чем существующие технологии. В-третьих — и здесь мы уже не находим прямых аналогий с эволюционной биологией — новое изобретение должно появиться в социально благоприятном окружении. Как мы уже видели, внедрение технически и экономически осуществимых изобретений иногда пресекалось или тормозилось реакционными властями либо встревоженными конкурентами.

После того как макроизобретение появляется на свет и на его основе возникают «новые виды», оно создает благоприятную почву для дальнейших адаптивных макроизобретений. Само макроизобретение не обязательно должно сразу же обладать важным экономическим

виттенбергской церкви, несмотря на то что ему предшествовали Уиклиф и Ян Гус. Также никто не станет спорить с тем, что Жозеф де Монгольфье совершил прорыв, построив свой аэростат, хотя за сто лет до него иезуитский священник Лана Терзи выступил с идеей летающей лодки, оснащенной двумя шарами из тонкой меди, из которых следовало выкачать воздух. Кроме того, любопытным примером являются разработки Бо де Роша, опередившего Отто с идеей четырехтактного двигателя при отсутствии между ними какой-либо преемственности. Сам Базалла (Basalla, 1988, p. 95) признает, что аппарат Папена, предшествовавший паровой машине Ньюкомена, не содержал в себе почти ничего из того, что можно было бы использовать в конструкции пароатмосферной машины.

23. Так, всевозможные радикальные технические идеи Леонардо да Винчи, многие из которых были потенциальными макроизобретениями, не нашли применения, потому что материалы и навыки того времени не позволяли воплотить их в жизнь.

значением. Оно представляет собой новый концептуальный прорыв и в этом качестве дает маргинальные плоды в виде последующих микроизобретений²⁴. Новую технику приходится отлаживать и подстраивать под местные условия. Далее следуют дополнительные усовершенствования, источником которых становится процесс обучения. В некоторых случаях дальнейшие усовершенствования бывают настолько важны, что мы можем говорить о нескольких отдельных этапах макроизобретения. Подобные макроизобретения начинаются с оригинальной идеи, которой приходится ждать принципиального пересмотра, чтобы стать работоспособной, вследствие чего некоторые из последующих усовершенствований можно рассматривать как часть самого макроизобретения. Ньюкомену был нужен свой Уатт, Бушону — Жаккар, Картрайту — Робертс, Пачинотти — Грамм, Ленуару — Отто. В этих случаях говорить об отсутствии непрерывности становится трудно, однако сам принцип уникальности не будет нарушен до тех пор, пока число принципиальных ревизий остается небольшим. Уже после принципиальной ревизии начинается совершенствование макроизобретения посредством микроизобретений. Довольно странно утверждать, как это делает Сахаль (Sahal, 1981, p. 37), что крупные изобретения становятся возможными благодаря многочисленным мелким изобретениям. Те и другие взаимно дополняют друг друга. Без микроизобретений большинство макроизобретений не было бы внедрено и их экономический потенциал не был бы реализован. Однако без макроизобретений нам просто нечего было бы совершенствовать.

В начале этой книги мы утверждали, что в отсутствие изобретений инновационный процесс постепенно бы остановился. Симметричным образом, в отсут-

24. Как указывает Ашер (Usher, 1920, p. 274), не следует удивляться тому, что «вторичное» изобретение приносит больше прибыли по сравнению с «фундаментальным».

ствие макроизобретений микроизобретения постепенно давали бы все меньшую и меньшую отдачу, техника все сильнее скатывалась бы в «застой», подобный тому, который отмечается Гулдом и его коллегами в ископаемой летописи, и выходом из этого застоя могло бы стать новое крупное изобретение. Без макроизобретений промышленной революции мы, вероятно, жили бы в мире дилижансов и парусников, доведенных до пределов совершенства. Именно предсказание продолжительных периодов застоя и стагнации, сменяемых периодами стремительных и интенсивных изменений, делает теорию эволюционных изменений Гулда-Элдриджа такой привлекательной парадигмой для технической истории. Как несколько грубовато выразился Шпенглер (Spengler, 1932, p. 37), «всемирная история движется от катастрофы к катастрофе, вне зависимости от того, можем ли мы это осознать и доказать»²⁵. Технический прогресс не был ни непрерывным, ни постоянным. Подлинно креативные общества встречаются редко, и их вспышки креативности обычно продолжаются недолго.

Согласно традиционным неodarвинистским представлениям об эволюции, естественный отбор действует на уровне отдельных организмов. В сфере техники эквивалентом такой точки зрения является идея Нельсона-Винтера о том, что экономический отбор проявляется в основном на уровне фирмы. Напротив, Гулд и Элдридж подходят к эволюции с иерархических позиций; они не отрицают, что эволюция работает на уровне индивида, а просто пытаются показать, что отбор наблюдается и на более высоких уровнях — таких, как уровень вида. Идея видового отбора вызвала неоднозначную реакцию у биологов-эволюционистов, и ее эмпирическое значение по-прежнему подвергается сомнению (Maynard Smith, 1988, p. 138–142). Однако в истории техни-

25. Интересно отметить, что Шпенглер ссылаясь на голландского биолога Хуго Де Фриза, убежденного сальтациониста, находя в его работах аналог своей исторической теории.

ки идея иерархического отбора выглядит весьма поучительной. По аналогии с миром природы можно сказать, что естественный отбор действует как на уровне используемых технологий (аналогичных видам или популяциям), так и на уровне фирмы (аналогичной отдельному организму) (Gould, 1982b).

В настоящее время эволюционные взгляды Голдшмидта оцениваются неоднозначно — в частности, из-за того, что его основная работа представляет собой тяжелую для восприятия и противоречивую книгу. Майр (Maug, 1988, p. 465) признает, что «многообещающие уродцы возможны по крайней мере в теории», но напоминает, что современные авторы практически единодушно указывают на отсутствие свидетельств о таких скачках, о которых говорят Голдшмидт и его последователи (Maug, 1988, p. 414). Тем не менее видоизмененная версия идеи Голдшмидта о макромутациях сохранилась в современной эволюционной теории. Ясно, что даже и в отсутствие «резких мутаций» голдшмидтовское определение макромутаций, которые Гулд (Gould, 1982c) интерпретирует как мелкие мутации на ранних стадиях онтогенеза, оказывающих огромное влияние на фенотип, не противоречит дарвиновским представлениям об эволюции и наблюдаемым фактам (Maug, 1988, p. 413; Maynard Smith, 1988, p. 153). Сама собой напрашивается параллель с техническими изменениями: многие крупные технологические прорывы были достигнуты благодаря мелким концептуальным изменениям или простым идеям, которые все же привели к коренной ревизии производственных методов.

Градуализм неизбежен тогда, когда речь идет о популяционных, а не о фенотипических изменениях. Иными словами, когда возникает новый вид с новыми признаками, он не сразу становится преобладающим. «Многообещающие уродцы» должны получить распространение путем скрещивания с индивидами, обладающими нормальным фенотипом, или благодаря своим повышенным способностям к выживанию. Изме-

нение частоты генов в популяции посредством механизмов отбора не может происходить быстро, по аналогии с задержками при распространении новых технологий (хотя здесь сравнение является несколько натянутым). Современная критика теории Голдшмидта наносит ей особенно большой урон не тогда, когда отрицает существование макромутаций, а в тех случаях, когда не признает той исключительной роли, которую он отводит макромутациям при создании новых видов. Вполне возможно, что новые виды в конечном счете возникают благодаря длительному накоплению микромутаций. Ни один биолог-эволюционист сегодня не согласится с тем, что скачки — единственный (или хотя бы основной) путь появления новых видов. Аналогично, не для *всяких* новых технологий требуются макроизобретения.

Технологии могут подвергаться как микро-, так и макромутациям. Иерархия изменений означает, что движущей силой технического прогресса является как усовершенствование существующих технологий, так и возникновение новых технологий. Насколько полезно такое различие — пусть каждый решает сам за себя. Как мы отмечали выше, грань между старой и новой технологиями весьма произвольна, хотя мне кажется, что число действительно неоднозначных случаев невелико. Не всегда существует прямая корреляция между новизной идеи и ее экономическим значением. Воздухоплавание, несомненно, являлось одной из самых радикальных новых идей в истории, однако его непосредственное влияние на экономическое благосостояние было ничтожным. С другой стороны, горячее дутье Нейлсона и самодействующая мюль-машина Ричарда Робертса, при всем их колоссальном экономическом значении, должны рассматриваться как усовершенствование существовавших идей, то есть как микроизобретения.

Таким образом, новые технологии могут эволюционировать двумя способами. Первый из них — это неожиданное макроизобретение, за которым следует ряд

микроизобретений, посредством модификаций и усовершенствований делающих его функциональным, но не изменяющих его концепцию. Второй — последовательность микроизобретений, в итоге приводящих к возникновению технологии, достаточно отличающейся от первоначальной для того, чтобы ее можно было считать новой технологией, а не усовершенствованной версией предыдущей. Было бы неверно утверждать, подобно Перссону (Persson, 1988), что технический прогресс в эпоху до начала нового времени сводился исключительно к непрерывным последовательностям микроизобретений. Великие изобретения позднего Средневековья — ветряная мельница, очки, механические часы, книгопечатание, чугунное литье — являются классическими примерами новых технологий, возникших благодаря макроизобретениям, так же, как и многие крупные изобретения, сделанные во время первой и второй промышленной революции. Пять примеров макроизобретений конца XVIII в., разбираемых в Мокур (1991) — это газовое освещение, среднебойное водяное колесо, Жаккардов станок, хлорное отбеливание и воздухоплавание. Вообще говоря, из истории нам известны примеры новых технологий, возникших посредством «дрейфа». В кораблестроении, горном деле, строительстве и особенно в сельском хозяйстве рост производительности обеспечивался путем постепенно накапливавшихся, едва ощутимых усовершенствований. Архиградуалист Гилфиллан прослеживает этот процесс на примере кораблестроения, почти не знавшего макроизобретений. Корабль XVIII в. существенно отличался от кораблей начала XV в., но за немногими исключениями эти отличия являлись результатом накопления микроизобретений. В сельском хозяйстве постепенность была еще более заметной. Прошли столетия, прежде чем тяжелый плуг получил всеобщее признание, а для распространения трехпольной системы в Европе потребовалось почти тысячелетие. Новые методы селекции, орудия и виды севооборота, которые следует считать новыми

технологиями, после 1500 г. обеспечили рост производительности, но эта тенденция была настолько слабо выражена, что некоторые историки ее даже не заметили. Эти достижения начали приносить плоды лишь спустя века; в сельском хозяйстве мы почти не найдем прорывных изобретений, подобных тем, что были сделаны Гутенбергом или братьями Монгольфье²⁶.

Различие между микро- и макроизобретениями представляется важным потому, что они явно подчиняются действию разных законов. Микроизобретения обычно являются результатом сознательного стремления к усовершенствованиям, и если не предсказуемы, то хотя бы понятны с точки зрения действия экономических сил. Они по крайней мере в некоторой степени зависят от законов спроса и предложения, а также от интенсивности работ и количества затраченных на них ресурсов, то есть фактически от сигналов, подаваемых механизмом цен. Более того, в той степени, в какой микроизобретения представляют собой побочный продукт накопления опыта, полученного при обучении в ходе работы или в ходе использования, они находятся в корреляции с производством и с инвестициями. Разобраться в принципах, стоящих за макроизобретениями, значительно труднее: судя по всему, в их появлении, помимо экономических сил, свою роль играют личный талант и удача. Нередко за их появлением на свет стоят те или иные счастливые случайности, когда изобретатель искал одно, а нашел нечто другое, либо сделал верный вывод на основе неверных предпосылок, либо случайно стал обладателем совершенно посторонних на первый взгляд знаний, которые содержали в себе ключ к нужному решению. В силу этих причин зачастую бывает

26. Впрочем, даже в сельском хозяйстве иногда наблюдаются скачки и отсутствие преемственности. Невозможно обеспечить преемственность, заменяя овес картофелем или волов лошадьми, так же как невозможен плавный постепенный переход от органических к химическим удобрениям.

трудно объяснить, почему эти изобретения были сделаны именно в тот момент, а не раньше или позже²⁷. Таким образом, экономическая литература, посвященная рыночным механизмам и стимулам как двигателям технического прогресса, не способна дать нам полную картину. Это не означает, что мы должны отказаться от всяких попыток понять механизмы макроизобретений. Однако объяснения следует искать вне рамок проверенных и знакомых рыночных механизмов, на которые полагаются экономисты.

