



УДК 338.45:65.016

© Л. А. Голованова, О. Г. Иванченко, 2010

ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕГУЛИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Голованова Л. А. – д-р. экон. наук, проф. кафедры «Архитектура и урбанистика», тел.: (4212) 22-43-91, e-mail: gla5@mail.ru; Иванченко О. Г. – д-р экон. наук, проф. кафедры «Экономика и менеджмент», тел.: (4212) 78-31-38 (ТОГУ)

Предложенный подход основывается на энергоэкономическом подходе к регулированию энергосберегающего развития промышленного производства. В основу данного подхода положены построение и анализ производственной функции $q(E_l)$. В функции этого вида мерой эффективности энергоэкономического роста производственной системы выступает производительность труда, а её возрастание рассматривается в зависимости от энерговооруженности труда, которая свойственна определенному технологическому способу.

The proposed approach is based on power economical approach to regulation of energy conservation development of industrial production. Construction and analysis of the production function $q(E_l)$ are assumed as a basis of the given approach. Labor productivity is a measure of efficiency of power economical growth of production system in a function of this kind and its increase is considered depending on power availability per worker for definite technological method.

Ключевые слова: энергосбережение, энерговооруженность труда, производительность труда, энергоэкономическое развитие промышленного производства.

По мере завершения периода восстановительного роста в экономике России усиливается тенденция к замедлению динамики энергоэффективности производственных процессов, прежде всего, в промышленности страны. Во многих отраслях промышленности практически исчерпан фактор экономии энергии на масштабах производства. Поэтому важно, чтобы инновационное развитие производственных систем в регионе сопровождалось технологическим энергосбережением. Для этого необходимо постоянно анализировать и учитывать энергетические потоки в производственном процессе.

Основы энергетического подхода к оценке производственной деятельности впервые были сформулированы С. А. Подолинским в 1880 г. [7]. Его научные идеи нашли свое отражение и дальнейшее развитие в работах отечественных и зарубежных исследователей – А. И. Анчишкина, В. В. Бушуева, Э. Вайцеккера, В. И. Вернадского, И. Г. Дейча, Кржижановского, Х. Майкснер, К. Мейер-Абих, Л. А. Мелентьева, Г. Одум, В. Н. Покровского, в работах авторов данной статьи [4, 5] и др. Анализ научных исследований [1, 7, 8, 9, 12, 13] позволяет сформулировать один из подходов к регулированию энергоэкономического развития производственных систем, который предусматривает определение технически эффективных способов производства и регулирование уровня использования в них энергетических ресурсов.

В экономической теории множество технически эффективных способов производства характеризуется производственной функцией, которая представляет собой функциональную взаимосвязь между объемом выпуска и количеством применяемых экономических ресурсов. Производственный процесс не может происходить при отсутствии хотя бы одного экономического ресурса, но основными ресурсами, от которых зависит объем выпуска Y , в теории производства считаются труд L и капитал K [3; 11].

Мерой эффективности экономического роста в данной модели выступает производительность труда. Её возрастание традиционно связывают с применением машин, механизмов и оборудования. Еще А. Смит отмечал, что производительность труда зависит от индивидуальных способностей человека, экономии времени и «от изобретения большого количества машин, облегчающих и сокращающих труд и позволяющих одному человеку выполнять работу нескольких» [10]. Поэтому в качестве ключевого параметра, который обеспечивает равновесный экономический рост в неоклассической модели Р. Солоу, принят показатель капиталовооруженности (фондовооруженности) труда ψ_t : $K_t/L_t = \psi_t$.

