

## Глава 6

# Динамика общественного богатства

Человек живёт в окружении, которое сам сконструировал по своим потребностям. Человек строит жилища, в которые поступает тепло и вода, производит одежду и пищу. Всё это, в том числе и нематериальные ценности (системы знаний, организационные конструкции, этические правила, произведения искусства, ... ), представляет общественное богатство, которое может быть учтено в условных денежных единицах и обозначено символом  $W$ . В этой главе рассматриваются законы производства и накопления общественного богатства.

### 6.1 Общественное богатство

Общественное богатство включает все достижения популяции и состоит из очень разнообразных вещей и объектов, как материальных, так и нематериальных, которые можно измерять в естественных единицах: тоннах, метрах, штуках и так далее и описывать перечислением. Но было выработано и используется понятие о единой мере разнообразных предметов, составляющих общественное богатство - *стоимость* - фундаментальное понятие, которое заслуживает предварительного обсуждения.

### 6.1.1 Понятие стоимости

Понятие *продукта* оказывается одним из фундаментальных понятий, и может быть определено как нечто, что произведено для того, чтобы быть потреблённым. При этом не имеет значения, совпадает ли момент потребления с моментом производства, как, например, в случае транспортных услуг, или не совпадает. В последнем случае продукт существует в течение некоторого времени в его материальной или нематериальной форме.

Согласно утверждениям исследователей,<sup>1</sup> продукт можно рассматривать как единство потребительной стоимости (use-value) и стоимости производства (production-value), что позволяет продуктам участвовать в процессах обмена. В обмене, продукты противостоят друг другу, и потребительная стоимость одного продукта противостоит потребительной стоимости другого. Продукты с различными потребительными стоимостями могут быть сравнены вследствие того, что производственные стоимости всех продуктов отличаются только по количеству, но не по качеству. Таким образом, свойство, которое позволяет продуктам быть сравненными и обмененными, является их *меновая стоимость* или просто *стоимость*. Стоимость - это атрибут продукта, также как масса - атрибут материи.

Полагают, что продукты обмениваются в среднем по их стоимостям. Это – аксиома, которая дает относительную меру стоимости, позволяет приписывать определенную величину стоимости продуктам и оценивать стоимость набора продуктов. Стоимость измеряется в условных денежных

---

<sup>1</sup>Ещё Аристотель, анализируя обмен различных вещей, писал (Aristotle, about 350 В.С.Е, книга 5, секция 5) "... все вещи, которые обмениваются, должны быть, так или иначе, сопоставимы". Маркс (Маркс, 1960, р. 14) писал: "..., когда товары обмениваются, их меновая стоимость проявляется как нечто полностью независимое от их потребительной стоимости. Но если мы абстрагируемся от их потребительной стоимости, то остается их стоимость как определено выше. Поэтому, общее свойство, которое проявляется в меновой стоимости обмениваемых товаров, всякий раз, когда они обмениваются, является их стоимость". Краткая история и анализ понятия стоимости изложены, например, А.Н. Усовым (<http://www.usoff.narod.ru/Us4.htm>). Начав с понятий потребительной и производственной стоимости, Усов показал, как следует ввести понятие стоимости, свободное от каких либо заранее приготовленных интерпретаций. Каждому, кто учился в высшем учебном заведении в СССР до 1990 года приходилось заучивать утверждение, что "стоимость это затраты труда". Однако нет никакой необходимости заранее сводить понятие стоимости к затратам труда. Факторные теории стоимости, то есть сведение стоимости к труду, капиталу и другим универсальным факторам производства рассматривается в следующем разделе.

единицах, которые устанавливаются, когда признанное средство обращения (деньги) вводится в экономическую систему. Благодаря всеобщему обмену с помощью денег, могут быть оценены все продукты, что рассматривают как оценку их *стоимости* в произвольных денежных единицах (рубль, доллар, фунт стерлингов, евро *и так далее*). Можно оценить, например, множество услуг и предметов потребления, произведенных нацией в течение года. Это количество называют *валовым внутренним продуктом (ВВП)*.

Понятие стоимости в экономических науках оказывается столь же важным, как понятия энергии и энтропии в физических науках, и саму теоретическую науку о функционировании и развитии народного хозяйства, которую можно назвать *экономодинамикой*, следует определить как науку, которая исследует процессы появления, движения и исчезновения стоимости, мало интересуясь ее материальным носителем.<sup>2</sup> Рассмотрение потоков стоимости (в произвольных денежных единицах) в народном хозяйстве позволяет создать общие описательные схемы производства и потребления продуктов (Vlaug, 1997).

### 6.1.2 *Производство и балансовое соотношение*

Для создания и поддержания общественного богатства возникла и существует производственная система общества, которая состоит из многих производственных единиц: заводов, фабрик, транспортных коммуникаций, сетей энергоснабжения и много всего прочего, что создаёт всё, в чём нуждается человек. В простом, как говорят, макроэкономическом (в противопоставлении микроэкономическому подходу) приближении производственная система может быть описана, следуя Леонтьеву (Leontief, 1986), как совокупность чистых отраслей. В простейшем случае, общественная производственная система рассматривается как единая отрасль, производящая валовой внутренний продукт  $Y$ , который представляет оценку стоимости материальных и нематериальных продуктов: машин и оборудования, домов и различных сооружений, одежды и продуктов

---

<sup>2</sup>В отличие от классиков политической экономии, приверженцы современной *economics* по возможности избегают понятия стоимости - они предпочитают говорить о ценах, и сама наука *economics* определяется как "... the study of how societies use scarce resources to produce valuable commodities and distribute them among different groups" ("... исследование того, как общества используют ограниченные ресурсы, чтобы производить ценные предметы потребления и распределять их среди различных групп") (Samuelson и Nordhaus, 1989, p 5). Но многие исследователи полагают, что в основании экономических наук следует рассматривать понятие стоимости.

для обеспечения жизнедеятельности. Учёт всех продуктов в условных денежных единицах позволяет в простейшем приближении рассматривать общественное богатство как единый продукт, обозначаемый символом  $W$ .

Производство вещей сопровождается потоками денег. Если потоки денег не могут существовать и быть рассмотрены в отрыве от реального производства, то реальное производство может быть рассмотрено без потоков денег, чем мы здесь и ограничиваемся, считая, что производство стоимости оценивается в условных единицах постоянной покупательной способности, в отличие от реальной ситуации, когда масштаб стоимости меняется при измерении, что создаёт проблемы в реальной жизни и при теоретическом рассмотрении.<sup>3</sup>

Изменение общественного богатства определяется простым балансовым уравнением

$$\frac{dW}{dt} = Y - C - \mu W. \quad (6.1)$$

Правая часть уравнения представляет разницу между результатом продуктивной деятельности членов общества за некоторую единицу времени  $Y$  (валовым внутренним продуктом) и исчезновением общественного продукта за этот же период времени, как в результате непосредственного потребления  $C$ , так и из-за старения или износа  $\mu W$ . Величина  $\mu$  является коэффициентом амортизации, принимаемым для простоты единым для всех компонент общественного богатства.

Валовой внутренний продукт представляет оценку стоимости всех вещей и услуг, произведенных обществом за единицу времени. Это является оценкой результатов деятельности общества, которые направлены, на поддержание и развитие популяции как общественной системы. По назначению эту величину можно разделить на три части. Первая часть включает продукты, которые непосредственно потребляются людьми, в количестве  $C$ , вторая – продукты, необходимые для поддержания и развития общественной производственной системы, – инвестиции  $I$  и – третья часть – некоторые накопления  $G$  в материальной и нематериальной форме, которые необходимы обществу как целому. Таким образом,

$$Y = I + G + C. \quad (6.2)$$

Три части валового внутреннего продукта равны примерно друг другу.

---

<sup>3</sup>Как писал известный финансист Lietaer (Lietaer, 2001, p.254): 'The world has been living without an international standard of value for decades, a situation which should be considered as inefficient as operating without standard of length or weight'.

Уравнением (6.1) задача об изменении богатства сводится к вопросу об описании функционирования производственной системы, что является одной из центральных проблем экономической науки. В макроэкономическом (феноменологическом) описании проблема сводится к установлению соотношения между выпуском  $Y$ , измеренным в условных денежных единицах, и некоторыми универсальными характеристиками производственных процессов – производственными факторами, относительно выбора, которых до сих пор высказываются различные мнения.