Можно ли предугадать, будет ли технический прогресс происходить рывками и скачками вследствие преобладания макроизобретений, или же он будет сводиться к непрерывной и плавной последовательности мелких изобретений? Некоторые технические системы, такие как корабли, рудники и сельскохозяйственные фермы, носят сложный и взаимосвязанный характер. Резкие внезапные изменения в таких системах не то чтобы невозможны, но менее вероятны вследствие необходимости сохранять совместимость с другими компонентами. Из-за сопротивления со стороны других частей системы крупные изменения происходят здесь медленно. В сложных системах усовершенствования можно оценить лишь в тех случаях, когда изменяется только один компонент, а все остальные остаются прежними. На практике это зачастую бывает трудновыполнимо²⁸. Как мы уже видели, переход от парусных кораблей

27. В контексте применения кокса при выплавке железа Флинн (Flinn, 1978) утверждает, что «не следует недооценивать элемент чистого везения... в реальности освоение кокса металлургами заняло примерно 125 лет, но оно с легкостью могло как затянуться на 275 лет, так и потребовать всего 75 лет». То же самое можно сказать и об изобретении Гутенберга — разборном шрифте, требовавшем особого мягкого сплава, который мог разработать лишь технически одаренный человек, обладающий серьезными познаниями в металлургии.

28. Кардуэлл (Cardwell, 1968, p. 120) приписывает эту методологию Смитону и указывает, что она представляет собой основу для

к пароходам в XIX в. примерно за полстолетия привел к постепенному превращению парусника с вспомогательными машинами в пароход с вспомогательными парусами. В течение этих десятилетий переделке подверглась каждая деталь судна — от мачт до руля. Хотя одни усовершенствования, внесенные в конструкцию корабля в 1820–1880 гг., были более радикальными, чем другие (например, переход от дерева к железу как к главному строительному материалу), в целом этот процесс явно имел постепенный характер.

Крупные и неожиданные технические изменения более вероятны в тех случаях, когда они не привязаны к конкретному месту. Машина Ньюкомена работала в Корнуэлле точно так же, как в Германии или в Испании. Разборный шрифт, пригодный для печати латиницей, в равной степени годится для кириллического, еврейского и арабского алфавитов. Однако в горном деле и в сельском хозяйстве то, что работает в одном месте, может не работать в другом из-за различия топографических, климатических и почвенных условий. Например, американская жатка оказалась непригодна в Великобритании (David, 1975, p. 233–275). Внесение одобрений, осушение, ирригация, селекция земледельческих культур и пород скота, возведение изгородей и заборов — все это зависит от местных условий и не может подчиняться универсальным принципам. Разобравшись в механизмах, стоящих за изобретениями, современная наука делает их более общеприменимыми. Сейчас мы лучше понимаем, почему что-то лучше работает в одном месте, а что-то — в другом, и способны адаптировать технологии применительно к конкретной ситуации. Примерами макроизобретений, преодолевших специфику местных условий, являются химические пестициды в сельском хозяйстве, корабельные винты, а также сжатый воздух как источник энергии в шахтах.

постепенного усовершенствования любой системы, но неспособна обеспечить крупные скачки вперед.

Постепенные изменения являются правилом в тех случаях, когда дополнительная система технической поддержки не в состоянии обеспечить внедрение макроизобретений. Многие из самых новаторских идей ренессансной и барочной Европы не принесли плодов, потому что не могли быть воплощены в жизнь либо это обошлось бы в непомерную цену. Высокие технологии опираются на достижения низких технологий. Технические идеи промышленной революции превратились в макроизобретения, потому что на их основе можно было построить соответствующие воспроизводимые и работоспособные устройства. Промышленная революция была в той же степени результатом дополнительных микроизобретений, как и собственно великих идей. Вообще, Великобритания своими успехами после 1750 г. была обязана в первую очередь опытным механикам и инженерам, которые оттачивали и исправляли идеи знаменитых изобретателей. Большинство революционных технических идей XVI и XVII вв., таких как винторезный станок Жака Бессона (1569), совершившая одну знаменитую поездку парусная повозка Симона Стевина (1600), так и не построенная паровая турбина Джованни Бранка (1629) и *sautoir* — арифметическая машина Блеза Паскаля, созданная в количестве 70 прототипов, — невозможно было довести до практического применения, несмотря на разумность заложенных в них идей.

Главная причина, по которой мы уделили столько места разнице между микро- и макроизобретениями, состоит в том, что нам не обойтись *ни без того, ни без другого*. Соответственно, в этом факте заключается самая принципиальная комплементарность экономической истории технических изменений. В отсутствие новых крупных идей дрейф накапливающихся мелких изобретений приведет к постепенному снижению отдачи. Когда именно это случится, зависит от конкретной технологии, но похоже, что вносить новые усовершенствования в конструкцию парусного корабля стало все более сложно к концу 1870-х гг., урожайность зерно-

вых подошла к некоему потолку к середине XIX в., а выплавка стали в тиглях уже не обеспечивала потребностей к 1856 г. Такие макроизобретения, как корабельный винт, химические удобрения и бессемеровский процесс, позволили придать новый импульс процессам, которые явно приближались к пределу возможностей. Новые идеи совсем не обязательно должны зарождаться в рамках соответствующей экономики; некоторые из изобретений, эксплуатировавшихся Великобританией во время промышленной революции, были сделаны во Франции. После 1860 г. изобретения родом из самой Великобритании все чаще осваивались в первую очередь в других странах. Вне зависимости от того, откуда исходили действительно важные новые идеи, они не были дешевыми, а их предложение не отличалось эластичностью. Как мы уже неоднократно отмечали, развитие техники ограничивается фактором предложения. Бедные общества являются таковыми не из-за дефицита ресурсов, а из-за неумения обогащаться за счет имеющихся ресурсов. Точно так же порой бывает недостаточно одних только идей; однако сами по себе они незаменимы.

Но и это еще не все. Исторический обзор, приведенный во второй части, показывает, что макроизобретения редко бывают одиночными; во многих случаях они сопутствуют друг другу. Иными словами, как сами макроизобретения, так и время, когда они появляются на свет, отчасти обусловлены другими макроизобретениями. Позднее Средневековье и промышленная революция — эпохи, богатые макроизобретениями — отделены друг от друга двумя с половиной веками постепенных и непрерывных усовершенствований : в течение этого периода улучшения затронули большинство отраслей, от кораблестроительной и железоделательной до текстильной, но крупные макроизобретения были редкостью.

Такую концентрацию макроизобретений можно объяснить двумя факторами. Во-первых, как отмечалось в главе 7, макроизобретения не являются независимыми

событиями, так как оказывают друг на друга влияние. Социологи уже давно поняли, что в тех случаях, когда поведение экономических агентов зависит от поступков других агентов, значение приобретают модели, построенные по принципу критической массы²⁹. Одного или двух одиноких изобретателей может не хватить для того, чтобы начать промышленную революцию, но если их будет чуть больше, воздействие взаимного подражания и обучения может оказаться достаточно сильным для того, чтобы инициировать намного более масштабные процессы. Так, волна макроизобретений может наблюдаться в том случае, если изобретательская активность достигнет определенного критического уровня. Несмотря на свое явное значение для общественных наук, модели, основанные на принципе критической массы, сами по себе не дают удовлетворительного объяснения, поскольку из них часто вытекает, что причиной важных и даже грандиозных явлений служили мелкие и незначительные события. Согласно этим моделям, время и место конкретной серии инноваций определяются исключительно удачей и случаем (Crafts, 1985).

Во-вторых, экзогенные изменения в институциональном и социальном окружении, в котором возникают новые идеи, могут влиять на восприимчивость экономики к макроизобретениям. Опять же, здесь оказывается полезной аналогия с эволюционной биологией. Такие экзогенные изменения, как землетрясение, отделяющее полуостров от материка, или наводнение, изменяющее русло реки, обеспечивают репродуктивную изоляцию, необходимую для аллопатрического видообразования. Следует искать аналогичные внешние события в истории техники, чтобы с их помощью объяснять крупные потрясения, порой нарушающие хронический застой.

Одни общества менее восприимчивы к радикальным изменениям, чем другие. За немногими исключениями,

29. Превосходное изложение этой идеи см.: Schelling (1978, p. 81–134).

в ренессансной и барочной Европе правили бал, ведя непримиримую борьбу с любыми интеллектуальными новшествами, реакционные элементы, вызванные к жизни реформацией и контрреформацией. Консервативные силы не сумели предотвратить великих научных достижений XVII в., но не потому, что проявили мало настойчивости. Понятно, что в сфере техники, где силы реакции ощущались заметнее, чем в рамках узкой космополитической научной элиты, включавшей Гюйгенса, Бойля, Лейбница и Декарта, радикальные идеи были не в моде. В союзе с консервативными элементами выступали ремесленные гильдии, стремившиеся защитить свои позиции. Хотя эти консервативные силы в итоге потерпели поражение и здесь, и в других сферах, их сопротивление вполне могло сказаться на темпах прогресса — не столько замедляя его, сколько сглаживая его пути и допуская только местные микроизобретения. Великие технические руководства, составленные Дзонкой, Рамелли, Агриколой и их коллегами, в первую очередь являлись сводами существовавших технологий, не предлагая ничего нового. Леонардо да Винчи, самый оригинальный технический ум той эпохи, за всю жизнь не опубликовал ни единой страницы из своих тысяч технических заметок. Дух отваги с новой силой заявил о себе лишь в конце XVII в. Тем не менее прогресс наблюдался и в эти годы. Технологическая креативность, к тому времени пустившая в Европе глубокие корни, проявлялась в мелких изменениях, накапливавшихся в XVI–XVII вв. Однако благодаря «Славной революции» 1688 г. в Великобритании сложилась обстановка, создававшая условия для технических прорывов XVIII в. Устоять против новых «видов», проявивших жизнеспособность, оказалось уже невозможно.

Таким образом, мы вновь приходим к вопросу о том, что являлось причиной таких великих «событий» в истории техники, как промышленная революция, когда мы сталкиваемся с кластерами макроизобретений во многих отраслях. Макроизобретения — это семена,

посеянные отдельными изобретателями на социальной почве. Мы не считаем, что поток макроизобретений оставался постоянным от страны к стране и от эпохи к эпохе. Некоторые факторы, определяющие предложение идей, такие как религия, образование, готовность к риску и социальный статус физического производства в обществе, рассматривались в главе 7. Однако дадут ли эти идеи всходы, разумеется, определяется в первую очередь тем окружением, в котором они высевались. Здесь не может быть никаких элементарных объяснений и простых теорем. Трудно представить себе условия, которые были бы необходимыми или достаточными для высокого уровня технологической креативности. Климат, благоприятствующий техническому прогрессу, создается всевозможными социальными, экономическими и политическими факторами, входящими в уравнение. В то же время самого по себе благоприятного окружения может оказаться недостаточно, если не появляются новые технические идеи. Динамика этого эволюционного процесса создает пеструю историческую картину, в которой длительные периоды застоя или очень постепенных изменений иногда перемежаются эпохами лихорадочного прогресса, когда радикальные изобретения и новые технологии появляются со внезапностью, опровергающей мнение о том, что природа не делает скачков.

ГЛАВА 12

Эпилог

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ историки, подобно биологам-эволюционистам, не относятся к изучению истории как к инструменту, позволяющему предсказывать будущее. И все же, после знакомства с историей технических достижений возникает искушение задуматься над тем, продолжим ли мы получать «бесплатные завтраки» или же в конце концов придем к тому стационарному состоянию, которое уже столетия, пугая нас, предсказывают экономисты. Шумпетер (Schumpeter, 1942) не испытывал сомнений на этот счет. «Технические возможности, — утверждал он, — это неисследованное море, и нет никаких оснований ожидать, что темп роста производства сократится вследствие их исчерпания» (Schumpeter, 1942, p. 118). Десять лет назад один из учеников Шумпетера выказал озабоченность тем, что Соединенные Штаты приближаются к чему-то вроде технической зрелости и что технические возможности начинают истощаться (Scherer, 1984, p. 261–269). В том, что касается не одних лишь Соединенных Штатов, а глобальной экономики в целом, я не вижу признаков такого истощения. За последние десять лет в самых разных сферах — от генной инженерии до бытовой электроники — произошли настоящие революции. Ключевым свойством технического прогресса является его непредсказуемость. Едва ли найдутся исторические факты, свидетельствующие о том, что созданию новых технических возможностей — в противоположность их эксплуатации — может грозить снижение отдачи, усталость,

старость или истощение. Я не утверждаю, что такого истощения никогда не произойдет, а хочу лишь сказать, что исторические факты не подсказывают нам, почему или каким образом это может случиться.