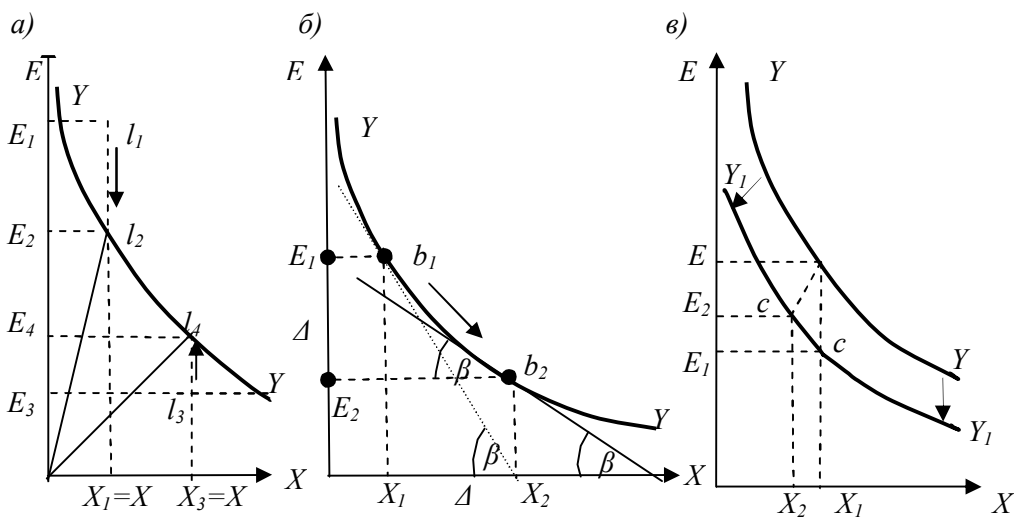
Сущность труда, по определению С. А. Подолинского, заключается в управлении энергетическими потоками и усилении мощности, направленной на «увеличение энергийного бюджета земной поверхности» [7]. Сам труд также усиливается сторонней энергией, поставляемой машинами и оборудованием, и в соответствии с естественнонаучной точкой зрения не производит вещества, а присоединяет превратимую энергию к веществу, потребляя при этом накопленную в организме механическую энергию. Следовательно, труд является основным фактором производства, а «вещество и энергия природы образуют первичное условие всего последующего производства и обращения», приводимые в движение человеческим трудом [2]. При этом «экономия энергетических, т. е. физических затрат человека происходит... за счет затрат энергии, взятой у неживой природы. Вся история развития машинного производства показывает, что каждый шаг в повышении производительности труда означал параллельное увеличение расходов энергии» [1].



Отмеченное позволяет считать используемую в производственном процессе энергию E естественной переменной, фиксирующей производственные возможности основных фондов и труда. Не подменяя собой действия товарно-денежных отношений, энергетические показатели в условных единицах – тонны условного топлива (тут), могут служить характеристикой деятельности производственных систем. Поэтому в теоретических исследованиях и в процессе энергоэкономического управления хозяйственной деятельностью представляется целесообразным производственную функцию Кобба–Дугласа представить в следующем виде: $Y = f(L, E)$. (1)

Тогда энергоэкономический анализ состояния производственных систем может базироваться на реальных затратах энергоресурсов, на определенном уровне технологии, а экономия энергоресурсов в производственном процессе может быть достигнута посредством оптимальной комбинации используемых экономических ресурсов. Этот процесс ограничен не только технологией, но и временным горизонтом. В мгновенном периоде, когда все производственные факторы рассматриваются как постоянные, изменить их затраты и продуктивность практически невозможно. Поэтому решить задачу рационализации энергоиспользования в производственном процессе можно в долгосрочном и лишь частично в краткосрочном периоде.

Рассмотрим три основных варианта экономии энергии в промышленном производстве (рис. 1), используя графическую форму производственной функции (1).



Примечание: а) – снижение прямых энергопотерь; б) – экономия энергии в долгосрочном периоде; в) – инновационное энергосбережение.

Рис. 1. Графическая интерпретация рыночного регулирования энергопотребления в производственном процессе

В первом варианте предприятие выпускает продукцию при комбинации факторов производства в точке l_1 (рис. 1, а), расположенной выше изокванты $Y-Y$, либо в точке l_3 ниже нее. Следовательно, применяемая комбинация производственных факторов не соответствует технически эффективным способам производства, заданным производственной функцией. Из графика видно, что в точке l_1 энергоресурсы используются расточительно, в точке l_3 наблюдается дефицит энергии.

Прямые потери энергии (E_1-E_2) в данном случае можно устранить в краткосрочном периоде без привлечения фактора X в результате совершенствования организации производства и применения экономических стимулов энергосбережения. Вследствие принятых мер комбинация факторов производства l_1 сместится в точку l_2 , находящуюся на изокванте. Дефицит энергии в объеме (E_3-E_4) может быть устранен за счет увеличения используемой энергии для того, чтобы комбинация факторов переместилась в технически эффективную область выполнения производственного процесса (из точки l_3 в точку l_4).

Второй и третий варианты энергосбережения относятся к долгосрочному периоду, когда все факторы производства рассматриваются как переменные. Поэтому увеличение выпуска может быть обеспечено как за счет изменения количества используемых факторов производства и способов их комбинирования (рис. 1, б), так и в результате технического прогресса (рис. 1, в).

