Глава 7

Методы оценки производственных характеристик

В этой, как и в предыдущих главах, мы обращаемся к американской экономике, некоторые характеристики которой приведены в приложении B. Временные ряды для макроэкономических величин могут быть легко найдены на вебсайтах американского Бюро Переписи (the US Census Bureau) и американского Бюро Экономического Анализа (the US Bureau of Economic Analysis). Эти организации постоянно улучшают методы оценки временных рядов, данные постоянно пересматриваются для того, чтобы числа соответствовали определениям и были настолько точными, насколько возможно. Мы использовали последние доступные данные для иллюстрации методов оценки некоторых величин: работы замещения, технологического индекса, технологических коэффициентов и предельных производительностей.

7.1 Технологические характеристики

Исследователь, изучающий развитие производственной системы, имеет обычно в своём распоряжении эмпирические временны́е ряды для выпуска Y, основного капитала K, трудозатрат L и инвестиций I. Мы используем эмпирические временны́е ряды для экономики США, собранные в приложении B. Кроме основного капитала и трудозатрат, для описания функционирования и развития производственной системы необходим также третий производственный фактор – работа замещения P, который, так же как технологический индекс α, может быть вычислен по имеющимся рядам для указанных величин методом, обсуждаемым далее, в разделе 7.1.2. Эти данные позволяют нам оценить основные характеристики производственной системы США и проверить некоторые соотношения, записанные в предыдущих главах.

7.1.1 *Личное потребление и технологический индекс*

Значение технологического индекса α может быть получено при оценке оптимального использования производственных факторов. Согласно формуле (6.30) главы 6, технологический индекс α представляет долю расходов, необходимых для использования услуг капитала (замещающей работы), как производственного фактора, в полных расходах на поддержание факторов производства.

$$\alpha = \frac{pP}{cL + pP}. \tag{7.1}$$

Это выражение позволяет оценивать технологический индекс α через цены и количества производственных факторов.

Расходы на поддержание рабочей силы $C = cL$ определяются как стоимость минимального количества продуктов, которые необходимы, чтобы поддержать рабочую силу. Эта величина может быть оценена (см. раздел 2.2.4) через порог бедности c^* как $cL = c^*N$, где N - численность населения. Потребление в 1996 году оценивается как $C = 2,120$ миллиардов долларов, что можно сопоставить с расходами для обслуживания услуг основного капитала $pP = \mu K = 1,378$ миллиардов долларов (1996). Таким образом, по формуле (7.1) можно оценить, что в течение последнего десятилетия двадцатого столетия $\alpha \approx 0.4$. Это означает, что приблизительно 40 % полных расходов на содержание факторов производства используется для поддержания энергии как заместителя трудозатрат.

7.1.2 *Технологический индекс и работа замещения*

Простой метод позволяет нам вычислить как замещающую работу P, так и значения технологического индекса α, если эмпирические временны́е ряды выпуска Y, капитала K и трудозатрат L известны (Pokrovski, 2003).

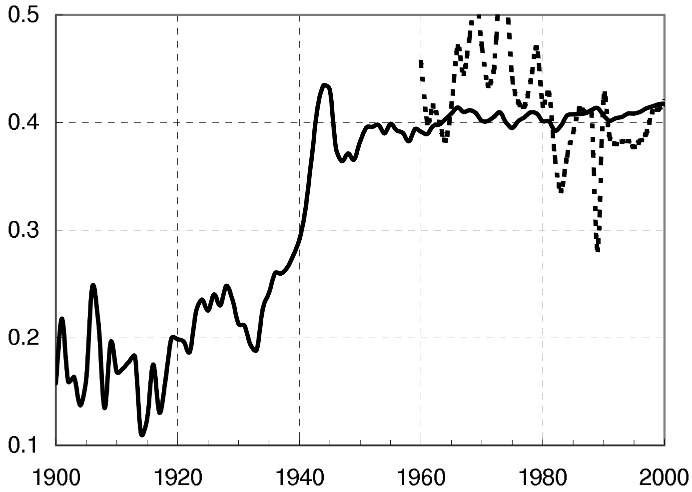

Рисунок 7.1 Технологический индекс

Сплошная линия представляет значения α, найденные по формулам (7.2)-(7.4). Пунктирная линия представляет значения, рассчитанные по порогу бедности.

Значения технологического индекса α могут быть представлены по уравнению (6.12) в виде

$$\alpha = \frac{\ln\left(\dfrac{Y}{Y_0}\,\dfrac{L_0}{L}\right)}{\ln\left(\dfrac{L_0}{L}\,\dfrac{P}{P_0}\right)}. \tag{7.2}$$

Однако величина замещающей работы P непосредственно зависит от значения технологического индекса α. Темп роста замещающей работы по уравнению (5.20) может быть представлен как

$$\eta = \frac{\delta - (1-\alpha)\nu}{\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1, \tag{7.3}$$

где величина ν определена уравнением (5.17) и включает возможные поправки, которые обсудим далее (см. соотношения 7.7). Временная зависимость работы замещения может быть восстановлена при решении уравнения

$$\frac{dP}{dt} = \eta(\alpha)P. \tag{7.4}$$

При заданных временных рядах для Y, K и L уравнения (7.2) - (7.4) позволяют оценивать технологический индекс α и замещающую работу P как функции времени.[1]

Результаты вычисления для α изображены на рис. 7.1 наряду со значениями α, вычисленными по доступным данным (the US Bureau of Census) для порога бедности, который принят в качестве оценки минимального личного потребления. Заметим, что выбор начальных значений технологического индекса позволяет нам перемещать всю кривую α целиком вверх и вниз, так что важно иметь, по крайней мере, одну точку, где абсолютное значение α известно, в качестве которого, согласно оценке в разделе 7.1.1, взято значение $\alpha \approx 0.4$ в 1997 году. Расчетные значения технологического индекса можно использовать для того, чтобы оценить полное личное потребление; полученные результаты для США в двадцатом столетии показаны на рис. 2.4 второй главы.