Тем не менее если этот поиск причин технического прогресса дает нам какой-то урок, то он состоит в том, что технический прогресс не происходит сам по себе. Если экстраполировать закон Кардуэлла в будущее, то мы получим, что ни одно общество не сможет вечно сохранять техническое лидерство. Возможно, вопреки тому, что говорит экономическая логика, большинство обществ не выказывало большой склонности к применению новых идей в производстве. Как подчеркивал Шумпетер, враг технического прогресса — не отсутствие новых полезных идей, а социальные силы, по той или иной причине стремящиеся сохранить статус-кво. Эти силы представляют различные интересы и принимают самые разные формы: лобби защитников окружающей среды, профсоюзы, гигантские корпорации на глиняных ногах, профессиональные ассоциации, реакционные или некомпетентные бюрократические аппараты — все они тем или иным образом могут оказывать противодействие тем неустанным и агрессивным рывкам вперед, которые были характерны для XIX и XX в.

Энергия западного мира может истощиться намного раньше, чем у него исчерпаются идеи. В конце концов, все мы живем в исключительной ситуации. Технологически креативные общества редко встречаются в истории. Наша эпоха уникальна: всего лишь за два последних столетия западное общество сумело повысить уровень жизни подавляющей части населения, ранее существовавшей на грани прожиточного минимума. Своими успехами Запад обязан не капитализму, не науке и не таким историческим случайностям, как благоприятные географические условия. Непрерывно изменяющаяся мозаика технологически креативных обществ возникла благодаря политическому и ментальному разнообразию. С момента своего зарождения в монастырях,

на омытых дождями полях и в лесах Западной Европы технологическая креативность западного общества опиралась на два краеугольных камня: материалистический прагматизм, основанный на убеждении в возможности и даже в желательности манипуляций над природой ради повышения экономического благосостояния, и непрерывную борьбу между политическими игроками за политическую и экономическую гегемонию. Все это являлось фундаментом для институтов и структур стимулов, без которых был бы невозможен устойчивый технический прогресс. Однако эта структура никогда не будет отличаться прочностью. Ни в одном обществе не существует достаточных условий для технологической креативности. Именно по этой причине важно, чтобы мир сохранял некоторое разнообразие. Если технический прогресс — эфемерное и редкое явление, то увеличение числа обществ, в которых проводится этот эксперимент, и допущение известной конкуренции между ними повышает шансы на продолжение прогресса. Пока одни общества останутся креативными, другим придется следовать за ними.

Вероятно, историография XX в. в конце концов не могла не восстать против идеи о техническом прогрессе как о «прогрессе» — в том смысле, что он улучшает участь людей, живущих в обществах, в которых он происходит. Никогда никуда не денутся, как выразился Поллард, «маловеры и пессимисты»¹. Их сомнениям можно противопоставить два возражения. Первое состоит просто-напросто в том, что техническое разви-

1. Один выдающийся антрополог (Harris, 1977, p. x, xi) десять лет назад писал, что «великий индустриальный рог изобилия заваливает нас все более дрянными, дорогими и дефектными товарами и услугами... наша культура — не первая, погубленная техникой». В том же ключе высказывается Базалла (Basalla, 1988, p. 218): «исторические факты [не] оправдывают возвращение к идее о существовании причинно-следственной связи между достижениями техники и общим улучшением человеческой расы».

тие сделало возможным прирост населения без снижения среднего долгосрочного уровня жизни. Как писал Чайлд (Childe [1936], 1965, p. 13–14), « [после 1750 г.] численность населения возростала так быстро, как этого не случилось никогда с момента саксонского нашествия. С точки зрения биологических стандартов... промышленная революция достигла колоссальных успехов». Она способствовала выживанию и преумножению человечества. Другие сомневаются в том, что повышение дохода на душу населения после 1850 г. действительно пошло людям на пользу. Самый убедительный и красноречивый ответ на эти заявления, какой только может дать историк экономики, сформулировал полвека назад сэр Джон Клапэм — человек, в целом мало склонный к красноречию. Пессимисты, — писал Клапэм (Clapham, [1938], 1965, vol. III, p. 507), — склонны утверждать, что все эти изобретения, не сделав людей [современной индустриальной эпохи] ни умнее, ни счастливее, ни проникательнее по сравнению с жителями прежних эпох, возможно, только испортили их. «Не пристало историку-экономисту говорить о добродетели, мудрости и проникательности. Его место — на более низком уровне товаров и благ. Спускаясь туда, он без колебаний говорит о преимуществах [настоящей] эпохи в сравнении не только с другими эпохами индустриального периода, но и с любыми другими известными ему периодами».

«Более низкий» уровень благ относится не к одному только комфорту. Богатства постиндустриального общества обеспечивают людям более долгую и здоровую жизнь, освобождение от голода, от угрозы младенческой смертности, от бесконечных лишений, которые в доиндустриальном обществе не были уделом лишь самых избранных. Роскошь и излишества, доступные самым богатым членам средневекового общества, бледнеют на фоне питания, удобств и развлечений, доступных среднему жителю в современных западных экономиках.

Разумеется, верно, что технический прогресс не сможет дать людям всего, что им нужно. Некоторые же-

лания и потребности невозможно удовлетворить посредством изобретений. Социальный престиж, политическое влияние и объем личных услуг, оказываемых другими людьми, не удастся моментально повысить с помощью техники. Хирш (Hirsch, 1976) называет подобные блага «позиционными». В той степени, в какой позиционные блага связаны с относительным статусом конкретных индивидов, их предложение является ограниченным, а их распределение фактически представляет собой игру с нулевой суммой. Никакой технический прогресс не сможет увеличить их общего объема. Однако не следует недооценивать возможностей техники к удовлетворению некоторых потребностей, создающих спрос на позиционные блага. На смену слугам могут прийти роботы; потребность в манипулировании другими людьми можно удовлетворить с помощью компьютерных симуляторов. И все же, до тех пор пока амбиции и зависть остаются одной из сторон человеческой натуры, «бесплатных завтраков», создаваемых техническим прогрессом, никогда не хватит для полного удовлетворения наших appetitov.

Но вернемся к вопросу о техническом прогрессе как к истории успеха. Э. Х. Карр писал, что история — по большому счету рассказ о том, что люди сделали, а не о том, что им не удалось. Для истории техники это верно *a fortiori*: то, в чем люди не преуспели, просто не отразилось в источниках. В силу самой природы техники мы обычно не жалуем о несделанных изобретениях. Было бы неуместным и странным анахронизмом «обвинять» римлян в том, что те не изобрели лошадиный хомут, а китайцев — в том, что они не изобрели механические часы. И все же, когда средневековая Европа выдвинула эти и аналогичные идеи, а другие общества этого не сделали, начали складываться контуры современной экономической карты мира. Именно из-за того, что происходило в Западной Европе за последнюю тысячу лет, незападные нации — от Японии до Мавритании — пытаются угнаться за Западом, перенимая его

технику. На данный момент наибольших экономических успехов достигли те незападные нации, которые удачнее всего подражают Западу. Такие страны, как Корея или Япония, явно способны создавать новую технику, а не только ее копировать. Однако изобретения, совершаемые сегодня в исследовательских лабораториях на Дальнем Востоке, являются западными по самой своей сути. Хотя некоторые из этих обществ сохранили большую часть своей культуры и традиций, в сфере техники западное наследие остается неоспоримым.

Уже давно предсказывавшийся упадок Запада до сих пор так и не состоялся. Хотя Запад больше не посылает канонерок к чужим берегам, он по-прежнему процветает благодаря своей бывшей технологической креативности. Если ему что-то и угрожает, так только незападные нации, проявляющие способность побить Запад в его собственной игре. С глобальной точки зрения эта угроза даже желательна. Если выяснится, что Запад как целое тоже подвластен закону Кардуэлла, то факел креативности понесут другие народы. Пока тот или иной сегмент мировой экономики сохраняет креативность, человеческая раса может не бояться технического застоя, который в конце концов положит конец экономическому росту. В современном мире с его политической конкуренцией другие нации будут вынуждены не отставать от лидера. Такие психологические потрясения, как страхи, охватившие Запад после запуска первого советского спутника, служат средством от самодовольства и самоуверенности, характерных для тех обществ, в которых пресекались инновации.

Если мы хотим, чтобы экономисты и политики осознали этот принципиальный момент, то им следует изучать экономическую историю технических изменений. Парафразируя еще одно изречение из Карра, можно сказать: общество, переставшее интересоваться прежними успехами, вскоре утратит веру в свою способность к новым успехам.

Библиография

- Agricola, Georgius. [1556; 1912] 1950. *De Re Metallica*. Translated and annotated by Herbert Clark Hoover and Lou Henry Hoover. Reprint edition. New York: Dover Publications.
- Aitken, Hugh G. J. 1976. *Syntony and Spark: The Origins of Radio*. New York: John Wiley and Sons.
- Al-Hassan, Ahmad Y. and Hill, Donald R. 1986. *Islamic Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Allen, Robert C. 1977. «The Peculiar Productivity History of American Blast Furnaces, 1840–1913». *Journal of Economic History* 37 (September): 605–33.
- Allen, Robert C. 1981. «Entrepreneurship and Technical Progress in the Northeast Coast Pig Iron Industry: 1850–1913». *Research in Economic History* 6: 35–71.
- Allen, Robert C. 1983. «Collective Invention». *Journal of Economic Behavior and Organization* 4: 1–24.
- Arthur, Brian. 1989. «Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events». *Economic Journal* 99 (March): 116–131.
- Ashby, Eric. 1958. «Education for an Age of Technology». In *A History of Technology*. Vol. 5, *The Late Nineteenth Century*, edited by Charles Singer et al., 776–98. New York and London: Oxford University Press.
- Ashton, Thomas S. 1924. *Iron and Steel in the Industrial Revolution*. Manchester: Manchester University Press.
- Ashton, Thomas S. 1948. *The Industrial Revolution, 1760–1830*. Oxford and New York: Oxford University Press.
- Audin, Maurice. 1969. «Printing». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 22, *The first Stages of Mechanization, 1450–1725*, edited by Maurice Daumas, 620–67. New York: Crown.
- Audin, Maurice. 1979. «Printing». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 3, *The Expansion of Mechanization, 1725–1860*, edited by Maurice Daumas, 656–705. New York: Crown.
- Ayala, Francisco J. 1988. «Can 'Progress' be Defined as a Biological Concept?» In *Evolutionary Progress*, edited by Matthew Nitecki, 75–96. Chicago: University of Chicago Press.

- Ayres, Clarence. [1944] 1962. *The Theory of Economic Progress*. 2d ed. New York: Schocken Books.
- Babbage, Charles. 1864. *Passages from the Life of a Philosopher*. London: Longman Green.
- Baines, Edward. 1853. *History of the Cotton Manufacture in Great Britain*. London: H. Fisher.
- Baldwin, William L., and Scott, John T. 1987. *Market Structure and Technological Change*. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers.
- Ballot, Charles. [1923] 1978. *L'Introduction du Machinisme dans l'Industrie Française*. Edited by Claude Lévi-Strauss. Geneva: Slatkine.
- Barclay, Harold B. 1980. *The Role of the Horse in Man's Culture*. London: J. A. Allen.
- Bartley, W. W. 1987. «Philosophy of Biology Versus Philosophy of Physics». In *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the Sociology of Knowledge*, edited by Gerard Radnitzky and W. W. Bartley III, 7–45. La Salle, IL: Open Court.
- Barraclough, K. C. 1984. *Steelmaking Before Bessemer*. 2 vols. London: The Metals Society.
- Basalla, George 1988. *The Evolution of Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baumol, William J. 1988. «Entrepreneurship: Productive, Unproductive and Imitative; or The Rule of the Rules of the Game». Unpublished manuscript, Princeton University.
- Beaumont, Olga. 1958. «Agriculture: Farm Implements». In *A History of Technology*. Vol. 4: *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 1–12. New York and London: Oxford University Press.
- Beer, John Joseph. 1959. *The Emergence of the German Dye Industry*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Benz, Ernst. 1966. *Evolution and Christian Hope: Man's Concept of the Future from the Early Fathers to Teilhard de Chardin*. Garden City, NJ: Doubleday.
- Berg, Maxine. 1985. *The Age of Manufactures*. London: Fontana Press.
- Bernai, J. D. 1965. *Science in History*. Vol. 1, *The Emergence of Science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bijker, Wiebe E. 1987. «The Social Construction of Bakelite: Toward a Theory of Invention.» In *The Social Construction of Technological Systems*, edited by Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, and Trevor J. Pinch, 159–87. Cambridge, MA: MIT Press.
- Blaine, Bradford B. 1976. «The Enigmatic Water Mill». In *On Pre-Modern Technology and Science: Studies in Honor of Lynn White*, edited by Bert S. Hall and Delno C. West, 163–76. Malibu, CA: Undena Publications.

