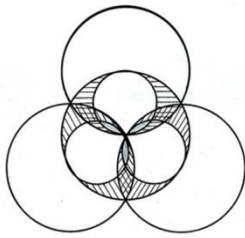


УДК 330.42



ОБЩЕСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ В ТЕОРИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

Покровский В.Н. (д.ф.-м.н., проф.)

*Московский Государственный Университет Экономики, Статистики и
Информатики (МЭСИ), Москва, РФ;*

vpok@comtv.ru, ecodynamics@yandex.ru

Аннотация. Закономерности развития производственной системы обсуждаются на основе представления о том, что прогресс в хозяйственной деятельности человека связан с успехами в технологическом использовании усилий человека и источников энергии, которые рассматриваются как важнейшие общественные производственные ресурсы. Введено понятие замещающей работы оборудования P , которая во всех отношениях эквивалентна усилиям людей в производстве, может считаться услугой капитала и рассматриваться как стоимость-образующий фактор, наряду с традиционными производственными факторами. Выпуск системы (производство стоимости) определяется как функция трёх переменных, две из которых: трудозатраты L и замещающая работа P рассматриваются как активные источники стоимости, что позволяет ввести энергетическую меру стоимости, а физический капитал K , как производственный фактор, играет пассивную роль. При предположении, что производственная система стремится использовать все доступные общественные ресурсы, определённые внешними по отношению к системе обстоятельствами, формулируются уравнения для производственных факторов, которые сопровождаются также уравнениями для технологических характеристик производственного оборудования. Траектория развития системы определяется характеристиками самой системы и доступностью общественных ресурсов, которые не могут быть использованы полностью одновременно, что приводит к смене мод развития и колебаниям выпуска – деловым циклам. На примере экономики США демонстрируется, что система уравнений способна описывать наблюдаемую траекторию развития и выпуск производственной системы.

Ключевые слова: Валовой внутренний продукт, Динамика производства, Закон замещения, Принцип эволюции, Стоимость, Экономодинамика, Энергия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Фундаментальной проблемой теории экономического роста является разработка методов непротиворечивой интерпретации создания богатства. И в эпоху Маркса, и в настоящее время не возникает разногласий по поводу того, что труд (в обобщённом смысле, включая усилия крестьян, рабочих и служащих) L оказывается важнейшим источником стоимости, но в эпоху, когда при производстве используются машины, темп роста выпуска превышает темп роста затрат рабочей силы, что демонстрирует увеличение производительности труда и вызывает необходимость введения в теорию дополнительного, связанного с оборудованием, производственного фактора. Введение физического капитала K , как оценки стоимости производственного оборудования, не смогло объяснить должным образом увеличение производительности труда, и было предложено [1, 13] в качестве технологической характеристики установленного оборудования использовать, наряду с его количеством K , услугу капитала, так что выпуск производственной системы в стоимостных единицах может быть определен как функция капитала K и затрат труда L с некоторой зависящей от времени поправкой

$A(t)$, учитывающий различие между использованными производственными факторами и услугами ими оказываемыми при производстве стоимости

$$Y = A(t)f(L, K) \quad (1)$$

Выпуск Y и капитал K измеряются денежными единицами, а трудозатраты L , обычно оцениваются в человеко-часах, но фактически следует иметь в виду затраты энергии человеческого организма. Это простое выражение мы находим в начале теорий экономического роста [1].

Рассматривая роль физического капитала в процессе создания стоимости, Джоан Робинсон [12] указывала на то, что машины и приспособления устанавливаются для того, чтобы выполнять определённые действия, облегчать определённую работу, и потому необходима какая-то характеристика активности используемого основного капитала. Анализ показывает [7, 8], что универсальной характеристикой производственного процесса является работа производственного оборудования P , которая замещает усилия людей и, как нетрудно видеть, может считаться услугой капитала (изложение деталей можно найти в моей монографии [10]). Эти соображения приводят к простой схематизации, при которой производственная система рассматривается как совокупность оборудования (измеренная его стоимостью K), получающего способность действовать при использовании труда L и производительной энергии P , так что рыночная оценка стоимости произведённых продуктов является функцией трёх производственных факторов

$$Y = Y(K, L, P). \quad (2)$$

По определению, работа замещения P во всех отношениях эквивалентна усилиям работающих. При этом, в отличие от активных факторов L и P – истинных источников стоимости, капитал K является пассивным производственным фактором, измеряемым, также как и выпуск Y денежными единицами стоимости. Трудозатраты L , и замещающая работа внешних источников энергии P измеряются в энергетических единицах.

Далее в статье производственная функция (2) будет конкретизирована (раздел 2.2); уравнения для факторов производства, будут записаны при предположении, что производственная система стремится использовать все доступные общественные ресурсы (раздел 3.2). В заключительной части (раздел 3.3) демонстрируется на примере экономики США, что установленная система уравнений способна описывать наблюдаемую траекторию развития.

2. ВЫПУСК ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

2.1. Пример оценки произведённой стоимости. В простейшем случае, общественная производственная система рассматривается как единая отрасль, производящая валовой внутренний продукт Y , что является стоимостью всех созданных производственной системой вещей и услуг, произведённых в единицу

времени [14]. Для иллюстрации на рис. 1 показана величина ВВП Соединённых Штатов Америки, измеренная различными единицами стоимости.

