

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 332.142.4

ДИСТОРТНОСТЬ И ПАРАДОКС ДЖЕВОНСА В ПОТРЕБЛЕНИИ ТОПЛИВНЫХ РЕСУРСОВ

Б.Ф. Зюзин, С.Н. Гамаюнов, А.И. Жигульская

Тверской государственный технический университет, г. Тверь

© Зюзин Б.Ф., Гамаюнов С.Н., Жигульская А.И., 2025

DOI: 10.46573/2409-1391-2025-4-65-74

Аннотация. В статье рассмотрена проблема влияния роста энергетической результативности на потребление топливных ресурсов через призму парадокса Джевонса и теории дистортности. Обоснована идея о том, что технологический прогресс может не только стимулировать экономическое развитие, но и обуславливать увеличение общего объема потребления ресурсов вследствие эффекта отдачи. Особое внимание уделено социально-экономическим и управленческим аспектам: анализируется влияние парадокса Джевонса на формирование государственной политики в сфере энергосбережения, изменение моделей поведения общества и обеспечение устойчивого развития. Новизна исследования заключается в применении дистортного подхода для комплексного анализа обратных эффектов и прогнозирования их последствий в социально-экономических системах. Полученные результаты позволяют выработать более сбалансированные стратегии управления ресурсами с учетом как экономических, так и гуманитарных факторов.

Ключевые слова: парадокс Джевонса, дистортность, топливные ресурсы, энергоэффективность, социально-экономические последствия, управление энергопотреблением, устойчивое развитие, государственная политика, поведение общества, обратный эффект.

Введение. В современных условиях вопросы рационального использования топливных ресурсов и повышения энергоэффективности приобретают особую значимость не только для экономики, но и для устойчивого развития общества в целом [1]. Проблема заключается в том, что технологические инновации, нацеленные на оптимизацию использования ресурсов, зачастую сопровождаются парадоксальными социально-экономическими последствиями, известными как парадокс Джевонса. Этот феномен отражает сложную взаимосвязь между техническим прогрессом, поведением общества и результатами государственной политики в сфере энергосбережения.

В статье особое внимание уделяется анализу обратных эффектов повышения энергоэффективности с позиций теории дистортности, что позволяет рассмотреть не только экономические, но и управленческие, социальные и поведенческие аспекты трансформации энергопотребления. Такой междисциплинарный подход актуален для формирования успешных стратегий устойчивого развития, совершенствования государственной политики и выработки рекомендаций по изменению моделей поведения различных социальных групп.

Материалы и методы. Результативность использования того или иного источника топлива определяется соотношением между количеством полезной работы, которую можно получить, и затратами на добычу и использование топлива, включая расходы на оборудование и материалы. Явление эффекта отдачи заключается в том, что технологические инновации, нацеленные на рационализацию использования ресурса, могут приводить к неожиданному увеличению его общего потребления.

Разрабатываемая в [2, 3] теория предельных инвариантов дистортности получила широкое применение при оценке технико-экономической энергоэффективности энергоемких технологических процессов. В рамках этой теории также рассмотрены основы концепции эластичности и ее роль в экономическом анализе. Аппарат эластичности представляет собой важный инструмент для решения как теоретических, так и практических задач, таких как определение взаимосвязей между экономическими явлениями, выявление причинно-следственных отношений и прогнозирование последствий принимаемых управленческих решений.

Особое внимание уделено графическому представлению функции эластичности в системе приведенного квадрата, что реализовано на основе принципов дистортной теории [2]. Метод приведения функциональных зависимостей, используемый в рамках дистортного подхода, позволяет отображать различные процессы и выявлять ключевые закономерности изменения их устойчивости. Все построения выполняются в нормированном пространстве – так называемом единичном квадрате (рис. 1), что обеспечивает наглядность и сравнимость результатов анализа.