В варианте «б» (см. рис. 1, б) представлены технически эффективные способы производства. Предпринимая усилия по минимизации издержек производства, экономический агент стремится выбрать такую технологию, в которой происходит замещение более дорогого фактора более дешевым. Комбинация b_1 с позиции производителя становится оптимальной при равенстве соотношения цен факторов E и X тангенсу угла β_1 . Если X окажется дешевле E и отношение цен ресурсов равно тангенсу угла β_2 , то организация с целью рационализации производства должна перейти к комбинации b_2 . Замещение экономических ресурсов происходит противоположно их стоимостным отношениям. Новый способ производства, как видно из графика (см. рис. 1, б), оказывается и энергосберегающим.

В варианте «в» (рис. 1, в) рассматривается влияние научно-технического прогресса на экономию энергии в производственной системе. Экономия используемых ресурсов возможна в двух направлениях: 1) за счет сдвига изокванты, который может быть энергосберегающим (из точки c в точку c_1) или X -сберегающим; 2) в результате дополнительного смещения комбинации факторов производства по изокванте (из точки c в точку c_2), при котором возможно сбережение двух факторов одновременно. В результате практического применения достижений технического прогресса связь между фактора-



ми производства усложняется, особенно при изменении формы изокванты. Поэтому сокращение одного фактора производства не всегда требует увеличения использования другого. Кроме того, отсутствует прямая зависимость от величины отношения стоимости этих факторов.

Рассмотренные примеры показывают, что экономия энергии в производственном процессе может быть достигнута за счет действия рыночного механизма без какого-либо вмешательства со стороны государства. Процесс энергосбережения в данном случае является результатом внутрифирменного управления издержками производства, обеспечения технической и экономической его эффективности и базируется на собственных интересах экономических агентов. Структурные сдвиги и прогрессивные энерготехнологии приводят к технологическому энергосбережению вследствие замещения энерго-ресурсов другими факторами производства.

Для более детального исследования поведения производственной функции вида $Y = f(L, E)$ будем базироваться на принципах обеспечения равновесного экономического роста, предложенных Р. Солоу. Тогда с энергетической точки зрения функция совокупного предложения примет вид

$$q_t = f(E_L, l) = \frac{Y_t}{L_t} = \frac{E_t^\alpha \cdot L_t^{1-\alpha}}{L_t} = \left(\frac{E_t}{L_t}\right)^\alpha = E_{L_t}^\alpha = q(E_{L_t}), \quad (2)$$

где α – коэффициент эластичности, характеризующий относительное изменение уровня производительности труда L по сравнению с относительным изменением его энерговооруженности E_L . Основанием для замены в модели Р. Солоу показателя капиталовооруженности на энерговооруженность труда при энергоэкономическом подходе к развитию производственной системы является, на наш взгляд, следующее.

Капиталовооруженность труда Ψ характеризует овеществленный технический прогресс, и его увеличение может быть связано с рядом обстоятельств, не влияющих на техническую оснащенность труда. Это могут быть цены, производительность оборудования, условия использования и текущее содержание этого оборудования, организация производства и труда, климатические параметры и пр. Цены на оборудование не всегда соответствуют его производительности, имеющиеся производственные фонды могут использоваться недостаточно интенсивно, с течением времени снижается их производительность вследствие морального и физического износа и т. п.

По мнению академика Т. С. Хачатурова [12], более достоверным показателем технической оснащенности труда является его техновооруженность, которая выражена в натуральных физических величинах. Такие понятия, как замена ручного труда машинным, развитие механизации и автоматизации, научно-технический прогресс, не имеют однозначного стоимостного выраже-

ния и измерения. Они приобретают однозначность только при использовании показателей техновооруженности, в частности, энерговооруженности труда.

Энерговооруженность труда E_L является обобщающим показателем технического прогресса в материальном производстве, технической его оснащенности. В отличие от капиталовооруженности энерговооруженность труда не зависит от ценового фактора и позволяет учитывать интенсивность использования машин и механизмов по времени и мощности, моральный износ и техническое состояние основных фондов, различия в производственных технологиях и др. Кроме того, научными исследованиями была установлена более тесная корреляционная связь между энерговооруженностью и производительностью труда, чем между последней и фондовооруженностью труда. Коэффициент парной корреляции для первой пары показателей оказался равен 0,896, для второй – 0,743 [9].