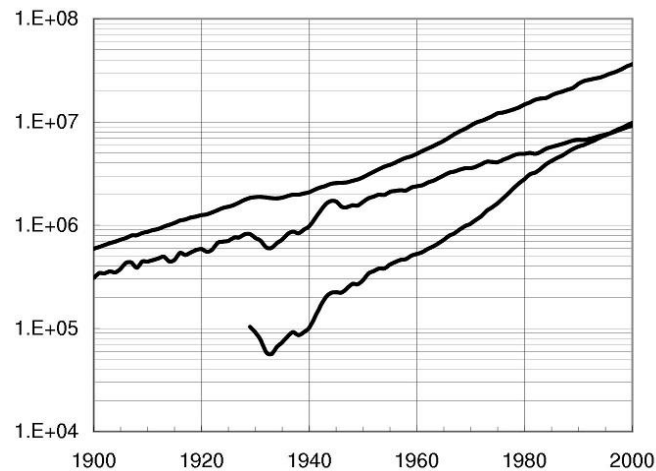


Рис. 1. Производство стоимости в экономике США.

Короткая кривая изображает ВВП в миллионах текущих долларов, средняя – рост реального дохода, измеренного денежной единицей постоянной покупательной способности – в миллионах долларов 1996 года. Верхняя кривая представляет значения ВВП в миллионах условных энергетических долларов, каждый из которых равен 50000 джоулей (см. раздел 2.3).

2.2. Закон производства стоимости. Для того, чтобы записать конкретное выражение производственной функции, заметим, что работу оборудования P и трудозатраты L следует рассматривать как замещающие друг друга, а количество производственного оборудования, универсально измеренного его стоимостью K , следует считать комплементарным к работе производственных факторов L и P . 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, используем степенную функцию и записываем производственную функцию (2) в виде двух альтернативных соотношений [10].

$$Y = \begin{cases} \xi K, & \xi > 0 \\ Y_0 \frac{L}{L_0} \left(\frac{L_0 P}{L P_0} \right)^\alpha, & 0 < \alpha < 1 \end{cases} \quad (4),$$

где L_0 и P_0 – значения трудозатрат и энергозатрат в базисном году. Соотношения (4) между выпуском производственной системы и факторами производства универсальны, но величины α и ξ являются взаимосвязанными характеристиками производственной системы и меняются при введении инноваций, то есть последовательной замене орудий, материалов, конструкций, приспособлений и прочего более совершенными с той или иной точки зрения образцами.

Две формулировки основного экономического закона (4) определяют две интерпретации процесса производства стоимости. Первая линия соотношения (4)

связывает выпуск со стоимостью производственного оборудования K (основной капитал), что даёт основание для утверждения о производительной силе капитала, однако, истинными источниками стоимости являются взаимозаменяемые производственные факторы: трудозатраты L и работа внешних источников энергии P . Трудозатраты L измеряются в человеко-часах, было затрачено много усилий для того, чтобы установить методы оценки затрат труда, учитывающие характер труда (тяжелый или лёгкий), интенсивность работы и другие факторы, устанавливающие, в конце концов, что истинной мерой трудозатрат является работа в единицах энергии. Энергия, необходимая для работающего человека, может более чем в два раза превышать энергию, необходимую для покоящегося человека [11] и равна приблизительно $4,18 \times 10^5$ Дж/час.

Оценки [2, 8] работы замещения P позволяют установить, что P является очень малой долей общего потребления энергии; в Соединённых Штатах Америки, например, в начале прошлого века эта доля составляла около 0,001, но увеличилась примерно до 0,01 к концу века. Для сравнения в России в 2000 году доля работы замещения в общем потреблении энергии была менее 0,001 [10, табл. А2 и А3]. Безразмерное отношение замещающей работы к оценке трудовых усилий P/L определяет число 'механических работников', приходящихся на одного 'живого работника', и потому может быть существенной характеристикой технологического процесса. Так, например, это соотношение было больше десяти для производства США в конце прошлого века, в то время как для производства России эта величина достигла двух в конце восьмидесятых годов, но начала быстро уменьшаться после 1990 года [10, Figure 2.9], что свидетельствует не только о количественной, но и технологической деградации общественного производства России.

Соотношение (4) представляет обобщенный закон производства стоимости: теория трудовой стоимости Смита-Маркса дополнена законом замещения, который утверждает, что при производстве стоимости работа сторонних сил природы посредством производственного оборудования замещает усилия людей: труд функционирует в комплексе как труд плюс работа оборудования. Производственные факторы взаимозаменяемы и, в этом смысле, являются эквивалентными, так что труд остается, в конечном счете, используя слова Адама Смита, "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".

2.3. Энергетическая мера стоимости. Валовой внутренний продукт оценивается в денежных единицах. Деньги определяют текущий масштаб стоимости, который не остаётся постоянным с течением времени, что создаёт проблемы в реальной жизни и при теоретическом рассмотрении. При термодинамической интерпретации производственных процессов выясняется, что понятие стоимости родственно понятию энтропии, что позволяет ввести абсолютную энергетическую меру стоимости [3].