Указанные значения технологического индекса позволяют нам вычислить темп роста работы замещения η и восстановить временну́ю зависимость производительной энергии как производственного фактора. Результаты для P показаны на рис. 2.8 сплошной кривой наряду с полным (первичным) потреблением энергии в американской экономике. Замещающая работа производственного оборудования P является только частью суммарной первичной энергии E. Можно видеть, что работа замещения возрастает в среднем быстрее, чем полное потребление энергии в годах 1900 - 2000, однако, имеется несколько лет спада.

7.1.3 *Технологические коэффициенты*

В силу формулы (5.20), технологический индекс α может быть также вычислен через технологические коэффициенты $\overline{\lambda}$ и $\overline{\varepsilon}$. Чтобы независимо оценить соответствующие значения коэффициентов трудо- и энерготребования, следует рассмотреть технологическую работу непосредственно, но, альтернативно, если мы имеем временны́е ряды производственных факторов и инвестиций, значения коэффициентов, могут быть вычислены по уравнениям (5.6) и (5.13). Последние могут быть переписаны в терминах безразмерных технологических

[1] Уравнения (7.2) - (7.4) удобно использовать, когда, как обычно, заданы дискретные значения Y, K и L. Диференциальную форму уравнений можно найти в работе (Pokrovskii, 2014).

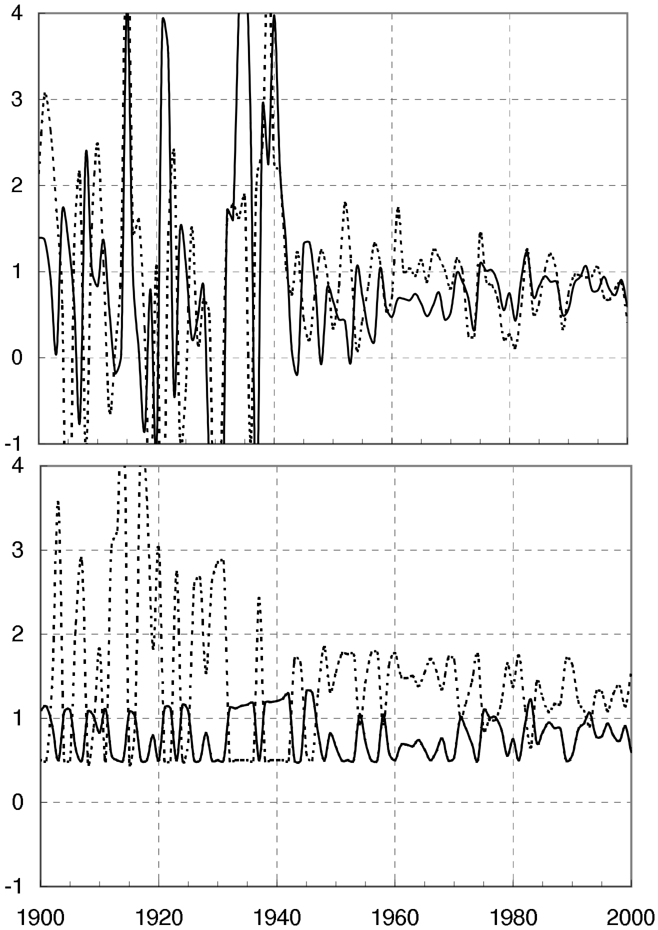

Рисунок 7.2 Технологические коэффициенты

Вверху: Трудотребование (сплошная линия) и требование первичной энергии (пунктир), вычисленные по уравнениям (7.5) (для трудозатрат при $\nu' = 0$) и (7.12) на основании временны́х рядов для основного капитала, трудозатрат, энергозатрат и инвестиций. Можно заметить, что неравенства (7.6) выполняются не всегда.

Внизу: Исправленные значения трудотребования (сплошная линия) и требование замещающей работы (пунктир), вычисленные по уравнениям (7.5) (для трудозотрат при $\nu' \neq 0$). Значения ν' оценены по уравнению (7.7) при $\overline{\lambda}_0 = \overline{\varepsilon}_0 = 0.5$.