В общем виде энерговооруженность труда можно представить как произведение капиталовооруженности труда Ψ и энергоемкости (энергонасыщенности) основных фондов (капитала) E_K

$$E_L = \frac{\sum E}{L} = \frac{\sum E \cdot K}{L \cdot K} = \frac{K}{L} \cdot \frac{\sum E}{K} = \Psi \cdot E_K, \text{ т. е. } E_L = \Psi \cdot E_K. \quad (3)$$

Это свидетельствует о том, что энерговооруженность труда характеризует капитал K не только с количественной (капиталовооруженность труда), но и с качественной стороны (энергоемкость капитала), т. е. с учетом энергоэффективности используемой техники.

Приведенные аргументы, по нашему мнению, дают основание исследовать поведение производственной функции совокупного предложения с энергоэкономической точки зрения по показателям производительности и энерговооруженности труда. Производительность труда в этом случае служит ключевым условием интенсификации энергоэкономического развития производства и зависит от единственной переменной – энерговооруженности труда E_L , которая свойственна определенному технологическому способу.

В промышленности используются различные виды топливно-энергетических ресурсов: нефть; уголь; газ; электрическая и тепловая энергия и другие, которые обладают разной продуктивностью и способностью участвовать в технологическом процессе. Поэтому общая энерговооруженность труда (ЭТ) в функции (3) может быть выражена через систему частных показателей энерговооруженности, исходя из вида потребляемых энергоресурсов. В зависимости от специфики энергопотребления и особенностей промышленного производства рассчитываются показатели энерговооруженности труда по первичным затратам топлива на выработку потребляемых энергоносителей, по подведенной энергии к энергоприемникам и по полезно потребленной энергии. Кроме того, выделяют показатели общей электровооруженности, электровооруженности труда по силовой энергии, технологической и



энергетической (по совокупности электрической и тепловой энергии) вооруженности, моторо- и тепловооруженности.

Для выполнения факторного анализа энергоэкономического состояния промышленного производства и выработки стратегии производственной экономики энергии необходимо построить производственную функцию вида

$$q_t = E_{Lt}^\alpha, \quad (4)$$

где $q_t = Y_t/L_t$ – производительность труда, $E_{Lt} = E_t/L_t$ – энерговооруженность труда, L_t – индекс затрат труда, E_t – индекс затрат энергии, α – коэффициент эластичности. Затем можно оценить энергоэкономическое состояние промышленного производства и определить, за счет каких факторов произошли изменения в нем.

В частности, из графика (рис. 2) и выражения (5) следует, что угол γ между осью абсцисс и M_l на изокванте $q(E_L)$ характеризует среднюю производительность энергии E_{oY} (энергоотдачу). Обратная величина E_{oY} дает представление об энергоемкости производства E_Y :

$$tg\gamma = \frac{q_t}{E_{Lt}} = \frac{Y_t/L_t}{\sum E_t/L_t} = \frac{Y_t}{\sum E_t} = E_{oY} = \frac{1}{E_Y}. \quad (5)$$