- Bloch, Marc. 1966. *Land and Work in Medieval Europe*. New York: Harper & Row.
- Boserup, Ester 1981. *Population and Technological Change*. Chicago: University of Chicago Press.
- Boulding, Kenneth. 1981. *Evolutionary Economics*. Beverly Hills: Sage Publications.
- Boulding, Kenneth. 1983. «Technology in the Evolutionary Process». In *The Trouble with Technology*, edited by S. McDonald, D. McL. Lamberton, and T. Mandeville, 4–10. New York: St. Martin's Press.
- Boyd, Robert, and Richerson, Peter J. 1985. *Culture and the Evolutionary Process*. Chicago: University of Chicago Press.
- Bray, Francesca. 1984. *Agriculture*. In *Science and Civilization in China*, Vol. 6, Part 2, edited by Joseph Needham. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bray, Francesca. 1986. *The Rice Economies*. Oxford: Basil Blackwell.
- Brenner, Reuven. 1983. *History: The Human Gamble*. Chicago: University of Chicago Press.
- Brenner, Reuven. 1987. *Rivalry*. New York: Cambridge University Press.
- Bromehead, C. N. 1956. «Mining And Quarrying in the Seventeenth Century». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 1–40. New York and Oxford: Oxford University Press.
- Brown, Shannon R. 1979. «The Ewo Filature: A Study in the Transfer of Technology to China». *Technology and Culture* 20 (July): 550–68.
- Brown, Shannon R., and Wright, Tim. 1981. «Technology, Economics, and Politics in the Modernization of China's Coal-mining Industry, 1850–1895». *Exploration in Economic History* 18 (January): 60–83.
- Bruland, Tine. 1982. «Industrial Conflict as a Source of Technical Innovation: three Cases». *Economy and Society* 11 (May): 91–121.
- Brumbaugh, Robert S. 1966. *Ancient Greek Gadgets and Machines*. New York: Thomas Y. Crowell.
- Bryant, Lynwood. 1966. «The Silent Otto». *Technology and Culture* 7 (Spring): 184–200.
- Bryant, Lynwood. 1967. «The Beginnings of the Internal Combustion Engine». In *Technology in Western Civilization*, Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 648–63. New York: Oxford University Press.
- Bryant, Lynwood. 1969. «Rudolf Diesel and his Rational Engine». *Scientific American*. 221 (August): 108–17.
- Bryant, Lynwood. 1973. «The Role of Thermodynamics: The Evolution of the Heat Engine». *Technology and Culture*. 14: 152–65.
- Buchanan, R. A. 1986. «The Diaspora of British Engineering». *Technology and Culture* 27 (July): 501–24.

- Bulliet, Richard W. 1975. *The Camel and the Wheel*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Burford, A. 1960. «Heavy Transport in Classical Antiquity». *Economic History Review* 13: 1–19.
- Burstall, Aubrey F. 1965. *A History of Mechanical Engineering*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bush, Guy L. 1982. «What Do We Really Know About Speciation?» In *Perspectives on Evolution*, edited by Roger Milkman, 119–28. Sunderland, MA: Sinauer Publishing Co.
- Campbell, Donald T. [1960] 1987. «Blind Variation and Selective Retention in Creative Thought as in Other Knowledge Processes». In *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the Sociology of Knowledge*, edited by Gerard Radnitzky and W. W. Bartley III 91–114. La Salle, IL: Open Court.
- Cardwell, D. S. L. 1968. «The Academic Study of the History of Technology». In *History of Science, an Annual Review of Literature, Research and Teaching*, Vol. 7 edited by A. C. Crombie and M. A. Hoskin, 112–24.
- Cardwell, D. S. L. 1971. *From Watt To Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Cardwell, D. S. L. 1972. *Turning Points in Western Technology*. New York: Neale Watson Science History Publication.
- Carr, Edward Hallett. 1961. *What is History?* New York: Vintage Books.
- Casson, Lionel. 1971. *Ships and Seamanship in the Ancient World*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Cavalli-Sforza, L. L., and M. W. Feldman. 1981. *Cultural Transmission and Evolution: a Quantitative Approach*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Chao, Kang. 1977. *The Development of Cotton Textile Production in China*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Chao, Kang. 1986. *Man and Land in Chinese History: An Economic Analysis*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Chapman, S. D. 1972. *The Cotton Industry in the Industrial Revolution*. London: Macmillan.
- Chatterton, E. Keble. 1909. *Sailing Ships and Their Story*. London: Sidgwick and Jackson.
- Childe, V. Gordon. [1936] 1965. *Man Makes Himself*. Fourth edition. London: Watts & Co.
- Cipolla, Carlo M. 1965a. *The Economic History of World Population*. Harmondsworth, England: Pelican Books.
- Cipolla, Carlo M. 1965b. *Guns and Saik in the Early Phase of European Expansion, 400–1700*. London: Collins.
- Cipolla, Carlo M. 1967. *Clocks and Culture, 1300–1700*. New York: Norton.
- Cipolla, Carlo M. 1969. *Literacy and Development in the West*. Harmondsworth, England: Penguin Books.

- Cipolla, Carlo M. 1972. «The Diffusion of Innovation in Early Modern Europe». *Comparative Studies in Society and History* 14: 46–52.
- Cipolla, Carlo M. 1980. *Before the Industrial Revolution*. 2d ed. New York: W. W. Norton.
- Clapham, John. [1938] 1963. *An Economic History of Modern Britain*. 3 vols. Cambridge: Cambridge University Press.
- Clapham, Michael. 1957. «Printing». In *A History of Technology*. Vol. 3, *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 377–410. New York and London: Oxford University Press.
- Clow, Archibald, and Clow, Nan L. 1952. *The Chemical Revolution*. London: The Batchworth Press.
- Clow, Archibald, and Clow, Nan L. 1956. «The Timber Famine and the Development of Technology». *Annals of Science* 12 (June): 85–102.
- Clow, Archibald, and Clow, Nan L. 1958a. «The Chemical Industry: Interaction with the Industrial Revolution». In *A History of Technology*. Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 230–57. New York and London: Oxford University Press.
- Clow, Archibald, and Clow, Nan L. 1958b. «Ceramics from the Fifteenth Century to the Rise of the Staffordshire Potteries». In *A History of Technology*, Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 328–57. New York and London: Oxford University Press.
- Coleman, D. C. 1958. *The British Taper Industry, 1495–1860*. Oxford: Clarendon Press.
- Coombs, Rod, Saviotti, Paolo, and Walsh, Vivien. 1987. *Economics and Technological Change*. Totowa, NJ: Rowman and Littlefield.
- Cooper, Carolyn. 1984. «The Portsmouth System of Manufacture». *Technology and Culture* 25 (April) 182–225.
- Crafts, N. K. R. 1985. «Industrial Revolution in England and France: Some Thoughts on the Question ‘Why was England First.’» In *The Economics of the Industrial Revolution*, edited by Joel Mokyr, 119–31. Totowa, NJ: Rowman and Allanheld.
- Crosby, Alfred. 1972. *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492*. Westport, CT: Greenwood Publishing Co.
- Crosby, Alfred. 1986. *Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe, 900–1900*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crouzel, Francois. 1985. *The First Industrialists*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cunliffe, Barry. 1979. *The Celtic World*. New York: McGraw-Hill.
- Cutting, C. L. 1958. «Fish Preservation». In *A History of Technology*. Vol. 4: *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 44–55. New York and London: Oxford University Press.

- Daumas, Maurice, 1964. «The Extraction of Chemical Products». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 2, *The First Stages of Mechanization, 1450–1725*, edited by Maurice Daumas, 172–211. New York: Crown.
- Daumas, Maurice, and Paul Gille. 1979a. «Methods of Producing Power». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 3, *The Expansion of Mechanization, 1725–1860*, edited by Maurice Daumas, 17–80. New York: Crown.
- Daumas, Maurice, and Paul Gille. 1979b. «Transportation and Communication». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 3: *The Expansion of Mechanization, 1725–1860*, edited by Maurice Daumas, 233–390. New York: Crown.
- David, Paul A. 1975. *Technical Choke, Innovation, and Economic Growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- David, Paul A. 1985. «Clio and the Economics of QWERTY». *American Economic Review* 75 (May): 332–37.
- David, Paul A. 1986. «Understanding the Economics of QWERTY: The Necessity of History». In *Economic History and the Modern Economist*, edited by William N. Parker. Oxford: Basil Blackwell.
- David, Paul A. 1987. «The Hero and the Herd in Technological History: Reflections on Thomas Edison and the ‘Battle of the Systems.’» Unpublished paper, Stanford University.
- David, Paul A. 1988. «Path Dependence: Putting the Past into the Future of Economics». Unpublished paper, Stanford University.
- Davis, Lance E., Robert G. Gallman, and T. D. Hutchins. 1991. «Call Me Ishmael Not Domingo Floresta: The Rise and Fall of the American Whaling Industry». In *Research In Economic History, Supplement IV*, Joel Mokyr: *The Vital One: Essays Presented to Jonathan R. T. Hughes*, 191–233. Greenwich, CT: JAI Press.
- Dawkins, Richard. 1987. *The Blind Watchmaker*. New York: W. W. Norton.
- De Bresson, Chris. 1987. «The Evolutionary Paradigm and the Economics of Technological Change». *Journal of Economic Issues* 21 (June): 751–61.
- De Camp, L. Sprague, 1960. *The Ancient Engineers*. New York: Ballantine Books.
- Derry, T. K., and T. I. Williams. 1960. *A Short History of Technology*. Oxford: Oxford University Press.
- Deshayes, Jean. 1969. «Greek Technology». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 1, *The Origins of Technological Civilization*, edited by Maurice Daumas, 181–214. New York: Crown.
- Dickinson, H. W. 1958. «The Steam Engine to 1830». In *A History of Technology*. Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 168–98. New York and London: Oxford University Press.
- Dosi, Giovanni. 1984. *Technical Change and Industrial Transformation*. New York: St. Martin's Press.
- Dresbeck, LeRoy. 1976. «Winter Climate and Society in the Northern Mid-

- dle Ages: The Technological Impact». In *On Pre-Modern Technology and Science: Studies in Honor of Lynn White*, edited by Bert S. Hall and Delno C. West, 177–99. Malibu, CA: Undena Publications.
- Dutton, H. L. 1984. *The Patent System and Inventive Activity during the Industrial Revolution*. Manchester: Manchester University Press.
- Duval, Paul-Marie. 1962. «The Roman Contribution to Technology». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 1, *The Origins of Technological Civilization*, edited by Maurice Daumas, 216–59. New York: Crown.
- Eldredge, Niles. 1985. *Time Frames: The Rethinking of Darwinian Evolution and the Theory of Punctuated Equilibria*. New York: Simon and Schuster.
- Elster, Jon. 1983. *Explaining Technical Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Elton, Sir Arthur. 1958. «Gas for Light and Heat». In *A History of Technology*. Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 258–76. New York and London: Oxford University Press.
- Elvin, Mark 1973. *The Pattern of the Chinese Past*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Elvin, Mark. 1984. «Why China Failed to Create an Endogenous Industrial Capitalism». *Theory and Society* 13: 379–92.
- English, W. 1958. «The Textile Industry: Silk Production and Manufacture, 1750–1900». In *A History of Technology*. Vol. 4: *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 308–27. New York and London: Oxford University Press.
- Ercker, Lazarus. [1580] 1951. *Treatise on Ores and Assaying*. Translated by Anneliese G. Siseo and Cyril Stanley Smith. Chicago: University of Chicago Press.
- Eudier, Walter, and Jacques Payen. 1979. «The Spinning of Textile Fibers». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 3, *The Expansion of Mechanization, 1725–1860*, edited by Maurice Daumas, 583–98. New York: Crown.
- Evans, Francis T. 1981. «Roads, Railways, and Canals: Technical Choices in Nineteenth Century Britain». *Technology and Culture*. 22 (January): 1–34.
- Fei, Hsia-tung, 1953. *China's Gentry*. Chicago: University of Chicago Press.
- Fenoaltea, Stefano. 1984. «Slavery and Supervision in Comparative Perspective: A Model». *Journal of Economic History* 44 (September): 635–68.
- Ferguson, Eugene S. 1981. «History and Historiography». In *Yankee Enterprise: The Rise of the American System of Manufactures*, edited by Otto Mayr and Robert C. Post, 1–23. Washington, DC: The Smithsonian Institution.
- Feuerwerker, A. 1984. «The State and the Economy in Late Imperial China». *Theory and Society* 13: 297–326.
- Finley, M. I. 1965. «Technical Innovation and Economic Progress in the Ancient World». *Economic History Review* 18 (August): 29–45.