## 6.2 Вопрос об источниках богатства

Нет сомнения, что богатство создается в процессе производства, но исследователей всегда интересовал вопрос можно ли найти некий универсальный источник богатства, или, иначе говоря, источник стоимости. Иными словами, может ли меновая стоимость, обсуждаемая в предыдущем разделе, быть определена через некоторые универсальные производственные факторы. Однако до сих пор вопрос о такого рода соотношениях, которые называют факторными теориями стоимости, является предметом обсуждения.

### 6.2.1 *Трудовая теория стоимости*

Бенджамин Франклин, известный своими работами по электричеству (Капица, 1956), одним из первых сформулировал утверждение, что мерой стоимости является труд, затраченный при производстве (Franklin, 1729). Эта идея явилась центральной в политической экономии начала девятнадцатого столетия, нашла особенное развитие в трудах Адама Смита, Давида Рикардо и Карла Маркса и получила название трудовой теории стоимости. И в настоящее время не возникает разногласий по поводу того, что затраты труда (в обобщённом смысле, включая труд крестьян, рабочих и служащих)  $L$  при производстве являются важнейшим производственным фактором, то есть источником стоимости, но вопреки утверждениям Смита и Маркса, этот фактор не может рассматриваться как единственный: темп роста использования труда в производстве, как оказалось, был меньше чем темп роста продукции в развитых экономических системах, и, для объяснения явления экономического роста, другие факторы производства должны были быть добавлены в рассмотрение.

### 6.2.2 Производство стоимости в неоклассической теории

На следующем этапе развития теории в качестве источника стоимости было введено в рассмотрение количество производственного оборудования или основных производственных фондов, универсально оцениваемых их стоимостью  $K$ , которое удовлетворяет стандартному балансовому соотношению

$$\frac{dK}{dt} = I - \mu K, \quad (6.3)$$

где  $I$  есть производственные инвестиции – часть валового внутреннего продукта, которая накапливается в материальной форме производственного оборудования (см. соотношение 6.2), в то время как другая часть валового продукта идет на потребление и непроизводственное накопление. Заметим, что инвестиции – это не только и не столько деньги; инвестиции в конечном итоге должны быть материальны – это постройки, новое оборудование, новые технологии. Второе слагаемое в правой стороне уравнения (6.3) описывает уменьшение капитала из-за выбытия из службы с коэффициентом выбытия или обесценивания  $\mu$ .

В неоклассической теории экономического роста предполагают, что выпуск, или производство стоимости,  $Y$  (в денежных единицах), является функцией затрат труда  $L$ , измеренных, например, в рабочих часах за год, и основного производственного капитала  $K$ , измеренного его стоимостью. Для интерпретации эмпирических данных были предложены различные формы производственной функции, но исследователи часто используют простое представление – производственную функцию Кобба-Дугласа (Cobb and Douglas, 1928)

$$Y = Y_0 \frac{L}{L_0} \left( \frac{L_0}{L} \frac{K}{K_0} \right)^\alpha, \quad (6.4)$$

где индекс  $\alpha$  является некоторой внутренней характеристикой производственной системы. Записанное соотношение формализует предполагаемый эффект замещения труда капиталом. Хотя гипотеза замещения труда капиталом и даже само понятие капитала (стоимость производственного оборудования) сурово критиковалось (Robinson, 1954, 1956, 1971), эти понятия сохранились до сих пор в основании неоклассической теории производства, хотя для надлежащего описания эмпирических ситуаций введены понятия *трудовые услуги* и *услуги капитала*, которые несколько отличаются от понятий *труд* и *капитал* и рассматриваются как истинные источники роста (Solow, 1957; Jorgenson and Griliches, 1967; Jorgenson and Stiroh, 2000). Фактически,

эта интерпретация неявно включает некоторые неизвестные факторы производства, которые оказались объектами исследования в недавние десятилетия. С целью усовершенствования теории, при сохранении структуры неоклассического подхода, новые производственные факторы, вроде технологии, человеческого капитала, запаса знаний и другие были введены и рассмотрены (Barro and Sala-i-Martin, 1995; Aghion and Howitt, 1998).

### **6.2.3 Энергетическая теория стоимости**

С другой стороны, многие исследователи (Soddy, 1924; Costanza, 1980; Cleveland et al, 1984; Kümmel, 1982; Cleveland et al, 1998; Beaudreau, 1998; Odum, 1996; Valero, 1998; Sciubba, 2001) утверждали, что потребление энергии в производстве является универсальным фактором и должно быть включено в описание процесса производства стоимости. Более того, утверждается, что энергию следует рассматривать как единственный источник и меру стоимости, и само понятие стоимости может быть сведено к понятию энергии. Эти высказывания можно считать формулировкой энергетической теории стоимости, которая, однако, несмотря на длинную и славную историю развития, не имеет точной и законченной формулировки. Рассматривая развитие энергетической теории, Миrowsки (Mirowski, 1988, p.816) заключил, что "... энергетическая теория стоимости никогда не была развита ни с какой серьезностью или совместным усилием ни одной из групп...'

Основная проблема заключается в том, что при рассмотрении процесса создания некоторого продукта возникают трудности корректной оценки количества энергии (работы людей и машин), необходимой для создания продукта стоимостью одна денежная единица, можно сказать, оценки "энергетического содержания денежной единицы". При этом реализовались два подхода. При "широком" подходе учитываются все затраты энергии, используемой как непосредственно в производстве, так и при получении промежуточных продуктов. Этот подход представлен некоторыми общими схемами оценки естественных и искусственных потоков энергии (или exergy, или emergy), развитыми в последние годы (Odum, 1996; Valero, 1998; Sciubba, 2001). При другом, "узком" подходе учитываются только энергетическая оценка усилий людей и непосредственная (чистая) работа производственного оборудования (Beaudreau and Pokrovskii, 2010).

Оценка величины "энергетического содержания денежной единицы" при "широком" подходе зависит, очевидно, от эффективности преобразования

энергии в технологических процессах, в то время как при "узком" подходе оцениваемая величина представляет истинную работу, очищенную от несовершенств передачи энергии, и представляющую универсальную, то есть независимую от места и времени, меру стоимости.

## 6.3 Закон замещения и трудовая теория стоимости

### 6.3.1 Роль производственного оборудования

Чтобы прояснить вопрос об источниках стоимости, следует ещё раз внимательно присмотреться к производству, которое можно рассматривать как совокупность процессов преобразования вещества, для чего требуется работа.<sup>4</sup> Согласно известным представлениям о производстве, работа может быть совершена работающими людьми и/или некоторыми внешними источниками энергии (вода, ветер, уголь, нефть, и так далее). Например, чтобы размолоть зерно в муку, можно использовать или ручную мельницу, или водяную мельницу, или ветряную мельницу, или паровую мельницу. В последних случаях, работа, выполняемая руками, заменяется работой падающей воды, или ветра, или угля.

Возможно, что первый, кто написал о функциональной роли машин в производстве, был Галилео Галилей. Он понял, что все машины передают и прилагают силу, что можно рассматривать как специальные случаи принципа рычага и точки опоры. Видный историк науки и техники Дональд Кардвелл (Cardwell, 1972) писал, что Галилео в своих заметках *О движении* (1590) и *О механике* (1600) осознал, что "функцией машины является восприятие и использование, возможно лучшим способом в целях человека, сил, которые могут быть найдены в природе... критерием является сделанный объем работы – как бы он ни оценивался – а не субъективная оценка усилий, затраченных на выполнение этого" (pp. 38-39). Преимущество машин в том, что они используют дешевые источники энергии, потому что "падение воды реки стоит немного или вообще ничего".

То, что деятельность машин должна быть включена в экономическое описание производства, было ясно осознано Марксом (Marx, 1867), который описал функциональную роль машин в производственных процессах в

---

<sup>4</sup>Работу следует понимать как процесс преобразования энергии из одной формы в другую, например, из механической в тепловую форму.



Главе XIII *Машины и крупная промышленность* своего главного сочинения следующими словами:

Если мы присмотримся ближе к машине-орудию, или собственно рабочей машине, то мы

в общем и целом увидим в ней, хотя часто и в очень измененной форме, все те же аппараты и орудия, которыми работают ремесленник и мануфактурный рабочий; но это уже орудия не человека, а орудия механизма, или механические орудия (с. 384). Итак, рабочая машина - это такой механизм, который, получив соответственное движение, совершает своими орудиями те самые операции, которые раньше совершал рабочий подобными же орудиями. Исходит ли движущая сила от человека или же, в свою очередь, от машины – это ничего не изменяет в существе дела (с. 385). В качестве машин средство труда приобретает такую материальную форму существования, которая обуславливает замену человеческой силы силами природы и рутинных эмпирических приёмов – сознательным применением естествознания (с. 397). Если не считать средние ежедневные издержки машин и орудий или ту составную часть стоимости, которую они присоединяют к продукту ежедневным средним износом и потреблением вспомогательных материалов, например, масла, угля и так далее, то окажется, что они действуют даром, как силы природы, существующие без содействия человеческого труда (с. 399).