коэффициентов как

$$\frac{dL}{dt} = \left(\overline{\lambda}\frac{I}{K} - \nu' - \mu\right)L, \qquad \frac{dP}{dt} = \left(\overline{\varepsilon}\frac{I}{K} - \eta' - \mu\right)P. \tag{7.5}$$

Уравнения (7.5) дают основу для метода оценки технологических коэффициентов $\overline{\lambda}$ и $\overline{\varepsilon}$, причём следует принимать во внимание условия (6.10) неотрицательности предельных производительностей (принцип продуктивности), которые через технологический индекс могут быть переписаны как

$$0 < \overline{\lambda} < \frac{1}{1-\alpha}, \quad 0 < \overline{\varepsilon} < \frac{1}{\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1. \tag{7.6}$$

Коэффициент μ в уравнениях (7.5) представляет коэффициент выбытия капитала, который оценивается по временны́м рядам I и K; эти эмпирические значения оценены в разделе 2.3.3 и показаны на рис. 2.6. Условия (7.6) позволяют нам оценивать значения дополнительных изменений, связанных с трудозатратами и замещающей работой, ν' и η', соответственно, на основе временны́х рядов величин I/K, L и P.

Потребление труда L считается производительным, и значения трудотребования $\overline{\lambda}$ могут быть рассчитаны непосредственно по первому из уравнений (7.5) при известных значениях μ и ν'. Использование этой процедуры при $\nu' = 0$ определяет для некоторых лет отрицательные значения технологических коэффициентов (см. верхний график на рис. 7.2), что следует связать с ошибками в оценке количества труда, которые должны быть исправлены. Чтобы гарантировать выполнение соотношений (7.6), следует учитывать поправку ν' в виде

$$\nu' = -\frac{1}{L}\frac{dL}{dt} - \mu + \begin{cases} \overline{\lambda}_0\ \dfrac{I}{K}, & \dfrac{1}{L}\dfrac{dL}{dt} + \mu < \overline{\lambda}_0\ \dfrac{I}{K}, \quad \overline{\lambda}_0 < \dfrac{1}{1-\alpha}, \\[2ex] \dfrac{1-\overline{\varepsilon}_0\,\alpha}{1-\alpha}\ \dfrac{I}{K}, & \dfrac{1}{L}\dfrac{dL}{dt} + \mu > \dfrac{1-\overline{\varepsilon}_0\,\alpha}{1-\alpha}\ \dfrac{I}{K}, \ \overline{\varepsilon}_0 < \dfrac{1}{\alpha} \end{cases} \tag{7.7}$$

где положительные величины $\overline{\lambda}_0$ и $\overline{\varepsilon}_0$ являются заданными нижними значениями технологических коэффициентов.

Исправленные значения технологического коэффициента $\overline{\lambda}$ при заданных нижних значениях технологических коэффициентов $\overline{\lambda}_0 = \overline{\varepsilon}_0 = 0.5$ показаны на нижнем графике рис. 7.2. Значения дополнительной нормы обесценивания ν', оказываются заметными в первой половине прошлого столетия, но совершенно несущественными после 1950 года. Известно, что оценки экономических величин для первой половины столетия менее надежны, чем для второй, так что отклонение величины ν' от ноля может быть связано не только с изменением характеристик технологического оборудования, но и с некоторыми возможными ошибками в оценке экономических величин. Здесь уместно привести слова Моргенштерна (Morgenstern, 1973, p. 4): 'существуют много причин, по которым нужно глубоко сомневаться в "точности"количественных экономических данных и наблюдений'.

Далее, можно вернуться к оценке второго технологического коэффициента – требования заменяющей работы $\overline{\varepsilon}$. Пунктирная линия на верхнем графике рис. 7.2 показывает значения требования первичной энергии, рассчитанные на основе первого уравнения из набора (7.12) (или же второго уравнения из набора (7.5), в котором первичная энергия E поставлена вместо заменяющей работы P). Пунктирная линия на нижнем графике рис. 7.2 показывает значения требования заменяющей работы, рассчитанные, при известных (см. предыдущий раздел) значениях трудотребования и технологического индекса α, по формуле

$$\overline{\varepsilon} = \frac{1 - (1 - \alpha)\overline{\lambda}}{\alpha} \tag{7.8}$$

Для сравнительно надежных данных периода 1950 - 2000 годов, когда технологические коэффициенты не меняются существенным образом, мы можем оценить средние значения величин как

$$\overline{\lambda} = 0.758, \quad \overline{\varepsilon} = 1.367. \tag{7.9}$$

Первая величина оказывается меньшей единицы. Это означает, что в течение этого промежутка времени в среднем вводятся трудосберегающие технологии, но при этом величина замещающей работы увеличивается. Можно видеть, что технологические коэффициенты определяются двумя противоречивыми тенденциями. Чтобы сберегать и труд, и энергию, оба коэффициента должны быть меньшими чем единица. Однако один из технологических коэффициентов должен быть больше единицы для того, чтобы предельные производительности были положительны. В результате технологические коэффициенты пульсируют около единицы.

7.1.4 *Первичная работа замещения*

При рассмотрении свойства сторонней энергии замещать трудозатраты удобно, как уже обсуждалось в разделе 2.5.1, из полной первичной энергии E выделить часть, которая после некоторых преобразований обеспечивает работу производственного оборудования P, так что первичная энергия может быть разделена на две части

$$E = E_C + E_P. \tag{7.10}$$

Эти две части, как функции времени, ведут себя по различному относительно трудозатрат L как функции времени. Можно ожидать, что при постоянном выпуске увеличению трудозатрат соответствует увеличение первой части E_C, в то время как вторая часть E_P, связанная с работой замещения, уменьшается.