Утверждение трудовой теории стоимости, что только труд является источником всего созданного богатства и абсолютной мерой стоимости, справедливо для раннего развития производства (до примерно начала второго тысячелетия нашей эры), когда

привлечение энергии в производство было незначительно [10, глава 12]. В общем случае, при учёте эффекта замещения, можно ожидать, что оценка работы, включающей должным образом учтенную работу занятых в производстве и истинную работу производственного оборудования, окажется абсолютной мерой стоимости. Чтобы убедиться в справедливости этого утверждения, Бодро и автор [3] сравнили полную работу по производству стоимости в единицу времени $L+P$, измеренную энергетическими единицами, с выпуском Y . Отношение $(L+P)/Y$ определяет работу, необходимую для того, чтобы произвести вещь или услугу стоимостью в одну денежную единицу или, другими словами, 'энергетическое содержание' денежной единицы. Рисунок 2 показывает оценки этой величины для Соединенных Штатов и Российской Федерации. Среднее 'энергетическое содержание' доллара 1996 года в последние годы столетия (1960 - 2000) равно $1,4 \times 10^5$ Джоулей на доллар, в то время как среднее 'энергетическое содержание' рубля 2000 года в те же самые годы (1960 - 2000) равно $0,12 \times 10^5$ Джоулей на рубль. Среднее 'энергетическое содержание' доллара в 14 раз превышает 'энергетическое содержание' рубля, чему должна соответствовать большая покупательная способность доллара по сравнению с рублем. Паритет покупательной способности рубля примерно в два раза меньше официального валютного курса, который был равен в те годы приблизительно 30 рублей за доллар, так что сравнение вычисленных 'энергетических содержаний' доллара и рубля подтверждает обоснованность введения универсальной энергетической единицы стоимости.

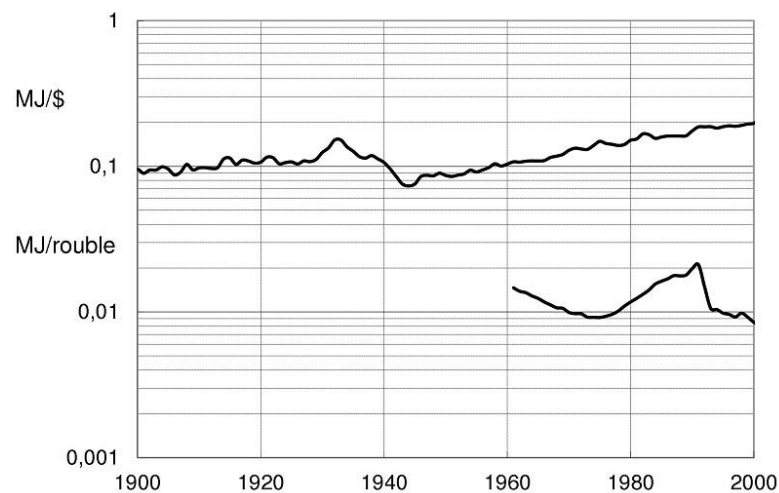


Рис. 2. 'Энергетическое содержание' денежных единиц. Кривые показывают количество работы, необходимое для создания продукта стоимостью один доллар 1996 года (верхняя кривая) и один рубль 2000 года (нижняя кривая) в различные годы. По работе Бодро и автора [3] с уточнением значений для России.

Абсолютная мера стоимости может быть установлена как некоторый энергетический масштаб ζ_{ref} . Для того, чтобы установить значения выпуска в энергетических единицах, значения полной чистой работы $L+P$ в соответствующие годы следует поделить на значение условной энергетической единицы. Принимая $\zeta_{ref} = 50000$ Джоулей на один доллар, находим значения ВВП США в энергетических

единицах, показанные на рис. 1. Отметим отличия вычисленной зависимости от зависимости ВВП в денежных единицах постоянной покупательной способности.

3. ДИНАМИКА ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Общие ресурсы. Развитие производственной системы и увеличение выпуска связано с возможностью использовать в производстве рабочую силу и производительную энергию, которые являются важнейшими общественными ресурсами и истинными источниками богатства. Важнейшим общественным ресурсом является также естественное окружение, как источник сырья для промышленности, и производственная инфраструктура.

3.1.1. Участники производственных процессов. При рассмотрении экономических явлений принимается во внимание всё наличное население, но экономическая теория всё же выделяет группу людей, которые могут активно участвовать в производстве – экономически активных людей. Их численность составляет обычно приблизительно половину всего населения или несколько больше для развитых стран. Совокупные затраты труда этих людей L являются наиболее важным производственным фактором, роль которого тщательно исследовалась в политической экономии и неоклассической экономике. Трудозатраты L , измеряются в человеко-часах, однако поправки, соответствующие характеру труда (тяжелый или лёгкий), интенсивности работы и других факторов, принимают во внимание, так что истинной мерой труда следует считать работу (в единицах энергии) выполняемую занятыми в производственном процессе.

3.1.2. Энергия в производственных процессах. Производственная система играет роль механизма, привлекающей энергию от разнообразных источников, среди которых – остатки прежних биосфер: лес, уголь, нефть; прямая и косвенная солнечная энергия в форме потоков воздуха и воды; энергия расщепления и синтеза атомных ядер. Эта энергия через различные приспособления используется для преобразования веществ естественной окружающей среды в предметы искусственной окружающей среды, создавая полезную для людей сложность [4, 5]. Из общего количества энергии первичных энергоносителей можно выделить ту малую часть, которая используется для приведения в действие различных приспособлений, позволяющих заместить трудовые усилия работой производственного оборудования.