- Finley, M. I. 1973. *The Ancient Economy*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Fletcher, R. A. 1910 *Steam-Ships: The Story of Their Development to the Present Day*. Philadelphia: J. B. Lippincott.
- Flinn, Michael W. 1959. «Timber and the Advance of Technology: a Reconsideration». *Annals of Science* 15 (June): 109–20.
- Flinn, Michael W. 1978. «Technical Change as an Escape from Resource Scarcity: England in the Seventeenth and Eighteenth Centuries». In *Natural Resources in European History*, edited by William N. Parker and Antoni Maczak, 139–59. Washington, DC: Resources for the Future.
- Foley, Vernard. 1983. «Leonardo, the Wheel Lock, and the Milling Process». *Technology and Culture* 24 (July): 399–427.
- Forbes, R. J. 1956a. «Metallurgy». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 41–80. New York and London: Oxford University Press.
- Forbes, R. J. 1956b. «Food and Drink». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 103–146. New York and London: Oxford University Press.
- Forbes, R. J. 1956c. «Power». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 589–628. New York and London: Oxford University Press.
- Forbes, R. J. 1956d. «Hydraulic Engineering and Sanitation». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 688–94. New York and London: Oxford University Press.
- Forbes, R. J. 1957. «Food and Drink». In *A History of Technology*. Vol. 3, *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 1–26. New York and London: Oxford University Press.
- Forbes, R. J. 1958a. «Power to 1850». In *A History of Technology*. Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*. edited by Charles Singer et al., 148–67. New York and London: Oxford University Press.
- Forbes, R. J. 1958b. *Man the Maker*. London: Abelard-Shuman.
- Fossier, Robert. 1982. *Enfance de l'Europe*. 2 vols. Paris: Presses Universitaires de France.
- Foster, John. 1987. *Evolutionary Macroeconomics*. London: Allen and Unwin.
- Frankel, Marvin. 1955. «Obsolescence and Technological Change». *American Economic Review* 45 (June): 298–319.
- Friedel, Robert. 1979. «Parkesine and Celluloid: The Failure and Success of the First Modern Plastic». *History of Technology* 4: 45–62.

- Fussell, G. E. 1958. «Agriculture: Techniques of Farming». In *A History of Technology*. Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 13–43. New York and London: Oxford University Press.
- Futia, C. A. 1980. «Schumpeterian Competition». *Quarterly Journal of Economics* 94: 675–95.
- Gernet, Jacques. 1982. *A History of (Chinese Civilization)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gernsheim, Helmut, and Gernsheim, Alison. 1958. «The Photographic Arts: Photography». In *A History of Technology*. Vol. 5, *The Late Nineteenth Century*, edited by Charles Singer et al., 716–33. New York and London: Oxford University Press.
- Gerschenkron, Alexander. 1966. «The Discipline and I». *Journal of Economic History* 27 (December): 443–59.
- Gibbs, F. W. 1957. «Invention in Chemical Industries». In *A History of Technology*. Vol. 3, *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 676–708. New York and London: Oxford University Press.
- Gibbs, F. W. 1958. «Extraction and Production of Metals». In *A History of Technology*, Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 118–47. New York and London: Oxford University Press.
- Giedion, Siegfried. 1948. *Mechanization Takes Command*. New York: W. W. Norton.
- Gilbert K. R. 1958. «Machine-fools». In *A History of Technology*, Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 417–41. New York and London: Oxford University Press.
- Gillillan, S. C. 1935. *The Sociology of Invention*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gille, Bertrand. 1956. «Machines». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 629–57. New York and London: Oxford University Press.
- Gille, Bertrand. 1966. *Engineers of the Renaissance*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gille, Bertrand. 1969a. «The Medieval Age of the West, Fifth Century to 1350». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 1, *The Origins of Technological Civilization*, edited by Maurice Daumas, 422–572. New York: Crown.
- Gille, Bertrand. 1969b. «The Fifteenth and Sixteenth Centuries in the Western World». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 2, *The First Stages of Mechanization, 1450–1725*, edited by Maurice Daumas, 16–148. New York: Crown.
- Gille, Bertrand. 1978. *Histoires des Techniques: Technique et Civilisations, Technique et Sciences*. Paris: Editions Gallimard.

- Gille, Bertrand. 1979. «The Evolution of Metallurgy». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 3, *The Expansion of Mechanization, 1725–1860*. edited by Maurice Daumas, 527–53. New York: Crown.
- Gille, Paul. 1969a. «Sea and River Transportation». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 2: *The First Stages of Mechanization, 1450–1725*, edited by Maurice Daumas, 361–436. New York: Crown.
- Gille, Paul. 1969b. «From the Traditional Methods to Steam». In, 4 *History of Technology and Invention*. Vol. 2, *The First Stages of Mechanization, 1450–1725*, edited by Maurice Daumas, 437–63. New York: Crown.
- Gillispie, Charles. 1983. *The Montgolfier Brothers and the Invention of Aviation*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Gimpel, J. 1976. *The Medieval Machine: The Industrial Revolution of the Middle Ages*. Harmondsworth, England: Penguin Books.
- Golas, P.J. 1982. «Chinese Mining: Where Was the Gunpowder?» In *Explorations in the History of Science and Technology in China*, edited by Li Guohao, Zhang Mengwen, and Cao Tianqin, 453–58. Shanghai: Chinese Classics Publishing House.
- Goldschmidt, Richard. 1940. *The Material Basis of Evolution*. New Haven, CI: Yale University Press.
- Goldstone, Jack A. 1987. «Geopolitics, Cultural Orthodoxy, and Innovation». *Sociological Theory* 5 (Fall): 119–35.
- Gordon, Robert B. 1985. «Hydrological Science and the Development of Waterpower for Manufacturing». *Technology and Culture* 26 (April): 204–35.
- Gould, Stephen Jay. 1980a. «Is a New and General Theory of Evolution Emerging?» *Paleobiology* 6 (1): 119–30.
- Gould, Stephen Jay. 1980b. *Ever Since Darwin*. New York: W. W. Norton.
- Gould, Stephen Jay. 1981. *The Mismeasurement of Man*. New York: W. W. Norton.
- Gould, Stephen Jay. 1982a. «Darwinism and the Expansion of Evolutionary Theory». *Science* 216 (April): 380–87.
- Gould, Stephen Jay. 1982b. «The Meaning of Punctuated Equilibrium and its Role in Validating a Hierarchical Approach to Macroevolution». In *Perspectives on Evolution*, edited by Roger Milkman, 83–104. Sunderland, MA: Sinauer Publishing Co.
- Gould, Stephen Jay. 1982c. «The Uses of Heresy: An Introduction to the Reprint of Goldschmidt's *The Material Basis of Evolution*». New Haven, CT: Yale University Press.
- Gould, Stephen Jay. 1987. «The Panda's Thumb of Technology». *Natural History* 1: 14–23.
- Grantham, George. 1984. «The Shifting Locus of Agricultural Innovation in Nineteenth Century Europe». In *Technique. Spirit and Form in the Making of the Modern Economies: Essays in Honor of William N. Parker*, edited by Gary Saxonhouse and Gavin Wright, 191–214. Greenwich, CT: JAI Press.

- Greene, Kevin. 1986. *The Archaeology of the Roman Economy*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Griffiths, Dot. 1985. «The Exclusion of Women from Technology». In *Smothered by Invention: Technology in Women's Lives* edited by Wendy Faulkner and Erik Arnold. London and Sydney: Pluto Press.
- Guha, Ashok. 1981. *An Evolutionary View of Economic Growth*. Oxford: The Clarendon Press.
- Guilmartin, John F., Jr. 1988. «The Second Horseman: War, the Primary Causal Agent in History». Paper presented to the Texas A&M University conference on «What is the Engine of History».
- Guohao, L., Mengwen, Z., and Tianqin, C. 1982. *Explorations in the History of Science and Technology in China*. Shanghai: Chinese Classics Publishing House.
- Gutmann, Myron P. 1988. *Toward the Modern Economy: Early Industry in Europe, 1500–1800*. New York: Alfred A. Knopf.
- Habakkuk, H. J. 1962. *American and British Technology in the Nineteenth Century*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Haber, L. F. 1958. *The Chemical Industry during the Nineteenth Century*. Oxford: The Clarendon Press.
- Hacker, Barton. 1968. «Greek Catapults and Catapult Technology: Science, Technology and War in the Ancient World». *Technology and Culture* 9 (January): 34–50.
- Hacker, Barton. 1977. «The Weapons of the West: Military Technology and Modernization in Nineteenth Century China and Japan». *Technology and Culture* 18 (January): 43–55.
- Hall, A. Rupert. 1967. «Early Modern Technology to 1600». In *Technology in Western Civilization*. Vol. 1. Edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 79–106. New York: Oxford University Press.
- Hall, A. Rupert. 1978. «On Knowing and Knowing how to...» *History of Technology* 3: 91–104.
- Hall, Marie Boas. 1976. «The Strange Case of Aluminum». *History of Technology* 1: 143–57.
- Harley, C. Knick. 1971. «The Shift from Sailing Ships to Steamships, 1850–1890: A Study in Technological Change and its Diffusion». In *Essays on a Mature Economy: Britain After 1840*, edited by Donald N. McCloskey, 215–23. London: Methuen.
- Harley, C. Knick. 1973. «On the Persistence of Old Techniques: The Case of North American Wooden Shipbuilding». *Journal of Economic History* 33 (June): 372–89.
- Harley, C. Knick. 1988. «Ocean Freight Rates and Productivity 1740–1913: The Primacy of Mechanical Invention Re affirmed». *Journal of Economic History* 48 (December): 851–76.
- Harms, Robert. 1978. *Games Against Nature*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Harris, Marvin. 1977. *Cannibals and Kings: The Origins of our Cultures*. New York: Vintage.
- Harrison, J. A. 1972. *The Chinese Empire*. New York: Harcourt Brace.
- Hartwell, Robert M. 1971. «Historical Analogism, Public Policy, and Social Science in Eleventh- and Twelfth Century China». *American Historical Review* 76 (June): 690–727.
- Headrick, Daniel R. 1981. *The Tools of Empire*. New York: Oxford University Press.
- Headrick, Daniel R. 1988. *The Tentacles of Progress*. New York: Oxford University Press.
- Headrick, Daniel R. 1990. *The Invisible Weapon: Telecommunications and International Politics, 1851–1945*. New York: Oxford University Press.
- Heertje, Arnold. 1983. «Can We Explain Technical Change?» In *The Trouble with Technology*, edited by S. McDonald, D. McL. Lamberton, and T. Mandeville, 37–49. New York: St. Martin's Press.
- Hicks, J. R. 1969. *A Theory of Economic History*. Oxford: Oxford University Press.
- Hill, Donald R. 1977. «The Banu Musà and their 'Book of Ingenious Devices.'» *History of Technology* 2: 39–76.
- Hill, Donald R. 1984a. «Information on Engineering in the Works of Muslim Geographers». *History of Technology* 9: 127–42.
- Hill, Donald R. 1984b. *A History of Engineering in Classical and Medieval Times*. London: doom Helm.
- Hills, Richard L. 1970. *Power in the Industrial Revolution*. Manchester: Manchester University Press.
- Hills, Richard L. 1979. «Hargreaves, Arkwright, and Crompton: Why Three Separate Inventors?» *Textile History* 10: 114–26.
- Hindle, Brooke. 1981. *Emulation and Invention*. New York: New York University Press.
- Hirsch, Fred. 1976. *Social Limits to Growth*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hobsbawm, Eric J. 1968. *Industry and Empire*. Harmondsworth, England: Penguin Books.
- Hodges, H. 1970. *Technology in the Ancient World*. London: Allen Lane, Penguin Press.
- Hohenberg, Paul. 1967. *Chemicals in Western Europe, 1850–1914*. Chicago: Rand-McNally.
- Hollister-Short, G. J. 1976. «Leads and Lags in Late Seventeenth Century English Technology». *History of Technology* 1: 159–83.
- Hollister-Short, G. J. 1985. «Gunpowder and Mining in Sixteenth and Seventeenth Century Europe». *History of Technology* 10: 31–66.
- Holmyard, E. J. 1958a. «The Chemical Industry: Developments in Chemical Theory and Practice». In *A History of Technology*. Vol. 4: *The Industri-*