Чтобы проанализировать ситуацию (Pokrovski, 2007), следует рассмотреть темпы роста производственных факторов, которые, связаны уравнениями (7.5) с инвестициями I, коэффициентом обесценивания μ, и технологическими характеристиками $\overline{\lambda}$ и $\overline{\varepsilon}$ производственной системы. Безразмерные технологические коэффициенты $\overline{\lambda}$ и $\overline{\varepsilon}$ являются характеристиками производственного оборудования, которые определяют необходимое количество трудозатрат и работы замещения на единицу введенного оборудования (измеренного в единицах основного капитала K), соответственно. Технологические коэффициенты следует, очевидно, рассматривать как характеристики процесса замещения трудозатрат внешней работой. В силу определения работы замещения, следует в идеальном случае определить корреляцию[2] технологических коэффициентов как

$$\mathrm{corr}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}) = -1. \tag{7.11}$$

Дополнительно, мы должны рассмотреть изменения первичной энергии E и ее частей E_{C} и E_{P}, из которых последняя является первичной работой замещения. Мы предполагаем, что каждая величина также характеризована своими собственными технологическими коэффициентами, так что, наряду с уравнениями (7.5), можно записать ещё три уравнения баланса

$$\frac{dE}{dt} = \left(\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}} \frac{I}{K} - \mu\right) E, \ \frac{dE_{\mathrm{C}}}{dt} = \left(\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}} \frac{I}{K} - \mu\right) E_{\mathrm{C}}, \ \frac{dE_{\mathrm{P}}}{dt} = \left(\overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}} \frac{I}{K} - \mu\right) E_{\mathrm{P}}. \tag{7.12}$$

[2]Корреляция и ковариация двух величин a и b определяются как

$$\mathrm{corr}\,(a,b) = \frac{\mathrm{cov}\,(a,b)}{\Delta a\,\Delta b}, \quad (\Delta a)^2 = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(a_j - \langle a\rangle)^2,$$

$$\mathrm{cov}\,(a,b) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(a_j - \langle a\rangle)(b_j - \langle b\rangle), \quad \langle a\rangle = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} a_j.$$

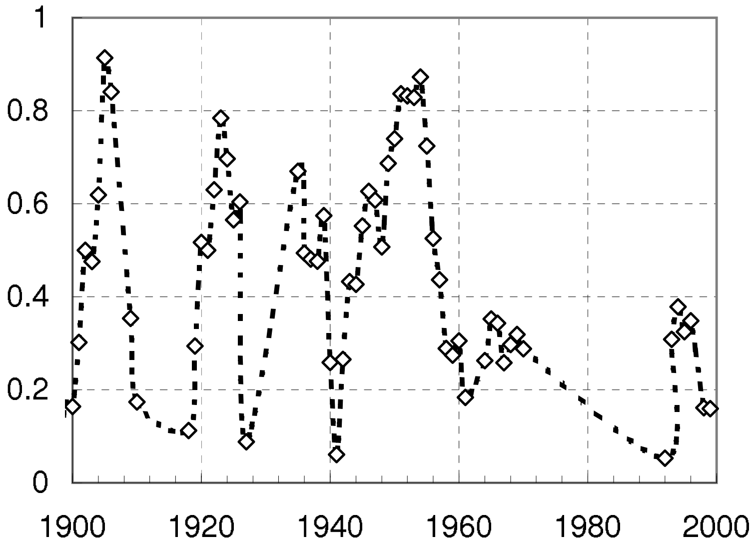

Рисунок 7.3 Доля первичной производительной энергии

На рисунке представлены значения отношения первичной замещающей работы к полному потреблению энергии $x = E_{\mathrm{P}}/E$. Точки вычислены по уравнению (7.21).

Вторые слагаемые правых сторон этих уравнений отражают уменьшение использования факторов производства из-за удаления части оборудования производства со службы. Уменьшение количества производственного оборудования (основного капитала) характеризуется коэффициентом обесценивания μ, который, по предположению, также является коэффициентом обесценивания всех других величин. Это справедливо для случаев, когда установленное технологическое оборудование не меняет своего качества в течение времени обслуживания, что принято для простоты при написании уравнений (7.12).

Можно предположить, что величина $\overline{\varepsilon}$ может представлять величину $\overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}}$, а величина $\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}}$ пропорциональна величине $\overline{\lambda}$

$$\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}} = \frac{\langle \overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}} \rangle}{\langle \overline{\lambda} \rangle}\,\overline{\lambda}, \quad \overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}} = \overline{\varepsilon}, \tag{7.13}$$

так что некоторые из корреляций технологических коэффициентов должны быть определены как

$$\mathrm{corr}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}}) = 1, \quad \mathrm{corr}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}}) = -1, \quad \mathrm{corr}\,(\overline{\varepsilon}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}}) = 1. \tag{7.14}$$

Заметим, что эти соотношения являются следствием предположений (7.13) и, в отличие от соотношения (7.11), должны рассматриваться как приблизительные.