Основания для предложений использования энергии в производственных целях лежат в залежах знаний, которые кажутся бесполезными, пока не используются в рутинных производственных процессах. Аналогично тому, как предложение рабочей силы может быть связано с численностью населения, которое можно рассматривать как резервуар, откуда рабочая сила появляется, предложение работы замещения P может быть связано с архивом знаний, который играет роль бассейна (резервуара), из которого появляются предложения по использованию энергии. Действительно, можно найти большое количество блестящих примеров 'преобразования' знаний в способы использования энергии в истории технологии. В качестве примера, можно указать изобретение паровой машины или двигателя внутреннего сгорания.

Замещающая работа P , как производственный фактор, получает особую цену. Использование окружающих нас источников энергии связано с проектированием и

использованием производственного оборудования. Количество использованного оборудования, которое необходимо, чтобы поддержать замещающую работу P , следует оценить как μK (μ -- коэффициент выбытия), так что цена замещающей работы, как производственного фактора, определяется выражением

$$p = \frac{\mu K}{P}. \quad (5)$$

Эта величина отлична от цены энергоносителей как обычных промежуточных или конечных продуктов.

3.1.3. Искусственное и естественное окружение. С обывательской точки зрения, процесс производства есть процесс преобразования природных материалов, которые человек находит в естественном окружении, в законченные и незаконченные предметы. Действительно, при таком подходе, создаваемые продукты (жилье, пища, одежда, здания, машины, транспортные средства, канализация, домашние приборы, машины и другие предметы потребления), могут рассматриваться как результат преобразования 'диких' естественных форм веществ в 'полезные' формы.

Кроме естественного окружения, как источника "диких" веществ и энергии, необходимых для производства, человек находится в окружении искусственных вещей, созданным самим человеком в течение многих веков; (сооружения, различные машины, произведения искусства, принципы организации, результаты научных исследований и многие другое), которые, так или иначе, оказываются полезным для людей.

Особое внимание в экономической теории уделяется производственному оборудованию, которое представляет материальную реализацию технологии; оно было изобретено и установлено для выполнения различных операций. Стоимость производственного оборудования K определяют как основной производственный капитал. Производственное оборудование само по себе пассивно: его функция -- предоставлять различные средства для привлечения к производству труда L и работы замещения P , которые являются истинными источниками стоимости. Характеристикой этой способности капитала являются величины трудозатрат и замещающей работы на единицу (по стоимости) установленного производственного оборудования

$$\lambda = \frac{\Delta L}{\Delta K}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta P}{\Delta K}. \quad (6)$$

Увеличение основного производственного капитала приводит к увеличению выпуска, как показано в первой строке соотношений (4), и это дало основание для мифа о производственной силе капитала в широком понимании. Если вы имеете производственные акции, получаете дивиденды, если деньги лежат в банке, получаете проценты. Акции и деньги -- капитал в более широком понимании. Однако деньги и акции -- только символы, которые не приносят ничего без огромной работы по производству стоимости в рамках капиталистической организации народного

хозяйства. Мистическая сила капитала приносить прибыль следует из правил распределения общественного продукта, созданного работающими и замещающей работой. Только усилия людей (с учетом закона замещения) приводят, как мы уже обсуждали в разделе 2.2, к увеличению стоимости, то есть к созданию богатства.

3.2. Динамика производственных факторов.

3.2.1. Балансовые соотношения. Количество производственного оборудования или основных производственных фондов, универсально оцениваемых их стоимостью K , удовлетворяет известному балансовому соотношению

$$\frac{dK}{dt} = I - \mu K, \quad (7)$$

где I – производственные инвестиции – часть валового внутреннего продукта, которая накапливается в материальной форме производственного оборудования, в то время как другая часть валового продукта идет на потребление и непроизводственные стратегические накопления в материальной и нематериальной форме, что также необходимо для функционирования общественной системы. Второе слагаемое в правой стороне уравнения (7) описывает уменьшение капитала из-за выбытия из службы с коэффициентом выбытия или обесценивания μ . Заметим, что инвестиции – это не только и не столько деньги. Инвестиции в конечном итоге должны быть материальны – это постройки, новое оборудование, новые технологии.

Расширение производства, характеризующегося изменениями производственных фондов (накопленной стоимостью), требует дополнительных трудозатрат и замещающей работы оборудования, и текущее состояние технологии определяет, какое количество трудозатрат L и работы внешних источников (ветер, вода, уголь, нефть и другое) P необходимо привлечь для того, чтобы установленное оборудование работало. Динамика факторов производства записывается [6] как пара уравнений баланса

$$\frac{dL}{dt} = \lambda I - \mu L, \quad \frac{dP}{dt} = \varepsilon I - \mu P. \quad (8)$$

Первые члены в правой стороне этих соотношений описывают необходимое увеличение потребления факторов производства при введении инвестиций I , которые проявляются как движущая сила развития. Вторые слагаемые в правых частях уравнений (8) отражают уменьшение производственных факторов при удалении или изнашивании части оборудования. Уменьшение количества производственного оборудования (капитала) характеризуется коэффициентом выбытия μ .