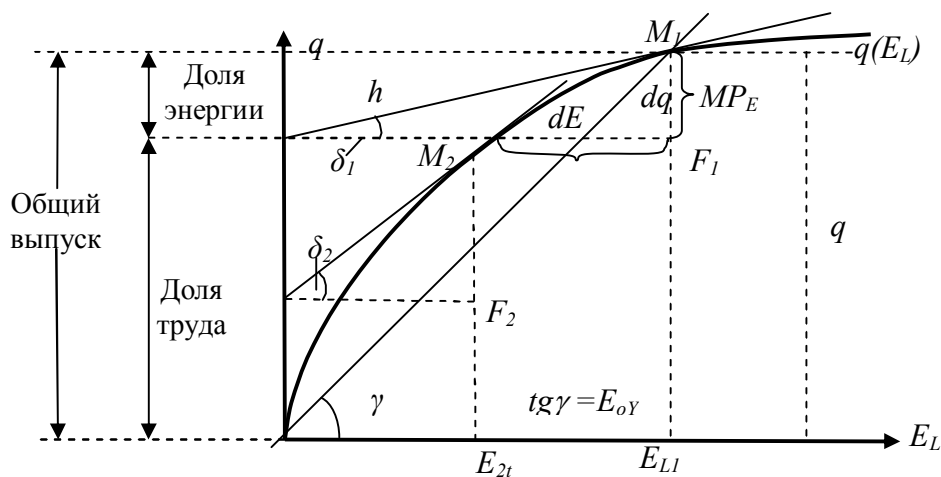


Рис. 3. Графический анализ производственной функции $q(E_L)$

С ростом энерговооруженности труда средняя производительность энергии падает, а энергоемкость продукции растет. Предельную производительность энергии характеризует тангенс угла δ касательной h к кривой $q(E_L)$ (см. рис. 2), т. к. предельный продукт MP_E (прирост продукта ΔY от увеличения затрат энергии ΔE) находится по формуле

$$MP_E = \frac{dY}{dE} = \alpha \cdot E^{\alpha-1} \cdot L^{1-\alpha} = \alpha \cdot \left(\frac{E}{L}\right)^{\alpha-1} = \alpha \cdot E_L^{\alpha-1} = \frac{dq}{dE_L} = \operatorname{tg} \delta.$$

Зависимость $q = f(E_L)$ показывает, что по мере роста энерговооруженности труда на одну единицу средняя производительность энергии возрастает на MP_E единиц. При этом увеличивается и производительность труда, $F_1 E_{L1} > F_2 E_{L2}$, но в убывающем темпе, т. к. снижается предельная производительность энергии $M_1 F_1 < M_2 F_2$.

Средняя и предельная производительность энергии, производительность труда и энергоемкость производства в энергоэкономической функции – величины переменные. Следовательно, предоставляется возможность регулировать энергоэкономическое развитие производственного процесса посредством изменения энерговооруженности труда.

Поскольку функция (1) в развернутом виде принимает вид $Y = (\Delta Y/\Delta L) \cdot L + (\Delta Y/\Delta E) \cdot E = MPL \cdot L + MPE \cdot E$, то общий выпуск равняется сумме произведений затраченного количества труда и энергии на предельные продукты (т. е. сумме прибылей [6]). Отрезок MF на графике (рис. 3) является предельным продуктом энергии и прибыли от ее использования в расчете на одного работника, что следует из уравнения

$$MF = \operatorname{tg} \sigma \cdot E_L = \frac{dq}{dE} \cdot \frac{E}{L} = \frac{dq/dE \cdot E}{L} = \frac{\Pi_E}{L}.$$

Стало быть, энергоэкономическая производственная функция в терминах теории Кобба–Дугласа характеризует не только эффективность использования энергии при данной технологии, но и эффективность производства в целом.

Согласно теории производства при заданной технологии в условиях сложившихся цен на продукцию p_Y и факторы производства (энергию p_E и труд p_L) прибыль должна стремиться к максимуму, а производственная система – к достижению равновесия. Хозяйствующий субъект обязан постоянно определять прибыль Π , сравнивая свои предельные выгоды (доход R) и предельные издержки C (общие выплаты за все виды производственных ресурсов):

$$\Pi = R - C = [p_Y \cdot Y - (p_E \cdot E + p_L \cdot L)] \rightarrow \max.$$

Необходимым условием максимизации прибыли как функции от двух переменных E, L в долгосрочном периоде является равенство ее частных производных нулю:

$$\frac{d\Pi}{dL} = p_Y \cdot \frac{dY}{dL} - p_L = 0; \quad \frac{d\Pi}{dE} = p_Y \cdot \frac{dY}{dE} - p_E = 0.$$

Если все ресурсы используются полностью, то условие первого порядка Куна–Таккера [6] принимает вид



$$p_Y \cdot MP_E = MRP_E = p_E; p_Y \cdot MP_L = MRP_L = p_L, \quad \frac{MPR_E}{p_E} = \frac{MPR_L}{p_L} = 1. \quad (6)$$

Максимум прибыли организация получит, если вовлечет в производство такое количество фактора, которое обеспечивает равенство предельного продукта в денежном выражении, создаваемого каждой дополнительной единицей фактора производства (предельный доход MPR), и платы за него. Стоимость фактора в данном случае выступает в качестве предельных издержек, а выражение (6) является условием равновесия предприятия. Это равновесие принимает устойчивый характер в результате регулирования способов и технологий производства и следствием комбинации факторов производства с позиции формирования желаемых издержек и отдачи (производительности) основных экономических ресурсов в производственной системе.