Можно видеть что, вследствие уравнений (7.10) и (7.12), некоторые из технологических коэффициентов связаны соотношением

$$\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}} = (1-x)\,\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}} + x\,\overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}}, \quad x = \frac{E_{\mathrm{P}}}{E}. \tag{7.15}$$

Это уравнение может быть легко получено, если просуммировать последние два уравнения из (7.12) и сравнить результат с первым уравнением из того же самого набора. Из соотношения (7.15) следует также соотношения для средних значений, ковариантностей и корреляций, соответственно,

$$\langle\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}}\rangle = (1-x)\langle\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}}\rangle + x\langle\overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}}\rangle, \tag{7.16}$$

$$\mathrm{cov}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}}) = (1-x)\,\mathrm{cov}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}}) + x\,\mathrm{cov}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}}) \tag{7.17}$$

$$\mathrm{corr}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}})\Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}} = (1-x)\,\mathrm{corr}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}})\,\Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}} + x\,\mathrm{corr}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}})\Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}} \tag{7.18}$$

Принимая уравнение (7.14) во внимание, переписываем последнее соотношение в виде

$$\mathrm{corr}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}})\Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}} = (1-x)\,\Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}} - x\,\Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}}. \tag{7.19}$$

Можно использовать соотношения (7.13) и (7.16), чтобы найти среднеквадратичные отклонения величин

$$\Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}} = \frac{\langle\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}}\rangle}{\langle\overline{\lambda}\rangle}\,\Delta\overline{\lambda}, \quad \Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}} = \Delta\overline{\varepsilon}, \quad \langle\overline{\varepsilon}_{\mathrm{C}}\rangle = \frac{\langle\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}}\rangle - x\,\langle\overline{\varepsilon}_{\mathrm{P}}\rangle}{1-x} \tag{7.20}$$

Уравнения (7.19) и (7.20) определяют формулу для вычисления отношения первичной производительной энергии к полной первичной энергии

$$\frac{E_{\mathrm{P}}}{E} = \frac{\langle\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}}\rangle\,\Delta\overline{\lambda} - \langle\overline{\lambda}\rangle\,\mathrm{corr}\,(\overline{\lambda}, \overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}})\,\Delta\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}}}{\langle\overline{\varepsilon}\rangle\,\Delta\overline{\lambda} + \langle\overline{\lambda}\rangle\,\Delta\overline{\varepsilon}} \tag{7.21}$$

Формула содержит статистические характеристики величин $\overline{\lambda}$, $\overline{\varepsilon}$ и $\overline{\varepsilon}_{\mathrm{E}}$, которые могут быть оценены непосредственно по уравнениям (7.5) и (7.12) на основе расчетных значений работы замещения и эмпирических временны́х рядов для основного капитала K, трудозатрат L, первичной энергии E и инвестиций (см. приложение B). По вычисленным значениям, которые представлены на рис. 7.3, легко оцениваются абсолютные значения первичной производительной энергии, которые показаны на рис. 2.8. Результаты представляются реалистическими (близкими к прямым оценкам первичной работы замещения) и показывают подъёмы и спады величины в отличие от упрощенных прямых оценок, показанных там же. Отклонения расчетных значений первичной работы замещения от эмпирических совершенно понятны, принимая во внимание довольно произвольные предположения, сделанные при эмпирической оценке величины. Для некоторых лет 1911 - 17, 1927 - 34, 1962 - 63 и 1971 - 88, расчетные значения являются нереалистично малыми; можно думать, что предположения (7.13), которые являются следствиями предположений о нормах обесценивания производственного оборудования, являются слишком грубыми в этих случаях.

7.2 Характеристики производительности

Важнейшими характеристиками производственной системы являются предельные производительности ξ, β и γ, определяемые дифференциальными формулами (6.2) и (6.14), то есть

$$dY - \Delta dt = \begin{cases} \xi\, dK \\ \beta\, dL + \gamma\, dP \end{cases}, \qquad \Delta = Y \ln\left(\frac{L_0}{L}\frac{P}{P_0}\right)\frac{d\alpha}{dt}. \tag{7.22}$$

При вычислении предельных производительностей по эмпирическим данным предполагается, что временны́е ряды выпуска Y, факторов производства K, L и P и технологического индекса α известны (последние две величины как результат вычислений, продемонстрированных в разделе 7.1.2).

Предельные производительности связаны друг с другом выражениями (6.8), (6.13) и (6.15), то есть

$$\xi = \beta\,\frac{L}{K} + \gamma\,\frac{P}{K}, \quad \beta = \xi\,(1-\alpha)\,\frac{K}{L}, \quad \gamma = \xi\,\alpha\,\frac{K}{P}, \tag{7.23}$$

которые позволяют нам сравнивать альтернативные оценки предельных производительностей, проверяя тем самым теорию.

7.2.1 *Производительность капитала*

Непосредственный способ вычислить предельную производительность капитала ξ заключается в прямом использовании формулы