Эти примеры иллюстрируют, что как физики, так и экономисты прошлого распознали уникальную роль машин в производственных процессах, определяемую как *замещение работы человека работой машин, движимых внешними источниками энергии*, в то время как степень этой замены зависит от применяемой технологии. Важно иметь в виду, что, в то время как производственное оборудование (капитал) является необходимым фактором, работа может быть заменена только работой, или, если сказать по-другому, работа не может быть заменена капиталом.

### **6.3.2** *Обобщение трудовой теории стоимости*

Чтобы описать замещение, вводится и рассматривается (Pokrovski, 2003) новый производственный фактор – истинная работа производственного

оборудования  $P$ . Легко понять, что работа замещения влияет на величину произведённой стоимости. Действительно, можно рассмотреть деятельность двух предприятий, выпускающих идентичную продукцию. Можно полагать, что одно из предприятий использует технологию, которая требует некоторое количество труда  $L$  и замещающей работы  $P$ , а другое предприятие, производя то же самое количество того же самого продукта, использует технологию с количествами факторов производства  $L - \Delta L$  и  $P + \Delta P$ . Так как продукты, как полагаем, являются идентичными, меновые стоимости продуктов каждого предприятия на рынке равны, несмотря на различие в потреблении труда. Таким образом, стоимость не может быть определена только затратами труда, но должным образом учтённая работа природных сил должна быть принята во внимание. Чтобы произвести одно и то же количество стоимости, уменьшение в затратах труда должно быть компенсировано увеличением работы внешних источников энергии

$$-\beta \Delta L + \gamma \Delta P = 0,$$

где введены производительности  $\beta$  и  $\gamma$  соответствующих факторов производства. Таким образом, одновременно с работой человека, работа природных сил появляется как важный фактор производства. Легко видеть, что величина  $\beta/\gamma$  определяет работу внешних источников, которая необходима для того, чтобы заменить единицу усилий человека, чтобы получить эквивалентный эффект, то есть равные произведённые стоимости. Поскольку работа внешних сил, замещающих усилия человека, невозможна без дополнительного производственного оборудования, то это явление было воспринято и описано как замещение труда капиталом.<sup>5</sup>

В более общем случае, работа, выполненная людьми  $L$  и источниками производительной энергии  $P$ , создаёт набор продуктов с обменной стоимостью

---

<sup>5</sup>Для иллюстрации, ниже перечислены некоторые усилия, которые заменяются работой промышленного оборудования:

1. *Усилия по перемещению веществ и тел (включая собственные тела людей)* заменяла работа животных, ветра и паровых мобильных двигателей в прошлом. Теперь эти усилия заменяют главным образом работой самоходных машин – автомобилей, грузовиков, самолетов и других мобильных приспособлений.

2. *Усилия по преобразованию и разделению веществ и тел* – усилия в производстве одежды, инструментов, различных приборов и прочего – многие, если не все, изделия промышленности. Животные, ветер, вода и паровые машины использовались, чтобы совершать работу вместо людей в предыдущих столетиях. К середине двадцатого столетия, та же самая работа главным образом производится машинами с электроприводом.

$Y$ , так что можно написать, предполагая, что производственная система сама по себе остается неизменной, соотношение между дифференциалами величин

$$dY = \beta dL + \gamma dP. \quad (6.5)$$

Коэффициенты  $\beta > 0$  и  $\gamma > 0$  соответствуют стоимости, произведенной увеличением трудозатрат при постоянном потреблении внешней энергии и увеличением работы производственного оборудования при постоянных трудозатратах; в соответствии с существующими терминами экономических теорий эти величины могут быть названы предельными производительностями соответствующих факторов производства.

Два фактора производства: трудозатраты и работа внешних источников энергии взаимозаменяемы и, в этом смысле, являются эквивалентными, так что, используя слова Адама Смита, труд остается, в конечном счете, "единственно универсальной, так же как единственно точной мерой стоимости, или единственным стандартом, по которому мы можем сравнить стоимости различных товаров во все времена и во всех местах". Принимая во внимание эффект замещения, можно также сказать, что единственная универсальная и точная мера стоимости – оценка усилий рабочих и/или других агентов, используемых для производства. Основываясь на эффекте замещения, можно оценить общее количество работы, необходимое для того, чтобы произвести вещь или услугу, и сопоставить это количество с рыночной стоимостью. Это могло бы дать абсолютную меру стоимости, значение чего трудно переоценить. Конечно, это не значит, что стоимость эквивалентна энергии, скорее, стоимость оказывается близким родственником энтропии с обратным знаком (Candea et al, 2001).

Описанное расширение трудовой теории стоимости имеет непосредственное соотношение с обычной неоклассической теорией, которая рассматривает капитал и труд как главные источники производства стоимости. За счет введения третьего фактора производства – замещающей работы или производительной энергии, обсуждаемая теория позволяет осознать надлежащую роль энергии в производстве стоимости, с одной стороны, и избавиться от противоречий обычной неоклассической теории, с другой стороны, то есть примирить различные подходы к теории производства. Можно думать, что замещающая

---

3. Усилия по наблюдению и координации, развитие принципов организации рассматривали как специфически человеческие функции до последних лет. Теперь работу мозга заменяют работой информационных процессоров, которые оживляются электричеством.

работа или производительная энергия является тем самым производственным фактором, который ищут представители современных эндогенных теорий экономического роста (Barro and Sala-i-Martin, 1995; Aghion and Howitt, 1998) для того, чтобы описать роль запаса знаний или человеческого капитала, как существенных факторов производства и подлинных источников экономического роста. Действительно, чтобы использовать внешнюю энергию в производстве, нужно иметь доступные источники энергии и оборудование, которые используют энергию для производства. Некоторые приспособления должны быть изобретены, сделаны и установлены для работы, так что наличие производительной энергии определено фундаментальными результатами науки, исследованиями, проектными работами, и материализацией всего человеческого воображения о том, как использовать энергию для производства.

## 6.4 Динамика производственных факторов

Закон замещения усилий людей работой внешних источников энергии позволяет развить теорию, которая включает в рассмотрение некоторые обобщённые характеристики технологии (Pokrovskii, 1999, 2003).

Используемая технология определяет, какое количество трудозатрат  $L$  и работы внешних источников (ветер, вода, уголь, нефть и другое)  $P$  необходимо для производства. Расширение производства, характеризующего изменениями производственных фондов по закону (6.3), требует дополнительных трудозатрат и замещающей работы оборудования, так что динамика факторов производства может быть записана как пара уравнений баланса

$$\frac{dL}{dt} = \lambda I - (\nu' + \mu)L, \quad \frac{dP}{dt} = \varepsilon I - (\eta' + \mu)P. \quad (6.6)$$

Первые члены в правой стороне этих отношений описывают увеличение потребления факторов производства при введении инвестиций  $I$ , которые, как можно полагать, являются действительным двигателем развития производства. Как универсальные характеристики производственного оборудования, здесь введены величины  $\lambda$  и  $\varepsilon$ , которые определяют необходимые количества, соответственно, трудозатрат и производительных энергозатрат на единицу (в стоимостной мере) введенного оборудования. Вторые слагаемые в правых частях уравнений (6.6) отражают уменьшение производственных факторов при удалении или изнашивании части оборудования. Уменьшение количества производственного оборудования (капитала) характеризуется коэффициентом

амортизации  $\mu$ . Величины  $\nu'$  и  $\eta'$  описывают эффективное дополнительное обесценивание производственного оборудования во время срока службы. Если установленное технологическое оборудование не меняет своего качества в течение времени службы (что будет принято для простоты в последующем изложении), величины  $\nu' = 0$  и  $\eta' = 0$ , и все коэффициенты обесценивания в уравнениях (6.3) и (6.6), оказываются идентичными. Заметим, что уравнения баланса (6.6) для факторов производства являются фактически определениями технологических коэффициентов системы производства и не содержат никаких предположений.

Характеристики технологии: трудотребование и энерготребование,  $\lambda$  и  $\varepsilon$ , изменяются в течение времени, и удобно ввести безразмерные технологические переменные

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{K}{L} \lambda, \quad \bar{\varepsilon}(t) = \frac{K}{P} \varepsilon. \quad (6.7)$$

Если эти величины оказываются меньше единицы, это означает, что трудосберегающие и энергосберегающие технологии вводятся в этот момент времени.