3.2.2. Динамика технологических коэффициентов. В уравнениях (8) присутствуют технологические характеристики производственного оборудования λ и ε , которые удобно использовать в безразмерном виде

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{K}{L} \lambda, \quad \bar{\varepsilon}(t) = \frac{K}{P} \varepsilon. \quad (9)$$

Технологические коэффициенты определяют необходимые количества, соответственно, трудозатрат и производительных энергозатрат на единицу (в стоимостной мере) введенного оборудования. Если величины (9) оказываются меньше единицы, это означает, что трудосберегающие и энергосберегающие технологии вводятся в этот момент времени.

Заметим, что комбинация технологических коэффициентов

$$\alpha = \frac{1 - \bar{\lambda}}{\bar{\varepsilon} - \bar{\lambda}}. \quad (10)$$

определяет соотношение между темпами роста производственных факторов, в чем можно убедиться при исключении безразмерных инвестиций $\frac{I}{K}$ и коэффициента выбытия μ из уравнений (7) и (8). Более существенно, что комбинация (10) есть ничто иное как индекс α в производственной функции (4), в чем можно убедиться, продифференцировав соотношения (2) по времени и воспользовавшись уравнениями (4), (7) и (8). Индекс α непосредственно выражается через технологические характеристики и потому именуется технологическим индексом, который может быть оценен независимо.

Предполагается, что технологические коэффициенты меняются таким образом, что имеющиеся общественные ресурсы используются наиболее полным образом. Это определяет релаксационные уравнения для безразмерных технологических коэффициентов

$$\frac{d\bar{\lambda}}{dt} = -\frac{1}{\tau} \left(\bar{\lambda} - \frac{\tilde{\nu} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu} \right), \quad \frac{d\bar{\varepsilon}}{dt} = -\frac{1}{\tau} \left(\bar{\varepsilon} - \frac{\tilde{\eta} + \mu}{\tilde{\delta} + \mu} \right), \quad (11)$$

где τ -- время ввода производственного оборудования в действие, то есть, время перехода от одной технологической ситуации к другой. Символами $\tilde{\delta}$, $\tilde{\nu}$ и $\tilde{\eta}$ обозначены возможные (потенциальные) темпы роста факторов производства: капитала K , трудозатрат L и производительной энергии P , соответственно. Иными словами, введены в рассмотрение темпы роста общественных ресурсов: $\tilde{\nu}$ является темпом роста рабочей силы, $\tilde{\delta}$ оценивается как наличные производственные возможности, $\tilde{\eta}$ представляет возможности использования производительной энергии, определяемые технологическими разработками.

3.2.3. Инвестиции и три моды развития. В уравнения (7) и (8) входят инвестиции I , при назначении которых следует принимать во внимание ограничения, наложенные внутренними (дефицит наличной продукции и обеспечение необходимого уровня потребления) и внешними (доступность труда и энергии) причинами. Реализуемые инвестиции I , очевидно, определяются конкуренцией между возможностями производственной системы с одной стороны и доступностью труда и энергии с другой стороны. В случае, когда производственная система стремится использовать все доступные общественные ресурсы, следует записать для инвестиций

$$I = (\delta + \mu)K = \min \left\{ \begin{array}{l} (\tilde{\delta} + \mu)K \\ (\bar{\nu} + \mu)K / \bar{\lambda} \\ (\bar{\eta} + \mu)K / \bar{\varepsilon} \end{array} \right\}. \quad (12)$$

Очевидно, что темпы реального роста факторов производства δ , ν и η не превышают темпов потенциального роста $\tilde{\delta}$, $\tilde{\nu}$ и $\tilde{\eta}$ соответствующих факторов и отличаются от них. Соответственно трем возможностям, записанным в уравнениях (12), существует три моды экономического развития. Первая строка уравнений приложима к случаю дефицита производственных возможностей и изобилию рабочей силы L , доступной энергии P и сырья. Вторая строка описывает ситуацию в случае дефицита труда, изобилия производственных возможностей, энергии и сырья. Последняя строка уравнений приложима к случаю дефицита энергии и изобилию производственных возможностей, труда и сырья.

При изучении функционирования народного хозяйства обнаружены циклы различной продолжительности; короткие деловые циклы в общественном производстве связаны с существованием альтернативных мод функционирования системы производства [9]. В США реализуется попеременно в терминах соотношения (12) вторая и третья мода с периодом около четырех лет [10, Section 5.4.2 и 6.6.2]. В России, по-видимому, реализуется и первая мода, свидетельствующая о недостатке производственных возможностей. Для того, чтобы построить математическую модель явления и проанализировать проблему, нужно рассматривать совместно динамику производства и денежного обращения.

3.3. Траектории развития.

3.3.1. Система уравнений эволюции производственной системы. Записанные в предыдущих разделах соотношения (7), (8), (11) и (12), образуют систему уравнений, описывающую изменения производственных факторов K , L , P совместно с эволюцией характеристик $\bar{\lambda}$, $\bar{\varepsilon}$, α производственной системы, которая здесь рассматривается в самом грубом приближении как единственная отрасль производства. При задании темпов роста общественных ресурсов: производственного оборудования $\tilde{\delta}$, рабочей силы $\tilde{\nu}$ и производительной энергии $\tilde{\eta}$, а также времени перехода от одной технологической ситуации к другой τ и коэффициента амортизации μ , система позволяет определить траекторию эволюции производственной системы (производственные факторы и технологические коэффициенты), после чего не представляет особого труда вычислить по формулам (4) временную зависимость производства стоимости.