$$dY - \Delta dt = \xi\, dK. \tag{7.24}$$

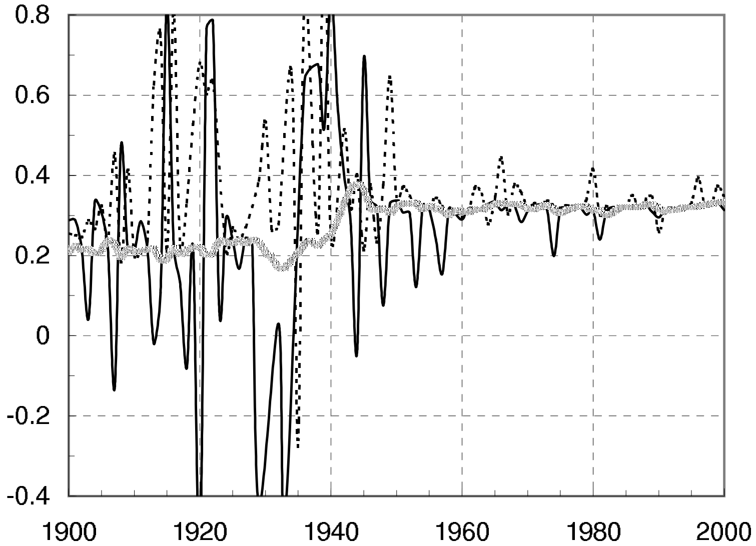

Рисунок 7.4 Предельная производительность капитала

Сплошная линия представляет прямые оценки ξ по эмпирическим данным и уравнению $dY - \Delta dt = \xi\, dK$. Пунктирная линия показывает величину, вычисленную по уравнению (7.23), в то время как предельные производительности β и γ оценены непосредственно по эмпирическим данным и уравнению $dY - \Delta dt = \beta\, dL + \gamma\, dP$. Точечная линия представляет отношение Y/K.

Другой путь состоит в том, чтобы использовать усредненную производительность капитала $\varXi$, определенную соотношением

$$Y = \varXi\ K. \tag{7.25}$$

и вычислить предельную производительность через усредненную, предполагая существование зависимости усреднённой производительности от капитала, по формуле

$$\xi = \varXi + K\,\frac{\mathrm{d}\,\Xi}{\mathrm{d}K}. \tag{7.26}$$

Два метода вычисления дают почти идентичные результаты, которые показаны на рис. 7.4 сплошной линией. Для 1950 - 2000 годов среднее значение предельной производительности и ее стандартного отклонения могут быть оценены как

$$\xi = (0.307 \pm 0.044)\ year^{-1}. \tag{7.27}$$

Заметим, что дифференциалы dY и dK не могут быть определены с большой точностью, так что отрицательные и очень большие значения предельной производительности исключены как ошибочные.

Еще один способ оценить предельную производительность капитала состоит в том, чтобы использовать первое из отношений (7.23), предполагая, что предельные производительности трудозатрат и замещающей работы, β и γ, соответственно, непосредственно вычислены по эмпирическим данным, как будет продемонстрировано в следующем разделе. Величина ξ, вычисленная таким образом, показана на рис. 7.4 пунктирной линией. Для 1950 - 2000 годов, в этом случае, среднее значение предельной производительности и ее стандартного отклонения могут быть оценены как

$$\xi = (0.337 \pm 0.039)\, year^{-1}. \tag{7.28}$$

Значения предельной производительности (7.27) и (7.28) фактически совпадают со значением усредненной производительности Y/K, которая имеет значение (0.321 ± 0.009) $year^{-1}$; это свидетельствует о том, что предельная производительность капитала не зависит от аргумента K. Согласно многочисленным наблюдениям (Scott, 1989; Blanchard and Fisher, 1989), темп рост Y приблизительно равен темпу роста капитала K, что видно непосредственно при сравнении формул (2.14) и (2.29), так что усреднённая производительность капитала Y/K приблизительно постоянна в американской экономике во второй половине двадцатого столетия.

7.2.2 *Производительность труда и замещающей работы*

Прямой способ вычислить предельные производительности труда и замещающей работы состоит в том, чтобы использовать формулу

$$dY - \varDelta dt = \beta\, dL + \gamma\, dP. \tag{7.29}$$

Результаты прямой оценки безразмерных предельных производительностей $\beta L/K$ и $\gamma E/K$ по формуле (7.29) показаны на графиках рис. 7.5 сплошными линиями. Усредненные значения величин за 1950 - 2000 годы оценены как

$$\begin{aligned} \beta\,\frac{L}{K} &= (0.211 \pm 0.048)\, year^{-1}, \\ \gamma\,\frac{P}{K} &= (0.117 \pm 0.012)\, year^{-1} \end{aligned} \tag{7.30}$$