- al Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al. 214–29. New York and London: Oxford University Press.
- Holmyard, E. J. 1958b. «Dyestuffs in the Nineteenth Century». In *A History of Technology* Vol. 5, *The Late Nineteenth Century*, edited by Charles Singer et al., 257–83. New York and London: Oxford University Press.
- Hounshell, David A. 1975. «Elisha Gray and the Telephone». *Technology and Culture* (April): 133–61.
- Hounshell, David A. 1984. *From the American System to Mass Production, 1800–1932*. Baltimore: The Johns Hopkins Press.
- Howard, Robert. 1978. «Interchangeable Parts Reexamined: The Private Sector of the American Arms Industry on the Eve of the Civil War». *Technology and Culture* 19 (October): 633–49.
- Huang, Philip C. C. 1985. *The Peasant Economy and Social Change in North China*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Huard, Pierre et al. 1969. «The Techniques of the Ancient Far East». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 1, *The Origins of Technological Civilization*, edited by Maurice Daumas, 216–59. New York: Crown.
- Hucker, Charles O. 1975. *China's Imperial Past*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Hughes, Jonathan R. T. 1986. *The Vital Few*. 2d ed. New York: Oxford University Press.
- Hughes, J. Donald. 1975. *Ecology in Ancient Civilizations*. Albuquerque: University of New Mexico Press.
- Hughes, Thomas P. 1983. *Networks of Power Electrification in Western Society, 1880–1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Hughes, Thomas P. 1987. «The Evolution of Large Technological Systems». In *The Social Construction of Technological Systems*, edited by Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, and Trevor J. Pinch, 51–82. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hull, David L. 1988a. «A Mechanism and its Metaphysics: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science». *Biology and Philosophy* 3: 123–55.
- Hull, David L. 1988b. *Science as a Process*. Chicago: University of Chicago Press.
- Hull, David L. 1988c. «Progress in Ideas of Progress». In *Evolutionary Progress*, edited by Matthew Nitecki, 27–48. Chicago: University of Chicago Press.
- Hunter, Dard. 1930. *Papermaking through Eighteen Centuries*. New York: William Edwin Rudge.
- Hyde, Charles. 1977. *Technological Change and the British Iron Industry*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Jacob, Margaret C. 1988. *The Cultural Meaning of the Scientific Revolution*. New York: Alfred A. Knopf.

- Jewkes, J., Sawers, D., and R. Stillerman. 1969. *The Sources of Invention*. 2d ed. New York: Norton.
- Jones, Eric L. 1981. *The European Miracle*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jones, Eric L. 1988. *Growth Recurring: Economic Change in World History*. Oxford: The Clarendon Press.
- Jones, Eric L. 1989. «The Real Question about China: Why Was the Song Economic Achievement Not Repeated». Unpublished working paper, Latrobe University.
- Jones, Stephen R. G. 1984. *The Economics of Conformism*. Oxford: Basil Blackwell.
- Jope, E. M. 1956a. «Vehicles and Harness». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 537–62. New York and London: Oxford University Press.
- Jope, E. M. 1956b. «Agricultural Implements». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 81–102. New York and London: Oxford University Press.
- Kahn, Arthur D). 1970. «Creek Tragedians and Science and Technology». *Technology and Culture* 11 (April): 133–62.
- Kamien, Morton I., and Schwartz, Nancy L. 1982. *Market Structure and Innovation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kanefsky, J., and J. Robey. 1980. «Steam Engines in Eighteenth Century Britain: A Quantitative Assessment». *Technology and Culture* 21 (April): 161–86.
- Kaufers, Erich. 1989. *The Economics of the Patent System*. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers.
- Klemm, Friedrich 1964. *A History of Western Technology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Krantz, John C. 1974. *Historical Medical Classics Involving New Drugs*. Baltimore: Williams and Wilkins.
- Kreutz, Barbara M. 1973. «Mediterranean Contributions to the Medieval Mariner's Compass». *Technology and Culture* 14 (July): 367–83.
- Kuhn, Dieter. 1988. *Textile Technology: Spinning and Reeling*. In *Science and Civilization in China*, Vol. 6, part 2, edited by Joseph Needham. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuhn, Thomas S. 1969. «Comment on Folke Dovring». *Comparative Studies in Society and History* 11 (October): 426–30.
- Kuhn, Thomas S. 1977. *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuran, Timur. 1988. «The Tenacious Past: Theories of Personal and Collective Conservatism». *Journal of Economic Behavior and Organization* 10: 143–71.

- Lach, Donald F. 1977. *Asia in the Making of Europe*. Vol. 2, *A Century of Wonder*. Chicago: University of Chicago Press.
- Landels, J. G. 1978. *Engineering in the Ancient World*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Landes, David. 1969. *The Unbound Prometheus*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Landes, David. 1983. *Revolution in Time*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Landes, David. 1986. «What Do Bosses Really Do?» *Journal of Economic History* 46 (September): 585–623.
- Landström, Björn. 1961. *The Ship*. Garden City, NY: Double-day.
- Lane, Frederic C. 1963. «The Economic Meaning of the Compass». *American Historical Review* 68 (April): 605–17.
- Langdon, John. 1986. *Horses, Oxen, and Technological Innovation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Langrish, J. et al. 1972. *Wealth from Knowledge: Studies of Innovation in Industry*. London: Macmillan.
- Laszlo, Ervin. *Evolution: The Grand Synthesis*. Boston: New Science Library.
- Lazonick, William. 1979. «Industrial Relations and Technical Change: the Case of the Self-acting Mule». *Cambridge journal of Economics* 3: 231–62.
- Lazonick, William. 1981. «Production Relations, Labor Productivity, and Choice of Technique: British and U. S. Spinning». *Journal of Economic History* 41 (September): 491–516.
- Lazonick, William. 1986. «The Cotton Industry». In *The Decline of the British Economy*, edited by Bernard Elbaum and William Lazonick, 18–50. Oxford: The Clarendon Press.
- Lazonick, William. 1987. «Theory and History in Marxian Economics». In *The Euiure of Economic History*, edited by Alexander J. Field, 255–312. Boston: Kluwer-Nijhoff.
- Lee, Desmond. 1973. «Science, Philosophy, and Technology in the Greco-Roman World». *Greece and Rome* 2d ser., 20 (April): 65–78 and (October): 180–93.
- LeGoff, Jacques. 1980. *Time, Work, and Culture in the Middle Ages*. Chicago: University of Chicago Press.
- Leighton, Albert C. 1972. *Transport and Communication in Early Medieval Europe*. New York: Barnes and Noble.
- Lethbridge, T. C. 1956. «Shipbuilding». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 563–88. New York and London: Oxford University Press.
- Lewontin, Richard C. 1974. *The Genetic Basis of Evolutionary Change*. New York: Columbia University Press.

- Lewontin, Richard C. 1982. *Human Diversity*. New York: Scientific American Books.
- Lewis, Bernard. 1982. *The Muslim Discovery of Europe*. New York: W. W. Norton.
- Lilley, S. 1965. *Men, Machines, and History*. New York: International Publishers.
- Lindert, Peter H., and Trace, Keith. 1971. «Yardsticks for Victorian Entrepreneurs». In *Essays on a Mature Economy: Britain After 1840*, edited by Donald N. McCloskey, 239–74. London: Methuen.
- Machabey, Armand. 1969. «Techniques of Measurement». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 2, *The First Stages of Mechanization, 1450–1725*, edited by Maurice Daumas, 306–343. New York: Crown.
- MacLeod, Christine. 1988. *Inventing the Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MacMullen, Ramsay. 1988. *Corruption and the Decline of Rome*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Mann, Julia De L. 1958. «The Textile Industry: Machinery for Cotton, Flax, Wool, 1760–1900». In *A History of Technology*, Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 277–307. New York and London: Oxford University Press.
- Mantoux, Paul. [1905] 1961. *The Industrial Revolution in the Eighteenth Century*. New York: Harper and Row.
- Manuel F. 1938. «The Luddite Movement in France». *Journal of Modern History* 10: 180–211.
- Marshall, Alfred. 1919. *Industry and Trade*. London: Macmillan.
- Marshall, Alfred. [1890] 1930. *Principles of Economics*. London: Macmillan.
- Matthews, Derek. 1987. «The Technical Transformation of the Late Nineteenth Century Gas Industry». *Journal of Economic History* 48 (December): 967–80.
- Maynard Smith, John. 1972. *On Evolution*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Maynard Smith, John. 1988. *Did Darwin Get it Right?* New York: Chapman and Hall.
- Mayr, Ernst. 1970. *Population, Species, and Evolution*. Cambridge, MA: Belknap.
- Mayr, Ernst. 1988. *Toward a New Philosophy of Biology*. Cambridge, MA: Belknap.
- Mayr, Otto. 1976. «The Science-Technology Relationship as a Historiographical Problem». *Technology and Culture* 17 (October): 663–72.
- McCloskey, Donald N. 1981. «The industrial Revolution 1780–1860: A Survey». In *The Economic History of Britain Since 1700*, Vol. 1, edited by Roderick Floud and Donald N. McCloskey, 103–27.
- McCloy, Shelby T. 1952. *French Inventions of the Eighteenth Century*. Lexington, KY: University of Kentucky Press.

- McLaughlin, Charles C. 1967. «The Stanley Steamer: a Study in Unsuccessful Innovation». In *Explorations in Enterprise*, edited by Hugh G. J. Aitken, 259–72. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- McNeill, W. H. 1982. *The Pursuit of Power*. Chicago; University of Chicago Press.
- Merton, Robert K. [1938] 1970. *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England*. Reprint ed. New York: Fertig.
- Merton, Robert K. 1973. *The Sociology of Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Metzger, Thomas. 1979. “On the Historical Roots of Economic Modernization in China: The Increasing Differentiation of the Economy from the Polity During Late Ming and Early («hing Times»». In *Modern Chinese Economic History*, edited by C. Hou and T. Yu, 3–14. Taipei: Institute of Economics, Academia Sinica.
- Miller, Harry. 1980. «Potash from Wood Ashes: Frontier Technology in Canada and the U.S». *Technology and Culture* 21 (April): 187–208.
- Minchinton, W. E. 1979. «Early Tide Mills: Some Problems». *Technology and Culture* 20 (October): 777–86.
- Mokyr, Joel, ed. 1985. *The Economics of the Industrial Revolution*. Totowa, NJ: Rowman and Allanheld.
- Mokyr, Joel. 1991. «Was There a British Industrial Evolution?» in *Research In Economic History, Supplement IV*, Joel Mokyr: *The Vital One: Essays Presented to Jonathan R. T. Hughes*, 253–286. Greenwich, CT: JAI Press.
- Mokyr, Joel. 1990b. *Twenty Ewe Centuries of Technological Change: An Historical Survey*. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers.
- Molenda, Danuta. 1988. «Technological Innovation in Central Europe between the XIVth and the XVIIth Centuries». *Journal of European Economic History* 17: 63–84.
- Morison, Elting E. 1966. *Men, Machines, and Modern Times*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Morris, T. N. 1958. «Management and Preservation of Food». In *A History of Technology*. Vol. 5, *The Late Nineteenth Century*, edited by Charles Singer et al., 26–52. New York and London: Oxford University Press.
- Mowery, David. 1986. «Industrial Research, 1900–1950». In *The Decline of the British Economy*, edited by Bernard Elbaum and William Lazouick, 189–222. Oxford: The Clarendon Press.
- Multhauf, Robert P. 1967. «Industrial Chemistry in the Nineteenth Century». In *Technology in Western Civilization*, Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 468–88. New York: Oxford University Press.
- Multhauf, Robert P. 1971. «The French Crash Program for Saltpeter Production, 1776–94». *Technology and Culture* 12 (April): 163–81.
- Mumford, Lewis. [1934] 1963. *Technics and Civilization*. New York: Harcourt, Brace & World.