3.3.2. Пример траектории развития. Далее, обращаемся к рассмотренному ранее [7] случаю развития экономики Соединенных Штатов, для которой значения коэффициента выбытия основного капитала μ принимаем известными ($\mu \approx 0,02$ до 1925 года и увеличивается до 0.068 за 1925 - 1999 годы), время технологического перехода полагаем равным $\tau = 1$ год. Темп потенциального роста трудозатрат $\tilde{\nu}$ является фактически темпом роста рабочей силы, значения величин $\tilde{\delta}$ и $\tilde{\eta}$

непосредственно не оцениваются, но были заданы несколько б'ольшими, чем реальные темпы развития, так, чтобы полученные зависимости производственных факторов соответствовали эмпирическим. Фактически эта процедура восстанавливает значения общественных ресурсов для производственной системы США.

На рис. 3 показаны значения производственных факторов K , L , P и технологического индекса α , вычисленные при указанных значениях параметров системы и заданных темпах потенциального роста капитала, трудозатрат и работы замещения.

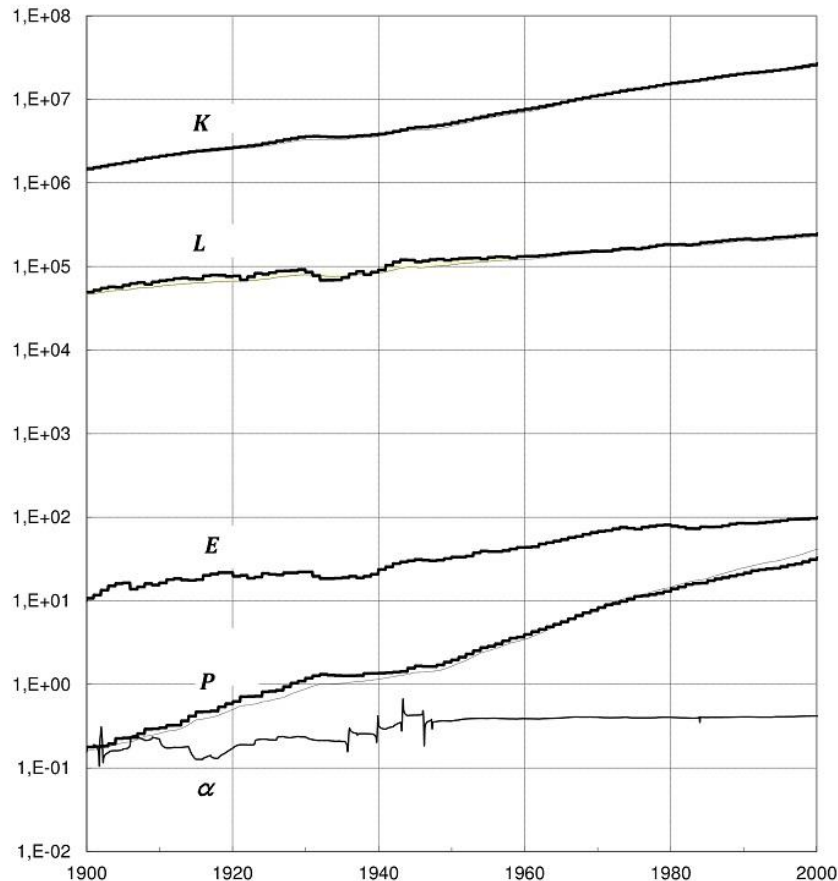


Рис. 3. Производственные факторы в экономике США. Стоимость основного производственного оборудования (основной капитал) K в миллионах долларов 1996 года; трудозатраты L в миллионах человеко-часов в год; первичная энергия E , замещающая работа P в 10^{18} Джоулей в год и безразмерный технологический индекс α . Жирные линии представляют эмпирические значения, в то время как слабые линии показывают результаты вычислений K , L , P и α ; значения первичной энергии показаны для иллюстрации.

Вычисленные значения производственных факторов отличаются от оценок общественных ресурсов, и соответствуют эмпирическим оценкам, при этом определяются также технологические коэффициенты $\bar{\lambda}$, $\bar{\varepsilon}$ и технологический индекс α .

Исследование обнаруживает пульсацию технологических коэффициентов и смену мод развития, что связано с существованием альтернативных типов функционирования системы производства. В рассматриваемый период, в производстве

США происходит смена типов развития через период времени около четырех лет. Производственные процессы протекают при избылии инвестиций и сырья, но при дефиците труда, когда $\frac{d\bar{\lambda}}{dt} < 0$, или при дефиците замещающей работы, когда $\frac{d\bar{\lambda}}{dt} > 0$; период с предельным использованием труда сменяется периодом с предельным использованием производительной энергии -- малые циклы развития. Смена мод приводит к тому, что темпы реального роста производственных факторов оказываются меньше, чем заданные темпы роста общественных ресурсов.