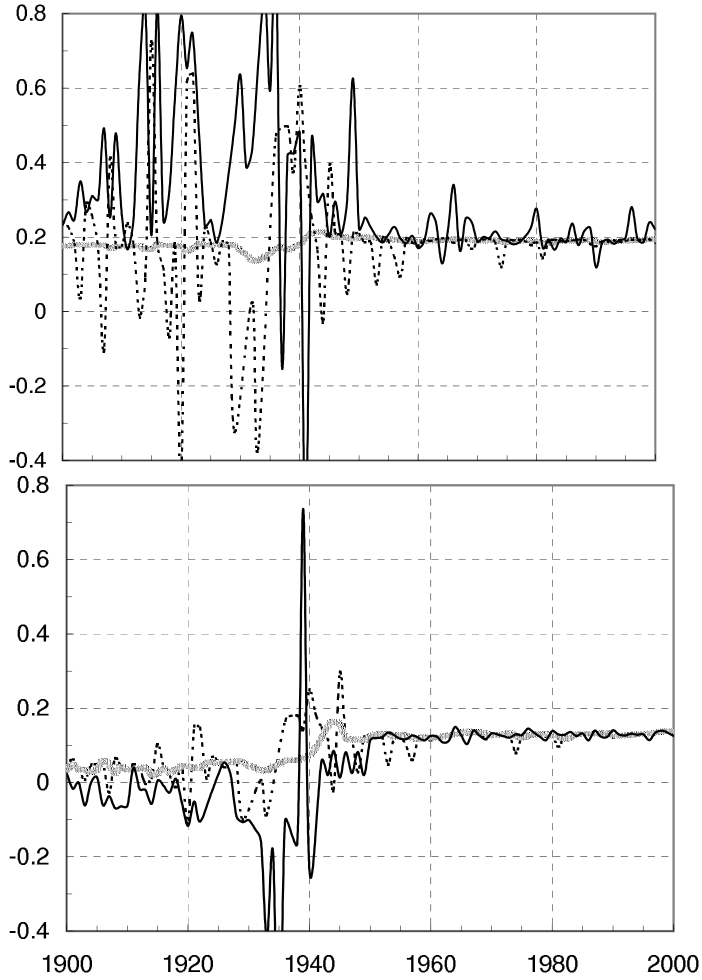

Рисунок 7.5 Предельные производительности труда и замещающей работы

Сплошные кривые показывает прямые оценки производительности труда (верхний график) и замещающей работы (нижний график) по уравнению (7.29). Пунктирные кривые представляет результаты вычислений по уравнению (7.23) при известной производительности капитала. Точечные линии представляют результаты вычислений предельных производительностей по формулам (7.23) при эмпирических значениях Y/K и значениях технологического индекса α, вычисленного в разделе 7.1.2.

Отклонения предельных производительностей от средних значений связано, по-видимому, со случайными обстоятельствами; отрицательные и очень большие значения предельных производительностей опущены как связанные с ошибочными значениями производственных факторов.

Другим способом предельные производительности β и γ могут быть выражены через усреднённые производительности труда и энергии, B и Γ, которые являются функциями отношения P/L и определены соотношениями

$$Y = B(P/L)\,L, \quad Y = \Gamma(P/L)\,P. \tag{7.31}$$

Эти соотношения дают альтернативный (по сравнению с уравнением 7.29), метод прямой оценки предельных производительностей. Действительно, вычислив полный дифференциал выпуска по первому уравнению, получаем выражение для предельных производительностей

$$\beta = B + \frac{P}{L}\,\frac{d\,B}{d(P/L)}, \quad \gamma = \frac{d\,B}{d(P/L)}. \tag{7.32}$$

Подобным же образом можно найти другие выражения, вычислив полный дифференциал выпуска по второму уравнению из (7.31),

$$\beta = -\left(\frac{P}{L}\right)^2 \frac{d\,\Gamma}{d(P/L)}, \quad \gamma = \Gamma + \frac{P}{L}\,\frac{d\,\Gamma}{d(P/L)} \tag{7.33}$$

Вычисления с использованием соотношений (7.32) или соотношений (7.33) дают несколько различные значения предельных производительностей: разумно использовать средние значения двух вычислений, которые, впрочем, не отличаются существенно от приведённых выше результатов.

Альтернативно, предельные производительности β и γ могут быть оценены по отношениям (7.23). На графиках рис. 7.5 пунктирные линии показывают результаты вычислений предельных производительностей по эмпирическим значениям ξ и значениям технологического индекса α, вычисленного в разделе 7.1.2. Для 1950 - 2000 годов альтернативные средние значения предельных производительностей и стандартные отклонения от них могут быть оценены как

$$\begin{aligned} \beta\,\frac{L}{K} &= (0.192 \pm 0.025)\,year^{-1}, \\ \gamma\,\frac{P}{K} &= (0.129 \pm 0.018)\,year^{-1} \end{aligned} \tag{7.34}$$

Эти значения следует сравнить с записанными выше оценками (формулы 7.30) тех же самых величин.

7.2.3 *Что такое производительность капитала?*

Использование производственного оборудования приводит к увеличению производства стоимости, что породило миф о производительной силе капитала. Полученные результаты сводят производительную силу капитала (в данном случае физического или основного производственного капитала) к оценке усилий дюдей и замещающей работы; предельную производительность капитала, в соответствии с соотношением (7.23), следует рассматривать как 'сумму' предельных производительностей труда и замещающей работы; нет необходимости включать какие либо другие факторы в производственную функцию. Хотя производственное оборудование (основной капитал) необходимо для того, чтобы привлечь дополнительное количество внешней энергии к замещению труда, работа (трудовые усилия) может быть заменена только работой (услугами капитала), но не капиталом. Производительность основного капитала, фактически, является производительностью труда и замещающей работы, и главный результат технологического прогресса представляется как замещение человеческих усилий работой внешних источников энергии посредством различных сложных приспособлений. Общественная производственная система является механизмом, привлекающим огромное количество энергии для того, чтобы преобразовывать материю в вещи полезные для человека.

Согласно выражению (6.18), производительность капитала изменяется, если технологические коэффициенты и/или производственные факторы изменяются. Это величина, очевидно, зависит от определения основного капитала K, который может пониматься в узком смысле как основной производственный капитал, или же в широком смысле, с учётом всех инвестиций (см. преамбулу к приложению B). Доля основного производственного капитала в полных инвестициях остается неизвестным, но что оказывается более важным, темп роста основного производственного капитала может отличаться от темпа роста, оцененного на основании доступных статистических данных.