Вводя обозначения для эффективных темпов роста факторов производства

$$\delta = \frac{1}{K} \frac{dK}{dt}, \quad \nu = \nu' + \frac{1}{L} \frac{dL}{dt}, \quad \eta = \eta' + \frac{1}{P} \frac{dP}{dt} \quad (6.8)$$

и используя технологические переменные (6.7), переписываем соотношения (6.3) и (6.6) в виде

$$\bar{\lambda} = \frac{\nu + \mu}{\delta + \mu}, \quad \bar{\varepsilon} = \frac{\eta + \mu}{\delta + \mu}. \quad (6.9)$$

Коэффициент обесценивания  $\mu$  может быть исключен из уравнений (6.9), после чего находим соотношение между эффективными темпами роста различных производственных факторов

$$\delta = \nu + \alpha (\eta - \nu), \quad \alpha = \frac{1 - \bar{\lambda}}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}}. \quad (6.10)$$

Это соотношение приобретает нетривиальный смысл, поскольку появляющееся в этом соотношении величина – технологический индекс  $\alpha$  оказывается включенной в производственную функцию и может быть оценена независимо.

## 6.5 Закон производства стоимости

В силу изложенных выше обстоятельств рыночную оценку стоимости произведённых продуктов следует считать функцией трёх производственных факторов

$$Y = Y(K, L, P).$$

Эту общую зависимость нужно привести к форме, которая должна быть совместимой с технологическим описанием процесса производства в предыдущем разделе. Технологическое описание предполагает, что следует рассматривать энергозатраты и трудозатраты как замещающие друг друга, а количество производственного оборудования, универсально измеренного его стоимостью  $K$ , следует считать комплементарным к работе ( $L$  и  $P$ ) производственного оборудования. Все это вынуждает нас записать производственную функцию в форме двух альтернативных линий

$$Y = \begin{cases} Y(K) \\ Y(L, P) \end{cases}, \quad dY - \Delta dt = \begin{cases} \xi(K) dK \\ \beta(L, P) dL + \gamma(L, P) dP \end{cases}, \quad (6.11)$$

где  $\Delta dt$  - часть приращения производства стоимости, которая связана с изменением характеристик производственной системы (технологические и структурные изменения). В соответствии с существующей практикой, величины  $\xi$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  могут быть названы предельными производительностями соответствующих факторов производства. В случае, если производственная система остается неизменной, интерпретация предельных производительностей оказывается простой: величина  $\xi$  соответствует стоимости, произведенной добавленной единицей капитала; предельные производительности  $\beta$  и  $\gamma$  определяют стоимость, произведенной единицей трудозатрат при постоянном потреблении энергии и единицей энергии при постоянных трудозатратах, соответственно.

Мы должны полагать, что все предельные производительности неотрицательны. Производственные факторы используются для того, чтобы создать полезные предметы потребления, и увеличение любого производственного фактора должно приводить к увеличению производства вещей – это утверждение известно как принцип продуктивности.

### 6.5.1 Технология и производство стоимости

Используя уравнения для факторов производства (6.3) и (6.6), при  $\nu' = 0$  и  $\eta' = 0$ , можно переписать соотношения (6.11) для производства стоимости в форме

$$\frac{dY}{dt} - \Delta = \begin{cases} \xi (I - \mu K) \\ (\beta \lambda + \gamma \varepsilon) I - \mu (\beta L + \gamma P) \end{cases} \quad (6.12)$$

Правые части этих уравнений равны друг другу, так что, в силу произвольности инвестиций  $I$ , можно записать соотношения для предельных производительностей

$$\beta = \xi \frac{\bar{\varepsilon} - 1}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}} \frac{K}{L}, \quad \gamma = \xi \frac{1 - \bar{\lambda}}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}} \frac{K}{P}. \quad (6.13)$$

Если технологические коэффициенты  $\bar{\lambda}$  и  $\bar{\varepsilon}$  принимают произвольные значения, то из соотношений (6.13) следует, что одна из предельных производительностей, но не обе, могут быть отрицательной. Можно видеть, что, если выполняются соотношения

$$\bar{\lambda} < 1 < \bar{\varepsilon} \quad \text{or} \quad \bar{\lambda} > 1 > \bar{\varepsilon},$$

то предельные производительности являются неотрицательными, так что записанные неравенства можно рассматривать как формулировку принципа продуктивности.

### 6.5.2 Простейшее приближение

Теперь, мы можем сформулировать простое приближение для производственной функции и предельных производительностей. Учитывая, что описание должно быть справедливым для любой начальной точки отсчёта времени (принцип универсальности), и предполагая также, что производство является гомогенным, то есть закон производства стоимости не меняется при изменении масштаба производства, записываем производственную функцию, как степенную функцию

$$Y = Y_0 \frac{L}{L_0} \left( \frac{L_0 P}{L P_0} \right)^\alpha, \quad (6.14)$$

где  $L_0$  и  $P_0$  – значения трудозатрат и энергозатрат в базисном году, а  $\alpha$  – характеристика производственной системы, которая, как показано ниже, совпадает с технологическим индексом, введенным уравнением (6.10).

Действительно, соотношение (6.14) определяет выражения, как для предельных производительностей, так и для вклада от изменения производственной системы непосредственно

$$\beta = Y_0 \frac{1 - \alpha}{L_0} \left( \frac{L_0 P}{L P_0} \right)^\alpha, \quad \gamma = Y_0 \frac{\alpha}{P_0} \left( \frac{L_0 P}{L P_0} \right)^{\alpha-1}, \quad \Delta = Y \ln \left( \frac{L_0 P}{L P_0} \right) \frac{d\alpha}{dt} \quad (6.15)$$

Сравнивая выражения (6.13) и (6.15) для предельных производительностей, находим

$$\xi = Y_0 \frac{L}{L_0 K} \left( \frac{L_0 P}{L P_0} \right)^\alpha, \quad \alpha = \frac{1 - \bar{\lambda}}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}} \quad (6.16)$$

Таким образом, индекс  $\alpha$  в уравнении (6.14) и (6.15) есть технологический индекс, введенный уравнением (6.10) и характеризующий процесс производства стоимости. Принцип продуктивности ограничивает значения технологического индекса,  $0 < \alpha < 1$ . Кроме того, вся доступная информация о технологической активности может быть использована при оценке этой величины.

### 6.5.3 Аппроксимация производственной функции

Возвращаясь теперь к формулам (6.11), отмечаем. Что при простейшей схематизации, когда общественная производственная система рассматривается как совокупность производственного оборудования (измеренная его стоимостью  $K$ ), получающего способность действовать при использовании труда  $L$  и производительной энергии  $P$ , производственная функция может быть определена в виде двух альтернативных линий

$$Y = \begin{cases} \xi K, & \xi > 0 \\ Y_0 \frac{L}{L_0} \left( \frac{L_0 P}{L P_0} \right)^\alpha, & 0 < \alpha < 1 \end{cases} \quad (6.17)$$

Эта формула представляет два дополнительных описания процесса производства стоимости: первая линия в формуле (6.17) напоминает нам о подходе Хэрода и Домара (Harrod, 1939, 1948; Domar, 1946), в то время как функция во второй линии совпадает с производственной функцией Кобба-Дугласа (6.4), в который замещающая работа  $P$  стоит вместо основного капитала  $K$ . Первая линия связывает выпуск со стоимостью производственного оборудования (основной капитал), вторая описывает процесс производства через свойства оборудования привлекать труд и энергию к производству.



Можно отметить также, что в традиционном неоклассическом подходе переменная капитал играет две отличительные роли: основной капитал как стоимость производственного оборудования и капитал как заместитель труда. Эти роли приписаны различным переменным в обсуждаемой теории: уравнение (6.17) содержит производительную энергию  $P$ , как услугу капитала и основной капитал  $K$  как меру количества производственного оборудования.

#### 6.5.4 Производительность труда

Наблюдаемый научно-технический прогресс сводится к процессам введения инноваций, то есть последовательной замене орудий, материалов, конструкций, приспособлений и прочего более совершенными с той или иной точки зрения образцами. Среди всех процессов замещения исключительную роль играет процесс замещения живого труда работой машин при содействии сил природы. Замещение усилий работающих работой машин является единственным процессом замещения, который влияет на производительность труда, определённую как отношение стоимости выпуска к трудозатратам

$$B = \frac{Y}{L}$$

Эта величина зависит от отношения замещающего труда к усилиям работающих  $P/L$  и является той самой производительностью труда, возрастание которой определяет смену одной общественной формации другой, более совершенной. Возрастание производительности труда невозможно понять без учёта явления, сопровождающего развитие производства, – привлечение сторонних источников энергии (домашние животные, ветер, вода, уголь, нефть и прочее) для выполнения хозяйственных работ, что замещает усилия человека в производстве.