Из концепции минимизации издержек [3] следует, что замещение одного фактора производства другим целесообразно проводить до тех пор, пока отношение предельных продуктов факторов производства не окажется пропорциональным отношению их цен

$$MRTS_{LE} = \frac{MP_L}{MP_E} = \frac{p_L}{p_E}. \quad (7)$$

Предельная норма технического замещения $MRTS$ характеризует относительную эффективность возможной экономической замены производственных ресурсов и, следовательно, может стать важным инструментом анализа энергоэкономического уровня производства и обоснования уровня технологического энергосбережения.

Норма технического замещения труда энергией $MRTS_{LE}$ для технологии, описанной производственной функцией (4), может быть определена по формуле

$$\begin{aligned} MRTS_{LE} &= \frac{dy/dL}{dy/dE} = \frac{b \cdot E^\alpha \cdot (1-\alpha) \cdot L^{-\alpha}}{b \cdot \alpha \cdot E^{\alpha-1} \cdot L^{1-\alpha}} = \frac{(1-\alpha) \cdot E^\alpha \cdot L^{-\alpha}}{\alpha \cdot E^{\alpha-1} \cdot L^{1-\alpha}} = \\ &= \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot \frac{E^{\alpha-\alpha+1}}{L^{1-\alpha+\alpha}} = \frac{(1-\alpha) \cdot E}{\alpha \cdot L} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot \frac{E}{L} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot E_L, \end{aligned} \quad (8)$$

Из данного выражения следует, что предельная норма замещения производственных ресурсов в энергоэкономической производственной функции (4) зависит от величины коэффициента эластичности α и энерговооруженности труда E_L . Последний показатель может быть определен путем совместного решения уравнений (7) и (8)

$$E_L = MRTS_{LE} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{p_L}{p_E} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha}. \quad (9)$$

Таким образом, энерговооруженность труда является функцией предельной нормы технического замещения между трудом и энергией либо их цен, сложившихся на рынке факторов производства, с одной стороны, коэффициента эластичности α – с другой. Используя зависимость (9), имеем возможность анализировать энергоэкономическое состояние промышленного производства и регулировать уровень энергосбережения в производственной системе, при котором будет обеспечиваться ее энергоэффективное развитие. Данный вопрос подробно рассматривался авторами в статье «К вопросу об управлении энерговооруженностью труда в производственно-экономических системах (предприятиях, отраслях, комплексах)» [4].

Предложенный энергоэкономический подход к регулированию энергосберегающего развития промышленного производства основан на действие рыночного механизма. Однако выявить технологические резервы энергосбережения посредством рыночного механизма проблематично. Рынок «способен привести лишь к относительно (с учетом случайных предельных условий и спектра конкурирующих вариантов) оптимальному результату, который в принципе может быть улучшен с помощью мер экономической и научной политики» [13]. Взять при этом на себя функции создания «правил игры» для всех участников хозяйственной деятельности способно государство.

Библиографические ссылки

1. *Анчишкин А. И.* Наука–техника–экономика. М., 1986.
2. *Анчишкин А. И.* Прогнозирование роста социалистической экономики. М., 1973.
3. *Гальперин В. М.* Микроэкономика: в 2 т. СПб., 2002.
4. *Голованова Л. А.* К вопросу об управлении энерговооруженностью труда в производственно-экономических системах (предприятиях, отраслях, комплексах) // Формирование стратегии инновационного развития экономических систем. СПб., 2008.
5. *Голованова Л. А.* Методические положения зонирования территории регионов по признакам энергосбережения // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2008. № 2(9).
6. *Интрилигатор М.* Математические методы оптимизации и экономическая теория. М., 2002.
7. *Подолинский С. А.* Труд человека и его отношение к распределению энергии. М., 1991.
8. *Покровский В. Н.* Энергия, технический прогресс и экономический рост. Принципы экодинамики. М., 1993.
9. *Производительность труда и факторы ее роста* / под ред. В. А. Андреева и др. Минск, 1982.
10. *Смит А.* Исследование о природе и причинах богатства народов. М., 1962.
11. *Тарасевич Л. С.* Макроэкономика. СПб., 1999.



12. *Хачатуров Т. С.* Избранные произведения: в 2 т. М., 1996. Т. I: Экономика природопользования. Эффективность капитальных вложений. М., 1996.

13. *Экономия энергии – новый энергетический источник* / К. Мейер-Абих [и др.]. М., 1982.