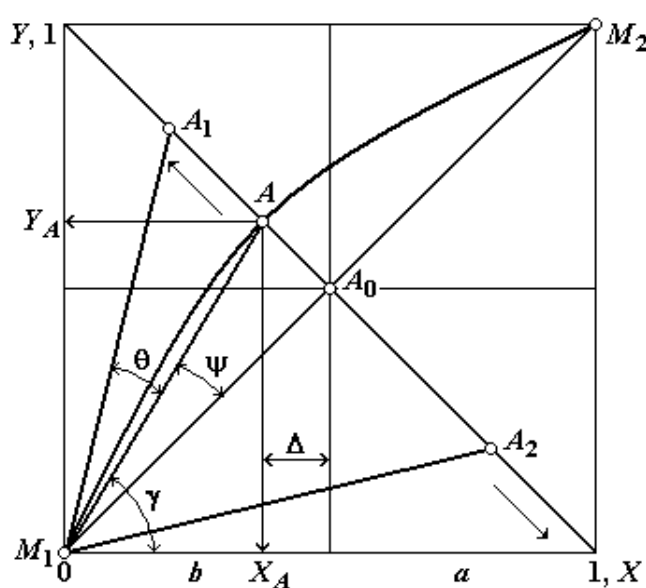


Рис. 1. Оценка эластичности в приведенных координатах

Результаты исследования. В 1865 году экономист из Англии Уильям Стэнли Джевонс в работе «Угольный вопрос» впервые описал феномен, впоследствии получивший название «парадокс Джевонса». Он заметил, что после внедрения паровой машины, созданной Джеймсом Уаттом, расход угля в Великобритании значительно возрос. Хотя паровой двигатель Уатта был гораздо эффективнее предыдущей конструкции Ньюкомена, ожидалось, что для выполнения той же работы понадобится меньше угля. Однако повышение эффективности привело к более широкому применению новых двигателей в промышленности, что в конечном итоге вызвало рост общего потребления угля в стране.

На основании своих наблюдений Джевонс пришел к выводу, что технологические усовершенствования не всегда ведут к уменьшению расхода топлива, вопреки распространенным ожиданиям. **Парадокс Джевонса** в экономической науке представляет собой феномен, когда прогресс в области ресурсосбережения инициирует не уменьшение объема потребления топлива (т.е. спроса на него), а его рост.

В условиях технологического развития происходит рост продуктивности использования ресурса, что приводит к снижению его стоимости. Это, в свою очередь, стимулирует рост спроса на данный ресурс, что способствует увеличению его общего потребления. Основной постулат теории Джевонса заключается в том, что стоимость порождается предельной полезностью. Иными словами, главным фактором, определяющим меновую стоимость, является спрос, а не издержки производства топливных ресурсов.

В последние годы современные экономисты вновь обратились к рассмотрению вопроса о том, как повышение энергоэффективности влияет на объем потребления ресурсов [2]. Было установлено, что, помимо уменьшения количества ресурса, необходимого для выполнения определенной задачи, повышение эффективности снижает относительную стоимость его использования. Это приводит к росту спроса на данный ресурс, что может препятствовать достижению экономии, ожидаемой от повышения эффективности. Кроме того, увеличение производительности способствует ускорению экономического роста, что также дополнительно увеличивает спрос на ресурсы.

Парадокс Джевонса проявляется в тех случаях, когда увеличение спроса превышает достигнутую экономию, в результате чего общее потребление ресурса возрастает. Данный феномен часто приводят в качестве аргумента того, что меры по энергосбережению могут не приносить ожидаемого результата, поскольку рост производительности способен обернуться увеличением, а не сокращением расхода топлива. Тем не менее важно отметить, что совершенствование технологий способствует росту благосостояния общества.

Следует подчеркнуть, что потребление топлива может сокращаться, если вместе с повышением эффективности вводятся экологические налоги или другие меры экологической политики, которые сохраняют или увеличивают цену использования ресурса. В таких условиях экономия действительно достигается. Парадокс Джевонса применим только к случаям технологических усовершенствований, направленных на повышение энергоэффективности. Если же одновременно вводятся экологические стандарты или повышается цена на ресурс, действие парадокса можно устранить.

Суть явления становится особенно наглядной, если обратить внимание на то, что повышение эффективности приводит к снижению цены (C), измеряемой в единицах получаемой пользы (U), т.е. работы. Обычно снижение стоимости товара или услуги ведет к увеличению спроса на них. Таким образом, если стоимость работы уменьшается, люди стремятся «приобрести» больше работы, что выражается в увеличении объема покупаемого топлива.

Рост спроса на топливо, возникающий в ответ на снижение его относительной стоимости, называют обратным эффектом. Этот рост может быть как достаточным, так и недостаточным для того, чтобы полностью компенсировать первоначальное снижение спроса, вызванное увеличением эффективности.

Если предположить, что технологические улучшения позволяют удвоить количество работы, производимой из одной и той же единицы топлива (функция $C = f(C)$), то возможны два варианта (рис. 2). В первом случае, если спрос на работу увеличивается более чем в два раза, а потребление топлива возрастает, это эластичный

спрос (рис. 2а), тогда реализуется парадокс Джевонса. Во втором случае, если спрос увеличивается менее чем вдвое, а расход топлива уменьшается, это неэластичный спрос (рис. 2б), парадокс Джевонса не проявляется.



Рис. 2. Варианты зависимости цены энергоресурсов (P) от количества спроса на них (C) при неэластичном (а) и эластичном (б) спросе

В целом, снижение цены товара или услуги обычно приводит к росту спроса. Следовательно, при уменьшении стоимости работы больше работы будет «приобретено» (опосредованно, через увеличение объема покупаемого топлива). Увеличение спроса на топливо и есть тот самый обратный эффект, который может либо полностью, либо частично компенсировать исходное снижение спроса, вызванное ростом эффективности. Поэтому часто необходим расчет эластичности при переходе от одного состояния к другому на некотором участке кривой (например, от текущего состояния до ожидаемого – планируемого, прогнозируемого).