Чтобы найти уравнение для темпа роста производительности труда, продифференцируем записанное выше соотношение

$$\frac{1}{B} \frac{dB}{dt} = \frac{1}{Y} \frac{dY}{dt} - \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = \alpha \left( \frac{1}{P} \frac{dP}{dt} - \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} \right) + \frac{1}{\xi} \frac{d\xi}{dt},$$

и, используя уравнения (6.3) и (6.6), записываем

$$\frac{1}{B} \frac{dB}{dt} = \frac{(1 - \bar{\lambda})(\nu + \nu' + \mu)}{\bar{\lambda}} + \frac{(1 - \bar{\lambda})(\eta' - \nu')}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}} + \frac{1}{\xi} \frac{d\xi}{dt}. \quad (6.18)$$

В более простом случае, когда характеристики оборудования не меняются после его установления, то есть,  $\nu' = 0$  и  $\eta' = 0$ , это выражение приобретает простой вид

$$\frac{1}{B} \frac{dB}{dt} = \frac{(1 - \bar{\lambda})(\nu + \mu)}{\bar{\lambda}} + \frac{1}{\xi} \frac{d\xi}{dt}. \quad (6.19)$$

В этом уравнении, кроме известного коэффициента амортизации  $\mu$ , присутствует безразмерная величина  $\bar{\lambda}$ , которая характеризует вводимую в производство технологию. Если  $\bar{\lambda} = 1$ , изменений в технологии не происходит, производительность труда постоянна, и все приращение продукта связано только с увеличением численности работающих. Человеческие усилия являются, конечно, главной движущей силой, но, при условии  $\bar{\lambda} < 1$  усилия работающих частично замещаются работой машин, движимых сторонними источниками энергии, в результате чего производительность труда увеличивается. Это общее описание влияния научного и технологического прогресса, которое естественным образом вписывается в картину развития человечества.

## 6.6 Экспоненциальный рост

Заметим, что временные зависимости выпуска и производственных факторов часто можно представить в виде экспоненциальных функций. Например, для относительно спокойного периода 1950 - 2000 годов факты экономического роста экономики США можно описать простой показательной функцией и по эмпирическим данным можно непосредственно оценить средние темпы роста валового внутреннего продукта  $Y$  и производственных факторов  $K$  и  $L$

$$\frac{1}{Y} \frac{dY}{dt} = 0.0326, \quad \frac{1}{K} \frac{dK}{dt} = 0.0316, \quad \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = 0.0147. \quad (6.20)$$

Обращает внимание, что эмпирический усредненный темп роста выпуска 0.0326 приблизительно равен темпу роста капитала  $\delta = 0.0316$ , что соответствует многочисленным наблюдениям (Scott, 1989; Blanchard and Fisher, 1989). Показательные законы (6.20) известны как 'стилизованые' факты экономического роста.

Динамика производственных факторов определяется, согласно записанным выше уравнениям (6.3) и (6.6), технологическими характеристиками системы

и инвестициями, так что система уравнений для динамики производственных факторов записывается в виде

$$\frac{dK}{dt} = I - \mu K, \quad \frac{dL}{dt} = \left( \bar{\lambda} \frac{I}{K} - \mu \right) L, \quad \frac{dP}{dt} = \left( \bar{\varepsilon} \frac{I}{K} - \mu \right) P,$$

$$\alpha = \frac{1 - \bar{\lambda}}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}} \quad (6.21)$$

где все обозначения были введены и обсуждались в предыдущих разделах.

Если предположить, что отношение инвестиций к оценке капитала  $I/K$  не зависит от времени, то решение системы уравнений (6.21) может быть записано в простом виде

$$K = K_0 e^{\delta t}, \quad L = L_0 e^{\nu t}, \quad P = P_0 e^{\eta t},$$

$$\frac{I}{K} = \delta + \mu, \quad \bar{\lambda} = \frac{\nu + \mu}{\delta + \mu}, \quad \bar{\varepsilon} = \frac{\eta + \mu}{\delta + \mu}, \quad \alpha = \frac{\delta - \nu}{\eta - \nu}. \quad (6.22)$$

Чтобы получить выражение для выпуска, мы обращаемся к соотношениям (6.17) и (6.22). Так, для показательной траектории производственных факторов, выпуск может быть написан в следующей форме

$$Y = Y_0 e^{[\nu + \alpha(\eta - \nu)]t} = Y_0 e^{\delta t}. \quad (6.23)$$

Решение (6.22) и (6.23) соответствует 'стилизованным' фактам экономического роста, описываемого показательными функциями. Можно видеть, что теория описывает 'стилизованные' факты экономического роста, в то время как темп роста выпуска равен темпу роста капитала и связан с темпами роста трудозатрат и работы замещения.<sup>6</sup> Различие между

---

<sup>6</sup>Здесь уместно напомнить читателю о противоречиях, возникающих в случае, если для оценки выпуска используется неоклассическая производственная функция в форме Cobb-Дугласа

$$Y = Y_0 \frac{L}{L_0} \left( \frac{L_0}{L} \frac{K}{K_0} \right)^{\alpha'}, \quad 0 < \alpha' < 1.$$

При рассмотрении экспоненциального роста выражение для выпуска определяется в виде

$$Y = Y_0 e^{[(1 - \alpha')\nu + \alpha'\delta]t}.$$

Легко видеть, что производственная функция Cobb-Дугласа описывает эмпирические

темпами роста капитала и выпуска кажется весьма несущественным, учитывая грубую оценку параметров проблемы, хотя при более детальном рассмотрении различие может быть объяснено различием темпов роста отраслей (Pokrovskii, 2012, см раздел 8.3, формула 8.19).

Если значение технологического индекса определено каким либо независимым образом, то последнее из соотношений (6.22) позволяет оценить значение усредненного темпа роста замещающей работы  $P$ . Значение технологического индекса и темпа роста для рассматриваемого периода оцениваются как

$$\alpha \approx 0.4, \quad \frac{1}{P} \frac{dP}{dt} = 0.0585. \quad (6.24)$$

Формулы (6.22) позволяют нам оценить значение технологических коэффициентов при постоянных темпах роста производственных факторов.

Этот простой случай экспоненциального роста не достаточен для описания реального роста, и нам следует рассмотреть чем определяются инвестиции.

## 6.7 Инвестиции и изменение технологии

### 6.7.1 Инвестиции и три типа развития

Возрастание выпуска связано с возможностью привлечь дополнительные количества факторов производства, и можно допустить, что производственная система стремится использовать все доступные ресурсы. Чтобы определить инвестиции, следует принять во внимание ограничения, наложенные внутренними (дефицит наличной продукции и обеспечение необходимого уровня потребления) и внешними причинами (доступность труда и энергии). Удобно обозначить через  $\tilde{\delta}$ ,  $\tilde{\nu}$  и  $\tilde{\eta}$  возможные (потенциальные) темпы роста факторов производства: капитала  $K$ , трудозатрат  $L$  и производительной энергии  $P$ , соответственно. Очевидно, при предположении неограниченности труда и энергии потенциальный

---

данные для США для 1950-95 годов при  $\alpha' \approx 1$ . Однако, индекс  $\alpha'$  может интерпретироваться как доля расходов на содержание капитала во всех расходах на содержание производственных факторов; эта величина оценивается как 0.3–0.4 для американской экономики. Это хорошо известный факт (Blanchard and Fisher, 1989, p. 4), который привел к введению 'полного фактора производительности' (Solow, 1957) и многочисленным модификациям неоклассической производственной функции (Ferguson, 1969).