Теперь, после того, как вычислены производственные факторы и технологический индекс, мы обращаемся к закону производства стоимости (4), и находим зависимость выпуска от времени, изображенную на рис. 4 тонкой линией в сравнении с эмпирическими значениями ВВП, изображенными более жирной линией. Можно видеть, что вычисленная траектория практически совпадает с действительной зависимостью ВВП, изображенной ранее на рис. 1. Этот результат свидетельствует о справедливости закона производства стоимости (4) и о согласованности системы уравнений.

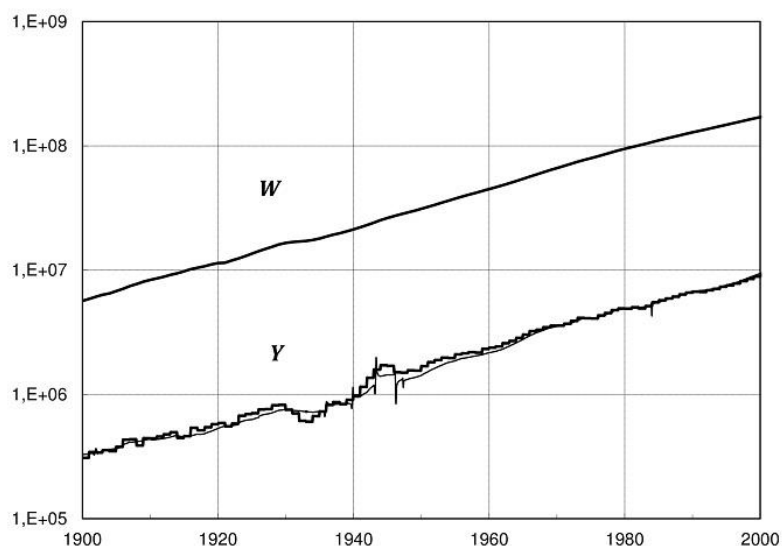


Рис. 4. ВВП и национальное богатство США. Суммарное национальное богатство (верхняя кривая) и Валовой Внутренний Продукт (внизу: жирная кривая – эмпирические значения, тонкая кривая вычислена по уравнениям 4). Все величины в миллионах долларов 1996 года.

Описанная система уравнений эволюции позволяет анализировать прошлое и текущее функционирование производственной системы, однако возможности приложения этих уравнений для прогнозирования выпуска оказываются ограниченными. Чтобы делать реальное предсказание, очевидно, необходимо иметь представление о будущей доступности производственных факторов и предполагаемых технологических изменениях, что определяет возможные сценарии развития производственной системы. Однако, методы непосредственного вычисления и прогнозирования темпов потенциального роста производственных факторов не разработаны настолько, чтобы предложить их для использования в приложениях.

Чтобы оперативно преодолеть такого рода трудности, разработаны и используются более простые методы построения сценариев развития на основе более простой редуцированной системы эволюционных уравнений [10, глава 6].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наши рассуждения (см. также монографию [10, Глава 6]) устанавливают, что эволюция производственной системы определяется, в конце концов, возможностью привлекать дополнительные ресурсы, которые определяются положением человеческой популяции в природной среде. Определяющее влияние на функционирование и развитие популяции имеет возможность использовать энергетические потоки. Траектория развития производственной системы определяется стремлением системы использовать все доступные ресурсы. Это поведение системы является следствием суммы усилий многих предпринимателей, стремящихся получить наибольшую прибыль. 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. 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.

Теория позволяет развить методы анализа и построения реалистических сценариев развития при учете технологических возможностей и доступности производственных факторов. Выпуск производственной системы универсальным образом связан с факторами производства L и P и технологическим индексом α ; перечисленные величины, в свою очередь, определяются инвестициями и технологическими возможностями производственного оборудования. В отличие от теорий, основанных на представлении о производительной силе капитала [1], обсуждаемый формализм не содержит каких-либо произвольных подгоночных величин.

Экономодинамика продолжает традицию рассмотрения человеческой популяции как естественного явления, доступного естественно-научному анализу, особенностью которого является установление причинных связей явлений. До дифференциации наук это был естественный метод рассмотрения, которому следовал и Мальтус, как один из родоначальников этой традиции в демографии, и Маркс, как один из родоначальников современной науки об обществе. Естественно-научный подход покоится на эмпирическом обосновании и потому в основу теории положен основной экономический закон в форме (4) – справедливость которого была подтверждена при рассмотрении развития производственной системы США.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aghion P., Howitt P. The Economics of Growth. – Cambridge: MIT Press, 2009. – 479 p.
2. Ayres R.U., Ayres L.W. and Pokrovski V.N. On the efficiency of electricity usage since 1900 // Energy. – 2005. – Vol. 30. – P. 1092-1145.