- Munro, John. 1988. «Textile Technology». In *Dictionary of the Middle Ages*, Vol. 11, edited by Joseph R. Strayer, 693–711. New York: Scribner.
- Musson, A. E. 1972. *Science, Technology and Economic Growth in the Eighteenth Century*. London: Methuen.
- Musson, A. E. 1975a. «Joseph Whitworth and the Growth of Mass-Production Engineering». *Business History* 17 (July): 109–49.
- Musson, A. E. 1975b. «Continental Influences on the Industrial Revolution in Great Britain». In *Great Britain and Her World: Essays in Honor of W. O. Henderson*, edited by Barrie M. Ratcliffe, 71–85. Manchester: Manchester University Press.
- Musson, A. E. 1981. «British Origins». In *Yankee Enterprise: The Rise of the American System of Manufactures*, edited by Otto Mayr and Robert C. Post, 25–48. Washington, DC: The Smithsonian Institution.
- Musson, A. E., and Robinson, Eric. 1969. *Science and Technology in the Industrial Revolution*. Manchester: Manchester University Press.
- Naish, George. 1958. «Ship-Building». In *A History of Technology*. Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 574–95. New York and London: Oxford University Press.
- Needham, Joseph. 1959. *Mathematics and the Sciences of Heaven*. In *Science and Civilization in China*, Vol. 3, edited by Joseph Needham. Cambridge: Cambridge University Press.
- Needham, Joseph. 1964. *The Development of Iron and Steel Technology in China*. Cambridge: W. Heffer.
- Needham, Joseph. 1965. *Physical and Physical Technology: Mechanical Engineering*. In *Science and Civilization in China*, Vol. 4, part 2, edited by Joseph Needham. Cambridge: Cambridge University Press.
- Needham, Joseph. 1969. *The Grand Titration*. Toronto: University of Toronto Press.
- Needham, Joseph. 1970. *Clerks and Craftsmen in China and the West*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Needham, Joseph. 1975. «History and Human Values: A Chinese Perspective for World Science and Technology». Occasional Papers, Centre for East Asian Studies, McGill University, Montreal.
- Needham, Joseph. 1981. *Science in Traditional China*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Nef, John U. 1950. *War and Human Progress*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Nef, John U. 1957. «Coal Mining and Utilization». In *A History of Technology*. Vol. 3: *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 72–88. New York and London: Oxford University Press.
- Nef, John U. 1964. *The Conquest of the Material World*. Chicago: University of Chicago Press.

- Nelson, Richard R. 1987. *Understanding Technical Change as an Evolutionary Process*. Amsterdam: North Holland.
- Nelson, Richard R., and Winter, Sidney. 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Belknap.
- North, Douglass C. 1981. *Structure and Change in Economic History*. New York: W. W. Norton.
- North, Douglass C. 1984. «Government and the Cost of Exchange in History». *Journal of Economic History* 44 (June): 255–64.
- North, Douglass C., and Thomas, Robert P. 1973. *The Rise of the Western World*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nye, John V. (1991). «Lucky Fools and Cautious Businessmen: Entrepreneurship and the Measurement of Entrepreneurial Failure». In *Research In Economic History, Supplement IV*, Joel Mokyr: *The Vital One: Essays Presented to Jonathan R. T. Hughes*, 131–152. Greenwich, CT: JAI Press.
- Oleson, John Peter. 1984. *Greek and Roman Mechanical Water-Lifting Devices: The History of a Technology*. Toronto: University of Toronto Press.
- Olnstead, Alan. 1975. «The Mechanization of Reaping and Mowing in American Agriculture, 1833–1870». *Journal of Economic History* 30 (June): 327–52.
- Olson, Mancur. 1982. *The Rise and Decline of Nations*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Ovitt, George, Jr. 1986. «The Cultural Context of Western Technology: Early Christian Attitudes Toward Manual Labor». *Technology and Culture* 27 (July): 477–500.
- Ovitt, George, Jr. 1987. *The Restoration of Perfection: Labor and Technology in Medieval Culture*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.
- Pacey, Arnold. 1975. *The Maze of Ingenuity: Ideas and Idealism in the Development of Technology*. New York: Holmes and Meier.
- Pacey, Arnold. 1986. *The Culture of Technology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Parker, William. 1984. *Europe, America, and the Wider World*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Parry, J. H. 1974. *The Discovery of the Sea*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Passer, Harold. C. 1953. *The Electrical Manufacturers, 1875–1900*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Patterson, R. 1956. «Spinning and Weaving». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 191–220. New York and London: Oxford University Press.
- Patterson, R. 1957. «Spinning and Weaving». In *A History of Technology*. Vol. 3, *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 151–180. New York and London: Oxford University Press.

- Paulinyi, Akos. 1986. «Revolution and Technology». In *Revolution in History*, edited by Roy Porter and Mikulas Teich. Cambridge: Cambridge University Press.
- Payen, Jacques, and Jean Pilisi. 1979. «Weaving and Mechanical Finishing». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 3, *The Expansion of Mechanization, 1725–1860*, edited by Maurice Dumas, 599–618. New York: Crown.
- Perkin, H. J. 1969. *The Origins of Modern English Society, 1780–1880*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Perkins, Dwight H. 1967. «Government as an Obstacle to Industrialization: The Case of Nineteenth Century China». *Journal of Economic History* 27 (December): 478–92.
- Perkins, Dwight H. 1969. *Agricultural Development in China, 1368–1968*. Chicago: Aldine.
- Persson, Karl Gunnar. 1988. *Pre-industrial Growth: Social Organization and Technological Progress in Europe*. Oxford: Basil Blackwell.
- Pinch, Trevor J. and Bijker, Wiebe, E. «The Social Construction of Facts and Artifacts, or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other». In *The Social Construction of Technological Systems*, edited by Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, and Trevor J. Pinch, 17–50. Cambridge, MA: MIT Press.
- Pleket, H. W. 1967. «Technology and Society in the Graeco-Roman World». *Acta Historiae Neerlandica* 2: 1–25.
- Pounds, Norman J. G., and Parker, William. 1957. *Coal and Steel in Western Europe*. London: Faber and Faber.
- Price, Derek J. de Solía. 1957. «Precision Instruments to 1500». In *A History of Technology*. Vol. 3: *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 582–619. New York and London: Oxford University Press.
- Price, Derek J. de Sollá. 1975. *Science Since Babylon*. 2d ed., rev. and enl. New Haven, CT: Yale University Press.
- Rae, John. 1967a. «The Invention of Invention». In *Technology in Western Civilization*. Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 325–336. New York: Oxford University Press.
- Rae, John. 1967b. «Energy Conversion». In *Technology in Western Civilization*, Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 336–49. New York: Oxford University Press.
- Rae, John. 1967c. «The Internal Combustion Engine on Wheels» in *Technology in Western Civilization*, Vol. 2, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 119–37. New York: Oxford University Press.
- Ramelli, Agostino. [1588] 1976. *The Various and Ingenious Machines of Agostino Ramelli*. Translated by Martha Teach Gnudi, annotated by Eugene S. Ferguson, New York: Dover Publications.
- Randall, Adrian J. 1986. «The Philosophy of Luddism: The Case of the West

- of England Workers, ca. 1790–1809». *Technology and Culture* 27 (January): 1-18.
- Reti, Ladislao. 1970. «The Double-Acting Principle in East and West». *Technology and Culture* 11 (April) 178–200.
- Reynolds, Terry S. 1979. «Scientific Influences on Technology: The Case of the Overshot Waterwheel, 1752–54». *Technology and Culture* 20 (April): 270–95.
- Reynolds, Terry S. 1983. *Stronger than a Hundred Men: A History of the Vertical Water Wheel*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Robinson, Eric. 1972. «James Watt and the Law of Patents». *Technology and Culture* 13 (April) 115–39.
- Ronan, Colin A., and Needham, Joseph. 1986. *The Shorter Science and Civilization in China*. Vol. 3, Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenberg, Nathan, ed. 1969. *The American System of Manufactures: The Report of the Committee on the Machinery of the United States, 1855*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Rosenberg, Nathan 1976. *Perspectives on Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenberg, Nathan. 1982. *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenberg, Nathan, and Birdzell, L. E. 1986. *How the West Grew Rich: The Economic Transformation of the Industrial World*. New York: Basic Books.
- Rosenberg, Nathan, and Vincenti, Walter G. 1978. *The Britannia Bridge: The Generation and Diffusion of Technological Knowledge*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rostoker, William, Bronson, Bennett, and Dvorak, James. «The Cast-iron Bells of China». *Technology and Culture* 25 (October): 750–67.
- Rostow, W. W. 1975. *How it All Began*. New York: McGraw-Hill.
- Rothstein, Natalie. 1977. «The Introduction of the Jacquard Loom to Great Britain». In *Studies in Textile History*, edited by Veronika Gervers, 281–90. Toronto: Royal Ontario Museum.
- Ruse, Michael. 1986. *Taking Darwin Seriously*. Oxford: Basil Blackwell.
- Ruse, Michael. 1988. «Molecules to Men: Evolutionary Biology and Thoughts of Progress». In *Evolutionary Progress*, edited by Matthew Nitecki, 97–126. Chicago: University of Chicago Press.
- Ruttan, Vernon. 1971. «Usher and Schumpeter on Invention, Innovation and Technological Change». In *The Economics of Technological Change*, edited by Nathan Rosenberg, 73–85. Hannonds worth, England: Penguin Books.
- Sabel, Charles, and Zeitlin, Jonathan. 1985. «Historical Alternatives to Mass Production: Politics, Markets, and Technology in Nineteenth-Century Industrialization». *Past and Present* 108 (August): 133–76.
- Sahal, Devendra. 1981. *Patterns of Technological Innovation*. Reading, MA: Addison Wesley.

- Samuel, Raphael. 1977. «Workshop of the World: Steampower and Hand Technology in mid-Victorian Britain». *History Workshop* 3 (Spring): 6–72.
- Sandberg, L. G. 1974. *Lancashire in Decline*. Columbus, OH: Ohio State University Press.
- Schelling, Thomas. 1978. *Micromotives and Macrobehavior*. New York: Norton.
- Scherer, F. Michael. 1980. *Industrial Market Structure and Economic Performance*. Chicago: Rand-McNally.
- Scherer, F. Michael. 1984. *Innovation and Growth*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Schiff, Eric. 1971. *Industrialization without National Patent*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Schivelbuseh, Wolfgang. 1988. *Disenchanted Night: The Industrialization of Light in the Nineteenth Century*. Translated by Angela Davies. Berkeley, CA: University of California Press.
- Schmiechen, James A. 1984. *Sweated Industries and Sweated Labor*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Schubert, H. R. 1958. «Extraction and Production of Metals: Iron and Steel». In *A History of Technology*. Vol. 4, *The Industrial Revolution, 1750–1850*, edited by Charles Singer et al., 99–117. New York and London: Oxford University Press.
- Schumpeter, Joseph A. 1934. *The Theory of Capitalist Development*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schumpeter, Joseph A. 1939. *Business Cycles*. New York: McGraw-Hill.
- Schumpeter, Joseph A. 1950. *Capitalism, Socialism and Democracy*. 3d edition. New York: Harper & Row.
- Scott, Joan W. 1974. *The Glassworkers of Carmaux*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Scoville, Warren C. 1950. *Capitalism and French Glassmaking*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Sewell, William H. 1980. *Work and Revolution in Fiancee*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shang, Hung-k'uei. 1981. «The Process of Economic Recovery, Stabilization, and its Accomplishments in the Early Ch'ing, 1681–1735». *Chinese Studies in History* 14: 20–61.
- Sharlin, Harold I. 1967a. «Applications of Electricity». In *Technology in Western Civilization*. Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 563–78. New York: Oxford University Press.
- Sharlin, Harold I. 1967b. «Electrical Generation and Iransmission». In *Technology in Western Civilization*. Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 578–91. New York: Oxford University Press.
- Shorter, Edward, and Tilly, Charles. 1974. *Strikes in France, 1830–1968*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Simon, Julian. 1977. *The Economics of Population Growth*. Princeton, N): Princeton University Press.