7.2.4 *Производительность труда*

Наблюдаемый научно-технический прогресс сводится к процессам введения инноваций, то есть последовательному замещению орудий, материалов, конструкций, приспособлений и прочего более совершенными с той или иной точки зрения образцами. Всё это приводит к повышению производительности труда, определяемую как отношение стоимости выпуска в денежных единицах постоянной покупательной способности к трудозатратам. Согласно ранее полученным формулам, производительность труда определяется выражением

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

Эта величина является той самой производительностью труда, возрастание которой определяет смену одной общественной формации другой, более совершенной.

Изменение производительности труда связано с двумя обстоятельствами. Главным является процесс замещения живого труда работой машин при содействии сил природы; остальные процессы замещения, среди которых замещение орудий производства (инструментов), предметов труда (материалов) и изменение организации производства, меняют эффективность процесса замещения живого труда. В рассматриваемой теории выражение для темпа роста производительности труда определяет два соответствующих слагаемых:

$$\frac{1}{A}\frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}t} = \frac{(1-\overline{\lambda})(\nu+\mu)}{\overline{\lambda}} + \frac{1}{\xi}\frac{\mathrm{d}\xi}{\mathrm{d}t}.$$

Это выражение следует из соотношения (6.21), записанного при предположении, что характеристики оборудования не меняются после его установления, то есть, $\nu' = 0$ и $\eta' = 0$. Первое слагаемое записанного уравнения, кроме известного коэффициента амортизации μ, содержит безразмерную величину $\overline{\lambda}$, которая характеризует вводимую в производство технологию. Если $\overline{\lambda} = 1$, то замещение живого труда механическим не наблюдается и все приращение продукта, определяемое первым слагаемым, связано только с увеличением численности работающих. Человеческие усилия являются главной движущей силой, но, при условии $\overline{\lambda} < 1$ усилия работающих частично замещаются работой машин, движимых сторонними источниками энергии. Второе слагаемое описывает все изменения, связанные с замещением орудий производства (инструментов), предметов труда (материалов)

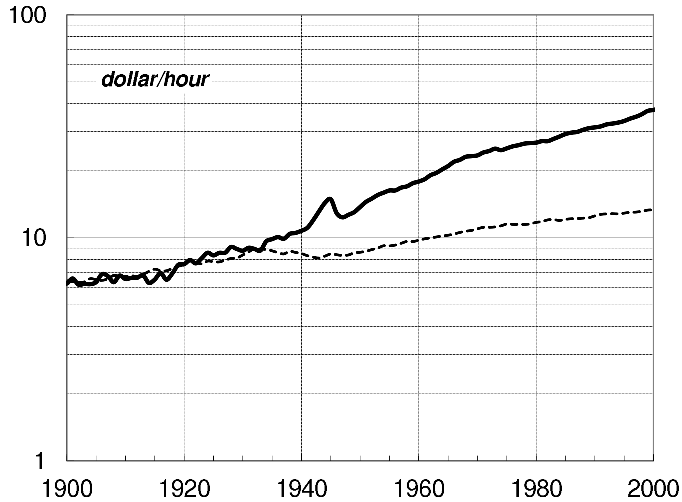

Рисунок 7.6 Производительность труда в США

Сплошная линия представляет фактический значения производительности труда в США, измеренной в долларах 1996 года на один час рабочего времени. Изменение производительности имеет две составляющие; пунктирная линия представляет изменение производительности, связанные только с изменением отношения P/L при $\alpha = \alpha(1900)$, то есть при неизменной эффективности использвания общественных ресурсов.

и изменением организвции производства. Изменение предельной производительности капитала ξ связано формулой (6.18) с технологическим индексом α. Изменение технологического индекса определяется по формуле (9.21) внутрисекторным техническим прогрессом. При увеличении технологического индекса α эффективность замещения живого труда механическим увеличивается.

Записанные выражения позволяют проследить с какого рода замещениями было связано изменение производительности труда в США в прошлом столетии. На рис. 6.3 сплошной линией представлены фактические значения производительности труда; за столетие эта величина увеличилась в шесть раз. Пунктирная линия изображает вклад от замещения живого труда механическим при предположении, что с начала столетия, когда технологический индекс был равен примерно 0.2 (см. рис.$\dot{7}$.1), не происходили более никакие другие процессы замещения. Этот процесс даёт увеличение производительности труда в два раза за столетие. К увеличению эффективности процесса замещения усилий людей работой машин в три раза привело замещением орудий производства (инструментов), предметов труда (материалов) и изменением организации производства. При этом мы замечаем (см. рис. 2.1), что интенсивные процессы замещения такого рода происходили в США в период 1932-1945 годов. Однако, основным процессом, приведшим к увеличению производительности труда в США в шесть раз за столетие, был процесс замещения усилий людей работой машин.

Литература

Blanchard O.J. and Fisher S. (1989) Lectures on Macroeconomics. MIT Press, Gambridge MA.

Morgenstern O. (1973) On the Accuracy of Economic Observation, Second edition, completely revised. Princeton University Press, Princeton NJ.

Pokrovski V.N. (2003) Energy in the theory of production. Energy 28: 769-788.

Pokrovski V.N. (2007) Productive energy in the U.S. economy. Energy 32: 816-822

Pokrovskii V.N. (2014) Endogenous technical progress in the theory of economic growth. Hindawi Publishing Corporation, ISRN Economics Volume 2014, Article ID 928121, http://dx.doi.org/10.1155/2014/928121

Scott M.F.G. (1989) A New View of Economic Growth. Clarendon Press, Oxford.