рост капитала ограничен неравенствами

$$-\mu < \tilde{\delta} < \frac{Y}{K} - \mu.$$

Темпы потенциального роста  $\tilde{\nu}$  и  $\tilde{\eta}$  могут быть также, в принципе, оценены из некоторых соображений, так что далее предполагаем, что темпы потенциального роста факторов производства известны как функции времени

$$\tilde{\delta} = \tilde{\delta}(t), \quad \tilde{\nu} = \tilde{\nu}(t), \quad \tilde{\eta} = \tilde{\eta}(t).$$

В любом случае темпы реального роста  $\delta$ ,  $\nu$  и  $\eta$  не превышают темпов потенциального роста  $\tilde{\delta}$ ,  $\tilde{\nu}$  и  $\tilde{\eta}$ , то есть

$$\delta \leq \tilde{\delta}, \quad \nu \leq \tilde{\nu}, \quad \eta \leq \tilde{\eta}.$$

Эти неравенства с помощью уравнений (6.3) и (6.6), содержащих темпы реального роста, определяют ограничения на инвестиции в производственный сектор

$$I \leq (\mu + \tilde{\delta})K, \quad I \leq \frac{\mu + \tilde{\nu}}{\lambda}L, \quad I \leq \frac{\mu + \tilde{\eta}}{\varepsilon}P. \quad (6.25)$$

Реализуемые инвестиции  $I$ , очевидно, определяются наименьшим потенциальным значением темпов роста производственных факторов, и потому возможны три типа развития производственной системы, как показано далее.

Реальные инвестиции определяются конкуренцией между потенциальными инвестициями с одной стороны и доступностью труда и энергии с другой стороны. В случае, когда производственная система стремится использовать все доступные факторы производства, следует записать для инвестиций

$$I = (\delta + \mu)K = \min \begin{cases} (\tilde{\delta} + \mu)K \\ (\tilde{\nu} + \mu)K/\bar{\lambda} \\ (\tilde{\eta} + \mu)K/\bar{\varepsilon} \end{cases}. \quad (6.26)$$

Темпы реального роста факторов производства  $\delta$ ,  $\nu$  и  $\eta$  отличаются от темпов потенциального роста. Согласно трем возможностям, записанным в уравнении (6.26), существует три моды экономического развития, и мы имеем различные формулы для вычисления. Как следует из уравнений (6.3) и (6.6), темпы реального роста факторов производства могут быть

определены в трех случаях как

$$\begin{aligned}
 \delta &= \tilde{\delta}, & \nu &= (\tilde{\delta} + \mu)\bar{\lambda} - \mu, & \eta &= (\tilde{\delta} + \mu)\bar{\varepsilon} - \mu, \\
 \delta &= (\tilde{\nu} + \mu)\frac{1}{\bar{\lambda}} - \mu, & \nu &= \tilde{\nu}, & \eta &= (\tilde{\nu} + \mu)\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\lambda}} - \mu, \\
 \delta &= (\tilde{\eta} + \mu)\frac{1}{\bar{\varepsilon}} - \mu, & \nu &= (\tilde{\eta} + \mu)\frac{\bar{\lambda}}{\bar{\varepsilon}} - \mu, & \eta &= \tilde{\eta}.
 \end{aligned} \tag{6.27}$$

Первая строка уравнений приложима к случаю дефицита инвестиций и избытию труда, энергии и сырья. Вторая строка действительна в случае дефицита труда, избытия инвестиций, энергии и сырья. Последняя строка уравнений приложима к случаю дефицита энергии, избытия инвестиции, труда и сырья.

Заметим, что согласно сформулированному выше утверждению, темпы реального роста производственных факторов не больше чем темпы потенциального роста. Если, действительно, производственная система стремится поглотить все доступные факторы производства, рост одного из факторов производства совпадает с потенциальным ростом. Это означает что разрыв между реальными и потенциальными значениями факторов производства, например, разрыв между наличной рабочей силой  $\tilde{L}$  и используемым трудом  $L$  может только увеличиваться. Таким образом, индекс безработицы  $u = (\tilde{L} - L)/\tilde{L}$ , например, не может уменьшаться 'естественным' образом. Чтобы уменьшить разрыв между реальным и потенциальным величинами факторов производства, необходимо внешнее вмешательство, например, в виде правительственных инвестиций, и, принимая это во внимание, соотношение (6.26) следует переписать в форме

$$I = (\delta + \mu)K = \chi(u)K + \min \begin{cases} (\tilde{\delta} + \mu)K \\ (\tilde{\nu} + \mu)K/\bar{\lambda} \\ (\tilde{\eta} + \mu)K/\bar{\varepsilon} \end{cases}, \tag{6.28}$$

где величина  $\chi(u)$  введена для того, чтобы регулировать разрыв между предложением и спросом факторов производства, для чего должно быть зарезервировано некоторое количество инвестиций для регулирования. В этом случае, также существуют три способа экономического развития.

### 6.7.2 Динамика технологических коэффициентов

Тот же самый принцип максимального использования доступных ресурсов помогает сформулировать уравнения для динамики технологических коэффициентов  $\bar{\lambda}$  и  $\bar{\varepsilon}$ . Чтобы выяснить закон временной зависимости технологических коэффициентов, обратимся опять к ограничениям на инвестиции. Соотношения (6.27) можно переписать как соотношения для безразмерных технологических величин  $\bar{\lambda}$ ,  $\bar{\varepsilon}$  и их отношения  $\Theta = \bar{\varepsilon}/\bar{\lambda}$

$$\begin{aligned}
 1 &= \frac{\tilde{\delta} + \mu}{\delta + \mu}, & \bar{\lambda} &\leq \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\delta + \mu}, & \bar{\lambda} &\leq \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu}, & \bar{\varepsilon} &\leq \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\delta + \mu}, & \bar{\varepsilon} &\leq \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu}, \\
 1 &\leq \frac{\tilde{\delta} + \mu}{\delta + \mu}, & \bar{\lambda} &= \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\delta + \mu}, & \bar{\lambda} &\geq \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu}, & \bar{\varepsilon} &\leq \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\delta + \mu}, & \Theta &\leq \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\nu} + \mu}, \\
 1 &\leq \frac{\tilde{\delta} + \mu}{\delta + \mu}, & \bar{\lambda} &\leq \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\delta + \mu}, & \bar{\varepsilon} &= \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\delta + \mu}, & \bar{\varepsilon} &\geq \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu}, & \Theta &\geq \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\nu} + \mu}.
 \end{aligned} \tag{6.29}$$

В первом случае, есть внутренние ограничения роста. В последних двух строках, ограничен один из факторов производства,  $L$  или  $P$ .

Можно предположить, что существуют внутренние изменения технологии, которые приводят к изменениям технологических коэффициентов при стремлении экономической системы использовать все доступные ресурсы. Это означает, что технологические коэффициенты имеют тенденцию изменяться таким способом, что неравенства в условиях (6.27) стремятся превратиться в равенства. Эти процессы связаны с распространением известных технологий. Можно считать, что скорости изменения технологических коэффициентов

$$\frac{d\Theta}{dt}, \quad \frac{d\bar{\lambda}}{dt}, \quad \frac{d\bar{\varepsilon}}{dt}$$

являются функциями разностей

$$\Theta - \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\nu} + \mu}, \quad \bar{\lambda} - \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu}, \quad \bar{\varepsilon} - \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu}.$$

Эти тенденции технологических изменений в первом приближении могут быть описаны уравнениями для безразмерных величин

$$\frac{d\Theta}{dt} = -\frac{1}{\tau_\Theta} \left( \Theta - \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\nu} + \mu} \right), \tag{6.30}$$

$$\frac{d\bar{\lambda}}{dt} = -\frac{1}{\tau_\lambda} \left( \bar{\lambda} - \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu} \right), \quad (6.31)$$

$$\frac{d\bar{\varepsilon}}{dt} = -\frac{1}{\tau_\varepsilon} \left( \bar{\varepsilon} - \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu} \right). \quad (6.32)$$

Так как  $\Theta = \bar{\varepsilon}/\bar{\lambda}$ , то только два из уравнений (6.30) - (6.32) оказываются независимыми. Для того, чтобы уравнения (6.30) - (6.32) были совместными, времена релаксации  $\tau_\lambda$  и  $\tau_\varepsilon$  должны быть приравнены друг к другу и быть связанными с временем релаксации  $\tau_\theta$ , то есть

$$\tau_\lambda = \tau_\varepsilon = \frac{1}{\bar{\lambda}} \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu} \tau_\theta.$$

Релаксационные уравнения (6.30) - (6.32) являются уравнениями первого порядка относительно величин, записанных в скобках, так что времена релаксации в этих уравнениях следует рассматривать в нулевом приближении. Это означает что в рассмотренном приближении, все времена релаксации равны друг другу, а именно,

$$\tau_\lambda = \tau_\varepsilon = \tau_\theta = \tau, \quad (6.33)$$

так что индексы в уравнениях (6.30) - (6.32) могут быть опущены в последующем изложении.