Такую задачу может решить метод отображения участка вогнутой возрастающей кривой M_1-M_2 в системе приведенных координат (см. рис. 1), образующих так называемый единичный квадрат. При этом ось абсцисс X характеризует изменения причины, а ось ординат Y отражает соответствующие значения следствия. Это создает условия для установления связи между положением критериальной точки $A [X_A, Y_A]$, находящейся на пересечении биссектрисы приведенного квадрата, с участком кривой M_1-M_2 .

Критериальная точка A_i обладает рядом физических свойств. Это точка максимального взаимного влияния определяющих параметров Y и X . В пределах при $0 < X_i < X_A$ преобладает влияние параметра X , а при $0 < X_A < 1$ – параметра Y . Она является своеобразным рубиконом, символом условной или реальной границы. Она же представляет собой точку невозврата, после перехода которой невозможно вернуться к исходному состоянию. Положению критериальной точки X_A соответствует также парадокс Истерлина [4]. Согласно данной концепции, в странах с высоким уровнем благосостояния рост экономических показателей и доходов населения первоначально ведет к повышению уровня счастья и удовлетворенности жизнью, но лишь до определенного порога. По достижении этого порога, что обычно происходит в период от 10 до 15 лет, дальнейший экономический рост перестает оказывать существенное влияние на субъективное благополучие.

Согласно положениям общей теории предельных состояний [2], представим авторский подход к определению средней эластичности на участке кривой M_1-M_2 . В рамках данного подхода не учитывается, какая именно точка кривой принимается за

начальную – это позволяет рассматривать любую пару известных точек M_1 и M_2 как базовую для построения функциональной зависимости.

Через точки M_1 и M_2 можно провести бесконечное количество различных кривых, каждая из которых характеризуется своей собственной величиной эластичности в интервале изменения параметров X и Y . Таким образом, в заданном диапазоне каждая кривая имеет уникальное значение коэффициента эластичности, что подчеркивает важность выбора конкретной функции при анализе экономических процессов.

Изменение коэффициента эластичности в диапазоне $0 < E_x(Y) < \infty$ может быть связано с изменением тангенса угла наклона (координатного угла γ), соответствующего положению критериальной точки $A [X_A, Y_A]$ на биссектрисе приведенного квадрата, где $Y = 1 - x$. Это выражается следующими соотношениями:

$$E_x(Y) = \operatorname{tg} \gamma, \quad \text{или} \quad E_x(Y) = \operatorname{tg}(\pi / 4 \pm \psi).$$

Для выпуклых возрастающих функций, проходящих через участок с диапазоном эластичности $0 < E_x(Y) < \infty$, характерно практически полное отсутствие реакции предложения на изменение цены. Такое состояние называют совершенно не эластичным предложением. Напротив, для вогнутых возрастающих функций, проходящих через точку A_1 , где $E_x(Y) \rightarrow \infty$, наблюдается максимально возможная чувствительность предложения к цене – так называемое совершенно эластичное предложение.

Прямая линия M_1-M_2 , совпадающая с биссектрисой приведенного квадрата и соответствующая критериальной точке A_0 , описывает случай, при котором значение эластичности составляет $E_x(Y) = 1$. Такой уровень эластичности принято называть единичной эластичностью. Это означает, что относительное изменение спроса или предложения полностью соответствует относительному изменению цены.

Ценовая эластичность предложения служит важным индикатором: она показывает, как реагирует объем выпускаемых и предлагаемых к реализации товаров на изменение их рыночной цены. При этом производители стремятся максимизировать свою выручку, что делает данный показатель особенно значимым для анализа поведения рынка.

В зависимости от значения коэффициента эластичности различают два типа рыночного поведения:

неэластичное предложение – когда изменение цены вызывает относительно слабую реакцию со стороны объема предложения ($0 < E_x(Y) < 1$);

эластичное предложение – когда предложение остро реагирует на колебания цены ($E_x(Y) > 1$).

Критериальная точка A_i , расположенная в системе приведенного квадрата, представляет собой равновесную точку, например, для случая оценки ценовой эластичности спроса. Именно в этой точке происходит качественный переход от одного режима функционирования системы к другому, что открывает возможность прогнозировать ключевые изменения в экономическом поведении агентов.

Парадокс Джевонса проявляется в тех случаях, когда величина обратного эффекта превышает 100 %, т.е. прирост спроса полностью перекрывает изначальную экономию, достигнутую за счет повышения эффективности. Подобное явление в экономической теории принято называть «эффектом отдачи».