- Simon, J. 1983. «The Effects of Population on Nutrition and Economic Well-Being». In *Hunger and History: The Impact of Changing Food Production and Consumption Patterns on Society*, edited by R. I. Rotberg and T. K. Rabb, 215–40. Cambridge: Cambridge University Press.
- Simpson, George Gaylord. 1967. *The Meaning of Evolution*. 2nd revised edition. New Haven, CT: Yale University Press.
- Singer, Charles. 1957. «Epilogue: East and West in Retrospect». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 753–776. New York and London: Oxford University Press.
- Smith, Adam. [1776] 1976. *The Wealth of Nations*. Cannan ed. Chicago: University of Chicago Press.
- Smith, Cyril Stanley. 1967a. «Metallurgy in the Seventeenth and Eighteenth Century». In *Technology in Western Civilization*. Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 142–67. New York: Oxford University Press.
- Smith, Cyril Stanley. 1967b. «Mining and Metallurgical Production». In *Technology in Western Civilization*, Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., 349–66. New York: Oxford University Press.
- Smith, Cyril Stanley, 1967c. «Metallurgy: Science and Practice before 1900». In *Technology in Western Civilization*. Vol. 1, edited by Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., pp. 592–602. New York: Oxford University Press.
- Smith, Cyril Stanley. 1981. *A Search for Structure*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Smith, Cyril Stanley, and Forbes, R. J. 1957. «Metallurgy and Assaying». In *A History of Technology*, Vol. 3, *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 27–71. New York and London: Oxford University Press.
- Smith, Merritt Roe. 1977. *Harpers Ferry Armory and the New Technology*. Ithaca, NY: Cornell.
- Smith, Norman A. F. 1977. «The Origins of the Water Turbine and the Invention of its Name». *History of Technology* 2: 215–59.
- Sokoloff, Kenneth, 1988. «Inventive Activity in Early Industrial America: Evidence from Patent Records, 1790–1846». *Journal of Economic History* 48 (December): 813–50.
- Spengler, Oswald. 1932. *Man and Technics*. London: Allen and Unwin.
- Spruytte, J. 1977. *Etudes Experimentales sur l'Attelage*. Paris: Crépin-Leblond.
- Stanley, Steven M. 1981. *The New Evolutionary Timetable*. New York: Basic Books.
- Stern, Bernard J. 1937. «Resistances to the Adoption of Technological Innovations». In *Technological Trends and National Policy*. Washington, D.C.: United States Government Printing Office.
- Stevenson, John. 1979. *Popular Disturbances in England, 1700–1870*. New York: Longman.

- Strayer, Joseph R. 1980. «Review of Lynn White, *Medieval Religion and Technology*». *Technology and Culture* 21 (January): 82–85.
- Sullivan, Richard. 1989. «England's 'Age of Invention': The Acceleration of Patents and Patentable Invention during the Industrial Revolution». *Explorations in Economic History* 26 (October): 424–52.
- Swetz, Frank J. 1987. *Capitalism and Arithmetic: The New Math of the 15th Century*. La Salle, IL: Open Court.
- Szostak, Richard. 1986. «The Role of Transportation in the English Industrial Revolution». Unpublished manuscript, University of Alberta, Edmonton, Canada.
- Tang, Anthony M. 1979. «China's Agricultural Legacy». *Economic Development and Cultural Change* 28 (October): 1–22.
- Taylor, E. G. R. 1957. *The Haven-Finding Art: A History of Navigation from Odysseus to Captain Cook*. New York: Aberlard-Schuman.
- Taylor, F. Sherwood, and Singer, Charles. 1956. «Pre-Scientific Industrial Chemistry». In *A History of Technology*. Vol. 2, *The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages, 700 B.C. to A.D. 1500*, edited by Charles Singer et al., 347–73. New York and London: Oxford University Press.
- Temin, Peter. 1964. *Iron and Steel in Nineteenth Century America*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Thirtle, Colin G., and Ruttan, Vernon W. 1987. *The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change*. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers.
- Thomson, Ross. 1984. «The Eco-technic Process and the Development of the Sewing Machine». In *Technique, Spirit and Form in the Making of the Modern Economies: Essays in Honor of William N. Parker*, edited by Gary Saxonhouse and Gavin Wright, 243–69. Greenwich, CT: JAI Press.
- Toulmin, Stephen E. 1967. «The Evolutionary Development of Natural Science». *American Scientist* 55 (December): 456–71.
- Trescott, Martha M. 1979. «Julia B. Hall and Aluminum». In *Dynamos and Virgins Revisited: Women and Technological Change in History*, edited by Martha M. Trescott. 149–79. Metuchen, NJ: Scarecrow Press.
- Tsuen-Hsui, Tsien. 1982. «Why Paper and Printing were Invented First in China and Used Later in Europe». In *Explorations in the History of Science and Technology in China*, edited by Li Guohao, Zhang Mengwen, and Cao Tianqin, 459–70. Shanghai: Chinese Classics Publishing House.
- Tsuen-Hsui, Tsien. 1985. *Paper and Printing*. In *Science and Civilization in China*. Vol. 5, part 1, edited by Joseph Needham. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tweeddale, Geoffrey. 1986. «Metallurgy and Technological Change: A Case Study of Sheffield Specialty Steel». *Technology and Culture* 27 (April): 189–226.

- Tylecote, R. F. 1976. *A History of Metallurgy*. London: The Metals Society.
- Unger, Richard. 1978. *Dutch Shipbuilding Before 1800*. Assen, The Netherlands: Van Gorcum.
- Unger, Richard. 1980. *The Ship in the Medieval Economy, 600–1600*. London: Groom Helm.
- Unger, Richard. 1981. «Warships and Gargo Ships in Medieval Europe». *Technology and Culture* 22 (April): 233–52.
- Usher, Abbott P. 1920. *An Introduction to the Industrial History of England*. Boston: Houghton Mifflin.
- Usher, Abbott P. 1954. *A History of Mechanical Inventions*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Usher, Abbott P. 1955. «Technical Change and Capital Formation». In *Capital Formation and Economic Growth*. National Bureau of Economic Research. Reprinted in *The Economics of Technological Change*, edited by Nathan Rosenberg. Harmondsworth, England: Penguin Books.
- Usher, Abbott P. 1957. «Machines and Mechanisms». In *A History of Technology*. Vol. 3, *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 324–46. New York and London: Oxford University Press.
- Van Crefeld, Martin. 1989. *Technology and War*. New York: Free Press.
- Veblen, Thorstein. 1914. *The Instinct of Workmanship*. New York: Macmillan.
- Vitruvius, Marcus. 1962. *On Architecture*. Edited and translated by Frank Granger. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Volti, Rudi. 1988. *Society and Technological Change*. New York: St. Martin's Press.
- Von Tunzelmann, G. N. 1978. *Steam Power and British Industrialization to 1860*. Oxford: Oxford University Press.
- Von Tunzelmann, G. N. 1981. «Technical Progress during the Industrial Revolution». In *The Economic History of Britain Since 1700*. Vol. 1, edited by Roderick Floud and Donald N. McCloskey, 143–63.
- Wadsworth, Alfred P., and Mann, Julia De Lacy. *The Cotton Trade and Industrial Lancashire*. Manchester: Manchester University Press.
- Wailes, Bernard. 1972. «Plow and Population in Temperate Europe». In *Population Growth: Anthropological Implications*, edited by Brian Spooner, 154–79. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wailes, Rex. 1957. «Windmills». In *A History of Technology*. Vol. 3, *From the Renaissance to the Industrial Revolution, 1500–1750*, edited by Charles Singer et al., 89–109. New York and London: Oxford University Press.
- Watson, Andrew M. 1983. *Agricultural Innovation in the Early Islamic World*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wells, F. A. 1958. «Hosiery and Lace». In *A History of Technology*. Vol. 5, *The Late Nineteenth Century*, edited by Charles Singer et al., 595–604. New York and London: Oxford University Press.

- White, K. D. 1967. «Gallo-Roman Harvesting Machines». *Latomus: Revue d'études Latines* 16: 634-47.
- White, K. D. 1969. «The Economics of the Gallo-Roman Harvesting Machines». In *Hommages à Marcel Renard*, Brussels: Collection Latomus. 102: 804-809.
- White, K. D. 1975. *Farm Equipment of the Roman World*. Cambridge: Cambridge University Press.
- White, K. D., ed. 1977. *Country Life in Classical Times*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- White, K. D. 1984. *Greek and Roman Technology*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- White, Lynn. 1962. *Medieval Technology and Social Change*. Oxford: Oxford University Press.
- White, Lynn. 1968. *Dynamo and Virgin Reconsidered*. Cambridge, MA: MIT Press.
- White, Lynn. 1972. «The Expansion of Technology, 500-1500». In *The Fontana Economic History of Europe*. Vol. 1, *The Middle Ages*, edited by Carlo M. Cipolla, 143-74. London: Collins.
- White, Lynn. 1978. *Medieval Religion and Technology*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Wiet, G. 1969. «The Moslem World, Seventh to Thirteenth Century». In *A History of Technology and Invention*. Vol. 1, *The Origins of Technological Civilization*, edited by Maurice Daumas, 336-72. New York: Crown.
- Wikander, Orjan. 1985. «Archaeological Evidence for Early Water-Mills: an Interim Report». *History of Technology* 10: 151-79.
- Wilkinson, Norman B. 1963. «Brandywine Borrowings From European Technology». *Technology and Culture* 4 (Winter): 1-13.
- Wilkinson, Richard G. 1973. *Poverty and Progress: An Ecological Perspective on Economic Development*. New York: Praeger.
- Williams, Martha W. 1988. «Infant Nutrition and Economic Growth in Western Europe from the Middle Ages to the Modern Period». Unpublished Ph.D. dissertation, Northwestern University.
- Williams, Trevor I. 1958. «Heavy Chemicals». In *A History of Technology*. Vol. 5, *The Late Nineteenth Century*, edited by Charles Singer et al., 235-56. New York and London: Oxford University Press.
- Wittfogel, Karl A. 1957. *Oriental Despotism: A Comparative Study of Total Power*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Woodbury, Robert S. 1972. *Studies in the History of Machine Tools*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Woodforde, John. 1970. *The Story of the Bicycle*. New York: Universe Books.
- Woronoff, Denis. 1984. *L'industrie Sidérurgique en France Pendant la Révolution et l'Empire*. Paris: Ecole de Hautes Etudes en Sciences Sociales.

- Wright, Gavin. 1987. «Labor History and Labor Economics». In *The Future of Economic History*, edited by Alexander J. Field, 313–48. Boston: Kluwer-Nijhoff.
- Wrigley, E. A. 1987. *People, Cities and Wealth*. Oxford: Basil Blackwell.
- Wrigley, Julia. 1986. «Technical Education and Industry in the Nineteenth Century». In *The Decline of the British Economy*, edited by Bernard Elbaum and William Lazonick, 162–88. Oxford: The Clarendon Press.
- Wyatt, Geoffrey. 1986. *The Economics of Invention: A Study of the Determinants of Inventive Activity*. New York: St. Martin's Press.
- Young, Allyn, 1928. «Increasing Returns and Economic Progress». *Economic Journal* 38 (December): 527–42.

Научное издание

Джоэль Мокир

РЫЧАГ БОГАТСТВА

Технологическая креативность
и экономический прогресс

Главный редактор издательства ВАЛЕРИЙ АНАШВИЛИ
Научный редактор издательства АРТЕМ СМИРНОВ
Выпускающий редактор ЕЛЕНА ПОПОВА
Корректор ОЛЬГА ЧЕРКАСОВА
Художник ЕВГЕНИЯ СПАССКАЯ
Верстка СЕРГЕЯ ЗИНОВЬЕВА

Издательство Института Гайдара
125993, Москва, Газетный пер., д. 3–5, стр. 1



Подписано в печать 12.08.14.

Тираж 3000 экз.: первый завод 2000 экз.

Формат 60×90/16.

Отпечатано в филиале «Чеховский печатный двор»

ОАО «Первая образцовая типография»

www.chpd.ru. Факс (496) 726-54-10, (495) 988-63-87

142300, Московская обл., г. Чехов,

ул. Полиграфистов, 1