Легко видеть, что, если темпы роста производственных факторов постоянны, уравнение (6.30), например, при начальном значении

$$\Theta(0) = (1 - \Delta) \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\nu} + \mu}$$

имеет простое решение

$$\Theta(t) = \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\nu} + \mu} \left[ 1 - \Delta \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]. \quad (6.34)$$

Значение  $\tau$  является характерным временем перехода от одной технологической ситуации к другой, когда внешние параметры  $\tilde{\nu}$  и  $\tilde{\eta}$  изменяются. Этот процесс определяется внутренними процессами привлечения надлежащей технологии.



### 6.7.3 Динамика технологического индекса

Теперь, можно непосредственно вычислить изменение технологического индекса

$$\alpha = \frac{1 - \bar{\lambda}}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}}$$

в течение времени. Дифференцируя величину и используя уравнения (6.31) и (6.32), определяем соотношение

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\tilde{\delta} - \tilde{\nu} - \alpha(\tilde{\eta} - \tilde{\nu})}{\tau(\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda})(\tilde{\delta} + \mu)} \quad (6.35)$$

Чтобы определить изменение технологического индекса, следует сравнить темп потенциального роста капитала  $\tilde{\delta}$  с суммой темпов потенциального роста  $\tilde{\nu}$  и  $\alpha(\tilde{\eta} - \tilde{\nu})$ . Если первая величина больше чем вторая, технологический индекс растет. В установившейся ситуации технологический индекс постоянен (например, для США в послевоенные годы), так что справедливо соотношение

$$\tilde{\delta} = \tilde{\nu} + \alpha(\tilde{\eta} - \tilde{\nu}), \quad (6.36)$$

которое оказывается подобным отношению (6.10) для темпов реального роста факторов производства. В этом случае, технологический индекс  $\alpha$  оказывается первым интегралом эволюции системы. Можно ожидать, что существуют социальные механизмы, которые обеспечивают справедливость соотношения (6.36). Конечно, это соотношение следует рассматривать как приблизительное равенство, которое может быть нарушено беспорядками в общественной жизни.

## 6.8 Динамика производственной системы

Простейшая схематизация процесса производства позволяет нам сформулировать математическую модель, которая включает структурные и/или технологические изменения системы производства. Система уравнений для вычисления выпуска производственной системы имеет вид

$$Y = Y_0 \frac{L}{L_0} \left( \frac{L_0 P}{L P_0} \right)^\alpha,$$

$$\frac{dK}{dt} = I - \mu K, \quad \frac{dL}{dt} = \left( \bar{\lambda} \frac{I}{K} - \mu \right) L, \quad \frac{dP}{dt} = \left( \bar{\varepsilon} \frac{I}{K} - \mu \right) P,$$

$$\frac{I}{K} = \min \left\{ (\tilde{\delta} + \mu), (\tilde{\nu} + \mu) \frac{1}{\lambda}, (\tilde{\eta} + \mu) \frac{1}{\varepsilon} \right\},$$

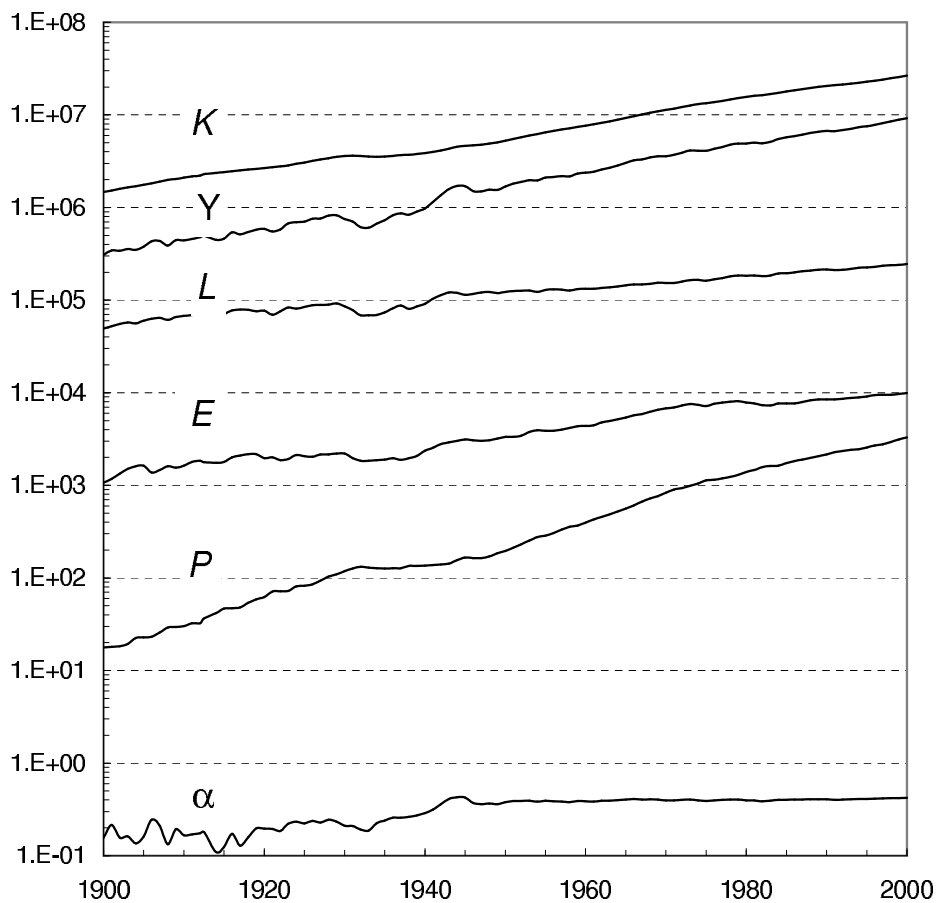
$$\frac{d\bar{\lambda}}{dt} = -\frac{1}{\tau} \left( \bar{\lambda} - \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu} \right), \quad \frac{d\bar{\varepsilon}}{dt} = -\frac{1}{\tau} \left( \bar{\varepsilon} - \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu} \right), \quad \alpha = \frac{1 - \bar{\lambda}}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}} \quad (6.37)$$

где все обозначения были введены и обсуждались в предыдущих разделах.

Эта система уравнений устанавливает, что эволюция производственной системы, в конце концов, определяется ростом обеспеченности рабочей силой и возможностями привлечения дополнительного количества сторонней энергии, что определяется двумя важными величинами: темпами возможного роста труда и работы замещения, а именно,  $\tilde{\nu}(t)$  и  $\tilde{\eta}(t)$ . Эти величины должны быть заданы как экзогенные функции времени в теории производства, хотя, фактически, они являются эндогенными величинами в проблеме развития человеческой популяции, как самоорганизующейся системы.

Для оценки справедливости записанных уравнений модель была использована (Pokrovski, 2003) для описания развития народного хозяйства США в течение последнего столетия. В условиях, когда оценка темпа возможного роста работы замещения неизвестна, можно рассмотреть задачу оценки замещающей работы  $P$  и технологического индекса  $\alpha$  по имеющимся эмпирическим временным рядам для выпуска  $Y$ , капитала  $K$  и трудозатрат  $L$  с тем чтобы оценить согласованность теории с эмпирическими данными. На рис. 6.1 изображены как эмпирические значения величин  $Y$ ,  $K$  и  $L$ , так и вычисленные значения замещающей работы  $P$  и технологического индекса  $\alpha$ . Вычисленные значения замещающей работы  $P$  совпадают с непосредственными эмпирическими оценками (Ayres et al, 2003; Pokrovskii, 2007). Альтернативные способы вычисления технологического индекса  $\alpha$  также соответствуют полученным здесь результатам.

Далее модель (6.37) была использована (Pokrovski, 2003) для вычисления траектории развития народного хозяйства США, причём темпы потенциального роста были заданы произвольно, несколько выше реальных темпов роста. Вычисления на основе уравнений (6.37) воспроизводят реальную динамику со спадами и всплесками выпуска, которые связаны со сменой типа развития: период с предельным использованием труда сменяется периодом с предельным использованием производительной энергии, что определяет малые циклы



**Рисунок 6.1. Согласованное описание роста экономики США**

Рисунок показывает эмпирические оценки производства стоимости (валовой внутренний продукт)  $Y$ , миллионы долларов 1996 года; стоимости производственного оборудования (основной капитал)  $K$ , миллионы долларов 1996 года; затраты труда  $L$ , миллионы рабочих часов в год. Значения замещающей работы (производительной энергии)  $P$ ,  $10^{16}$  джоулей за год, и технологического индекса  $\alpha$  были вычислены (Pokrovskii, 2003) в соответствии со значениями  $Y$ ,  $K$  и  $L$ . Показано также полное потребление первичных носителей энергии  $E$ ,  $10^{16}$  джоулей в год.