3. Beaudreau B.C., Pokrovskii V.N. On the energy content of a money unit // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – 2010. – Vol. 389. – P. 2597-2606.
4. Cottrell W.F. *Energy and society: the relation between energy, social change and economic development*. – New York: McGraw Hill, 1955. – 330 p.
5. Mirowski Ph. Energy and energetics in economic theory: A review essay // *Journal of Economic Issues*. – 1988. – Vol. 22 (4). – P. 811-830.
6. Pokrovski V.N. *Physical Principles in the Theory of Economic Growth*. – Aldershot (UK): Ashgate Publishing, 1999. – 162 p.
7. Pokrovski V.N. Energy in the theory of production // *Energy*. – 2003. – Vol. 28 (8). – P. 769-788.
8. Pokrovski V.N. Productive energy in the US economy // *Energy*. – 2007. – Vol. 32 (5). – P. 816-822.
9. Pokrovskii V.N. Pulsation of the growth rate of output and technology // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – 2011. – Vol. 390 (23-24). – P. 4347-4354.
10. Pokrovskii V.N. *Econodynamics: The Theory of Social Production*, 3rd Ed. – Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer, 2018. – 306 p. – Русский текст третьего английского издания с дополнениями: URL: <http://ecodynamics.narod.ru/production/rcontent.html>.
11. Rivers J.P.W., Payne P.R. The Comparison of Energy Supply and Energy Needs: A Critique of Energy Requirements, in *Energy and Effort* (ed. Harrison G.A.). – London: Taylor and Francis, 1982. – P. 85-105.
12. Robinson J. The Production Function and the Theory of Capital // *Review of Economic Studies*. – 1953-1954. – Vol. 21 (2). – P. 81-106.
13. Solow R. Technical change and the aggregate production function // *Review of Economic Studies*. – 1957. – Vol. 39. – P. 312-330.
14. Studenski P. *The Income of Nations Theory, Measurement and Analysis: Past and Present*. – New York: University Press, Washington Square, 1958 – 554 p. – Перевод: Студенский П. Доход наций (Теория, измерение и анализ: прошлое и настоящее). – Москва: Статистика, 1968. – 779 с.

SOCIAL RESOURCES IN THE THEORY OF ECONOMIC GROWTH

Pokrovskii V.N. (Dr.Sci. (Physics and Mathematics), prof.),

Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics (MESI), Moscow. Russian Federation; vpok@comtv.ru, ecodynamics@yandex.ru

Abstract. The regularities of development of the production system are discussed on the basis of idea that progress in human economic activity is associated with success in the technological use of human efforts and energy sources that are considered as the most important social production resources. It is introduced the concept of substitution work of equipment P, which is in all respects equivalent to the efforts of people in production and can be considered as a service of capital and, along with the traditional production factors, as a value-creating factor. The output (production of value) is defined as a function of three variables, two of which: labor efforts L and substitution work P are considered as active sources of wealth, which allows the introducing an energy measure of value; physical capital K, as a production factor, plays a passive role. Under the assumption that the production system tends to swallow all available social resources, determined by the environment external to the system, the equations for production factors are formulated, which are also accompanied by equations for the technological characteristics of production equipment. The trajectory of the development of the system is determined by characteristics of the system itself and availability of social resources that cannot be used completely simultaneously, which leads to a change

in development modes and fluctuations in the output – the business cycles. It is demonstrated, as an example, that the system of equations is able to describe the observed trajectory of development and output of the production system of the US economy in the last century.

Keywords: Gross Domestic product, Dynamics of production, Law of substitution, Principle of evolution, Value, Econodynamics, Energy.

REFERENCES

1. Aghion P., Howitt P. *The Economics of Growth*. Cambridge: MIT Press, 2009. 479 p.
2. Ayres R.U., Ayres L.W. and Pokrovski V.N. On the efficiency of electricity usage since 1900. *Energy*. 2005. Vol. 30. P. 1092-1145.
3. Beaudreau B.C., Pokrovskii V.N. On the energy content of a money unit. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2010. Vol. 389. P. 2597-2606.
4. Cottrell W.F. *Energy and society: the relation between energy, social change and economic development*. New York: McGraw Hill, 1955. 330 p.
5. Mirowski Ph. Energy and energetics in economic theory: A review essay. *Journal of Economic Issues*. 1988. Vol. 22 (4). P. 811-830.
6. Pokrovski V.N. *Physical Principles in the Theory of Economic Growth*. Aldershot (UK): Ashgate Publishing, 1999. 162 p.
7. Pokrovski V.N. Energy in the theory of production. *Energy*. 2003. Vol. 28 (8). P. 769-788.
8. Pokrovski V.N. Productive energy in the US economy. *Energy*. 2007. Vol. 32 (5). P. 816-822.
9. Pokrovskii V.N. Pulsation of the growth rate of output and technology. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2011. Vol. 390 (23-24). P. 4347-4354.
10. Pokrovskii V.N. *Econodynamics: The Theory of Social Production*, 3rd Ed. Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer, 2018. 306 p.
URL: <http://ecodynamics.narod.ru/production/rcontent.html> (in russian).
11. Rivers J.P.W., Payne P.R. The Comparison of Energy Supply and Energy Needs: A Critique of Energy Requirements, in *Energy and Effort* (ed. Harrison G.A.). London: Taylor and Francis, 1982. P. 85-105.
12. Robinson J. The Production Function and the Theory of Capital. *Review of Economic Studies*. 1953-1954. Vol. 21 (2). P. 81-106.
13. Solow R. Technical change and the aggregate production function. *Review of Economic Studies*. 1957. Vol. 39. P. 312-330.
14. Studenski P. *The Income of Nations Theory, Measurement and Analysis: Past and Present*. New York University Press, Washington Square, 1958. 554 p. Translation into Russian: Studenskii P. Studenski P. *The Income of Nations Theory, Measurement and Analysis: Past and Present*. Moscow: Statistic, 1968. 779 p.