развития. Сценарии будущего развития могут быть рассмотрены, если определены будущие темпы потенциального роста, что является само по себе предметом непростого исследования.

Выполненные исследования (Pokrovski, 2003) (подтверждает, что траектория развития производственной системы действительно определяется стремлением системы использовать все доступные ресурсы.<sup>7</sup> Это поведение системы является следствием суммы усилий многих предпринимателей, стремящихся получить наибольшую прибыль. Реальная траектория развития системы производства определяется доступностью труда и энергии. При этом остаётся ведущим принцип экономии живого труда: выигрывают те, кто заместил трудозатраты большей величиной работы машин. Однако закона экономии энергии не существует, по крайней мере, он остаётся в тени закона экономии живого труда.

## 6.9 Литература

П.Л.Капица, Научная деятельность Вениамина Франклина, Успехи физических наук, 58 (2), 169 (1956) или в Эксперимент, теория, практика. Статьи и выступления, Издательство Наука Главная редакция физико-математической литературы, Москва 1974, стр. 184 - 198.

Коротаев А.В., Цирель С.В. 2010. Кондратьевские волны в мировой экономической динамике, В: *Системный мониторинг. Глобальное и региональное развитие.* / Отв. ред. Д. А. Халтурина, А. В. Коротаев. - М.: Либроком/URSS, с. 189-229.

А.Н. Усов, Что такое стоимость. [http:// www.usoff.narod.ru/Us4.htm](http://www.usoff.narod.ru/Us4.htm)

Ph. Aghion, P.W. Howitt, Endogenous Growth Theory, The MIT Press, Cambridge, Mass., 1998.

Aristotle, (about 350 B.C.E), Nicomachean Ethics,  
<http://classics.mit.edu/Aristotle/nicomachaen.5.v.html>

---

<sup>7</sup>Студентов экономики традиционно учат (см., например, Blanchard and Fisher, 1989) принципу, по которому траектория развития определяется при выборе между потреблением и сбережением так, что потребление должно быть наибольшим в каждый момент времени. Возникают большие сомнения в справедливости этого принципа.

- R.U. Ayres, L.W. Ayres, B. Warr, Exergy, power and work in the US economy, 1900–1998, *Energy* 28 (2003) 219-273.
- R.J. Barro, X. Sala-i-Martin, *Economic Growth*, McGraw-Hill, Boston, Mass., 1995.
- B.C. Beaudreau, *Energy and organization: growth and distribution reexamined*, Greenwood Press, Westport, CT, 1998.
- Beaudreau, Bernard C. and Vladimir N. Pokrovsii, 2010. On the energy content of a money unit. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 389 (13), 2597 - 2606, 1 July 2010.
- Blanchard OJ, Fisher S. *Lectures on macroeconomics*. Cambridge MA: MIT Press, 1989.
- M. Blaug, *Economic Theory in Retrospect*, 5th Ed., Cambridge University Press, Cambridge etc., 1997.
- Candeal JC, De Miguel JR, Induráin E, Mehta GB, Utility and entropy, *Economic Theory*, 17: 233 - 238 (2001).
- D.S.L. Cardwell, *Turning Points in Western Technology*. New York: Neale Watson, Science History Publications, 1972.
- G.W. Cobb, P.N. Douglas, A theory of production, *American Economic Review*, Suppl. (1928) 139-165.
- R. Costanza, Embodied energy and economic valuation, *Science*, 210 (1980) 1219-1224.
- C.J. Cleveland, R. Costanza, C.A.S. Hall, R.K. Kaufmann, Energy and the US economy: A biophysical perspective, *Science*, 255 (1984) 890-897.
- Cleveland CJ, Kaufmann RK, Stern DI. The aggregation of energy and materials in economic indicators of sustainability: thermodynamic, biophysical, and economic approaches. In: Ulgiati S, editor. *Advances in Energy Studies. Energy Flows in Ecology and Economy*. Rome: MUSIS, 1998, p. 143 - 166.
- E.D. Domar, Capital expansion, rate of growth and employment, *Econometrica* 14 (1946) 137-147.

- E.D. Domar, Expansion and employment, *American Economic Review* 37 (1947) 343-355.
- Franklin, Benjamin, *A Modest Enquiry into the Nature and Necessity of a Paper-Currency*, Philadelphia, 1729. Electronic Text Center, University of Virginia Library. <http://etext.lib.virginia.edu/modeng/modengB.browse.html>
- R.F. Harrod, An essay in dynamic theory, *Economic Journal* 49 (1939) 14-23.
- R.F. Harrod, *Towards a Dynamic Economics*, Macmillan, London, 1948.
- D.W. Jorgenson, Z. Griliches, The explanation of productivity change, *Review of Economic Studies* 34 (3) (1967) 249 - 283.
- D.W. Jorgenson, K. Stiroh, Raising the speed limit: U.S. economic growth in the information age, *Brookings Papers on Economic Activity* 1 (2000) 125-211.
- Korotayev, Andrey V., Tsirel, Sergey V. (2010). A Spectral Analysis of World GDP Dynamics: Kondratiev Waves, Kuznets Swings, Juglar and Kitchin Cycles in Global Economic Development, and the 2008-2009 Economic Crisis. *Structure and Dynamics*. Vol.4. (1), P.3-57.
- R. Kümmel, The impact of energy on industrial growth, *Energy* 7 (2) (1982) 189-203.
- Leontief, W.W. (1986), *Input-Output Economics, 2nd Ed.*, Oxford University Press, New York, Oxford.
- Lietaer, Bernard. (2001) *The future of money. A new way to create wealth, work, and a wiser world.* Century, London.
- Marx, K. (1867), *Das Kapital. Kritik der Politischen Oekonomie*, Otto Meissner, Hamburg. English translation: Marx K. (1952), *Capital*, Encyclopaedia Britannica, Chicago *etc.* Русский перевод: К. Маркс, Капитал. Критика Политической Экономии. Том первый, в: Карл Маркс и Фридрих Энгельс, Сочинения, издание второе, том 23, Государственное Издательство Политической Литературы, Москва, 1960.
- Mirowski Ph. Energy and energetics in economic theory: A review essay. *Journal of Economic Issues* 1988; 22 (4): 811-830.

- H.T. Odum, *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making*, John Wiley & Sons, New York, 1996.
- Pokrovski V.N. *Physical Principles in the Theory of Economic Growth*. Ashgate, Aldershot, 1999.<sup>8</sup>
- Pokrovski, V.N. (2003), Energy in the theory of production. *Energy - The International Journal*. Vol. 28 No 8, pp. 769-788.
- V.N. Pokrovski, Productive energy in the US economy, *Energy* 32 (5)(2007) 816-822.
- J. Robinson, *The production function and the theory of capital*. *Review of Economic Studies* 1954; 21 (2), 81-106.
- J. Robinson, *The accumulation of capital*. Macmillan, London, 1956.
- J. Robinson, *The measure of capital: the end of the controversy*, *Economic Journal* 81 (323) (1971) 597 - 602.
- Samuelson, P. and Nordhaus W. (1989), *Economics, thirteenth edition*, McGraw-Hill Book Company, New York et cetera.
- E. Sciubba, On the possibility of establishing a univocal and direct correlation between monetary price and physical value: The concept of extended exergy accounting. In: Ulgiati S, editor. *Advances in Energy Studies Workshop. Exploring supplies, constraints, and strategies*. Porto Venere, Italy 2000. Padova: Servizi Grafici Editoriali, 2001. p. 617 - 633.
- F. Soddy, *Cartesian economics: the bearing of physical sciences upon state stewardship*, Hendersons, London, 1924.
- R. Solow, *Technical change and the aggregate production function*, *Review of Economic Studies* 39 (1957) 312-330.

---

<sup>8</sup>Пересмотренный и расширенный вариант монографии готовится к изданию как "Введение в экодинамику. Размышления о первоисточниках богатства: экономика сталкивается с физикой". С содержанием и предварительными текстами глав на английском и русском языке можно ознакомиться на сайте "Экодинамика": <http://ecodynamics.narod.ru/production/contentp.html> .

- A. Valero, Thermoeconomics as a conceptual basis for energy-ecological analysis. In: Ulgiati S, editor. *Advances in Energy Studies Workshop. Energy Flows in Ecology and Economy*. Porto Venere, Italy 1998. Rome: MUSIS, 1998. p. 415 - 444.