Для наглядного представления описанного механизма рассмотрим гипотетическую модель рынка, находящегося в условиях совершенной конкуренции, где топливо выступает единственным ресурсом, необходимым для выполнения работы. Предположим, что цена на топливо остается неизменной, однако под влиянием

технологического прогресса эффективность его преобразования в полезную работу удваивается.

В результате такого усовершенствования стоимость единицы работы снижается вдвое, что делает ее более доступной для потребителей. При этом объем денежных средств, которые потребитель готов потратить на выполнение работы, остается прежним. Это позволяет ему приобрести в два раза больше работы, чем ранее. Таким образом, технологическое улучшение напрямую влияет на увеличение спроса на работу, а косвенно – и на объем потребляемого топлива.

Этот пример иллюстрирует механизм обратного эффекта: снижение стоимости работы вследствие повышения энергоэффективности может привести к росту общего потребления топлива, особенно если спрос на работу является эластичным.

Дальнейшее развитие ситуации зависит от реакции спроса на работу, а именно от такого показателя, как ценовая эластичность. Если спрос на работу отличается высокой эластичностью (ценовая эластичность превышает 1), то объем приобретаемой работы возрастает более чем в два раза и, как следствие, общее потребление топлива увеличивается. В этом случае реализуется парадокс Джевонса. В случае, если спрос на работу характеризуется неэластичностью (коэффициент ценовой эластичности ниже 1), его рост происходит в меньшей пропорции по сравнению с падением стоимости. В результате объем потребляемой работы увеличивается менее чем в два раза, что приводит к снижению общего расхода топлива.

Таким образом, Джевонс [3] предлагал использовать в качестве ключевого параметра $E_x(Y)$ при анализе нелинейной зависимости $C = f(C)$ соотношение $E_x(Y) = \Delta Y / \Delta x = \operatorname{tg} \gamma$. При этом предельное значение эластичности, согласно его выводам, соответствует величине $\operatorname{tg} \gamma = 2$.

Тогда, исходя из расчетной схемы (см. рис. 1), установим данный показатель для рассматриваемой функциональной зависимости $Y = f(X)$ из условия

$$E_x(Y) = \lim_{\Delta Y; \Delta X \rightarrow 0} (\Delta Y / \Delta X) = Y_A / X_A = 2.$$

Рассмотрим случай оценки предельного состояния структурной системы, связанный с изменением эластичности ее поведения.

В данной системе координат исходные функции представляются в виде неких нелинейных зависимостей, уровень нелинейности которых можно связать с положением критериальной точки A .

При этом параметр X_A , характеризующий уровень нелинейности структурной системы, представляет собой новую, впервые предлагаемую обобщенную характеристику. Данный интегральный показатель позволяет оценить эластичность системы как единого целого в рамках вероятностно-прогностического подхода.

Предложенный параметр X_A представляет собой безразмерный комплекс, который является критерием подобия или интегральным аналогом напряженно-деформированного состояния структурной системы.

Для принятой схемы отображения предельных состояний должна выполняться нормировка $b + a = 1$.

Положение критериальной точки A_i определено в полярных (угловых) координатах соответствующими углами ψ и θ , где $\psi + \theta = \pi / 4$.

Тогда величина относительного отклонения Δ_0 определится из выражения $\Delta_0 = (0,5 - b) / 0,5 = 1 - 2b = \operatorname{tg} \psi$.

Основные параметры состояния структурной системы в этом случае будут определены следующими соотношениями $\Pi_{K(L)} = b/a = b/(1 - b) = \operatorname{tg} \theta$.

Согласно концепции общей теории инвариантов предельных состояний [2], критерий K_p в этом случае будет найден из выражения

$$K_p = \Delta_0 \Pi_{K(L)} = b(1 - 2b)/(1 - b) \text{ или } K_p = \operatorname{tg} \theta \times \operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \theta \times \operatorname{tg}(\pi/4 - \theta).$$

Критерий, как отмечалось выше, носит экстремальный характер, его максимальное значение $K_p \rightarrow \max = 0,171$ соответствует следующим величинам $\Pi_{K(L)} = 0,414$; $\psi = \theta = \pi/8$; $\gamma = (3/8)\pi$; $b = 0,292$ и $a = 0,708$.

Полученное выражение можно представить как зависимость коэффициента эластичности $E_x(Y)$ от тангенса координатного угла $\operatorname{tg} \gamma$.

Тогда после преобразований для условия $\pi/4 < \gamma < \pi/2$ (для эластичного предложения) получим следующее критериальное уравнение:

$$K_p = \operatorname{tg}(\pi/2 - \gamma) \times \operatorname{tg}(\gamma - \pi/4).$$

На рис. 3 приведена зависимость $K_p = f(\gamma, E_x)$, которая носит экстремальный характер.

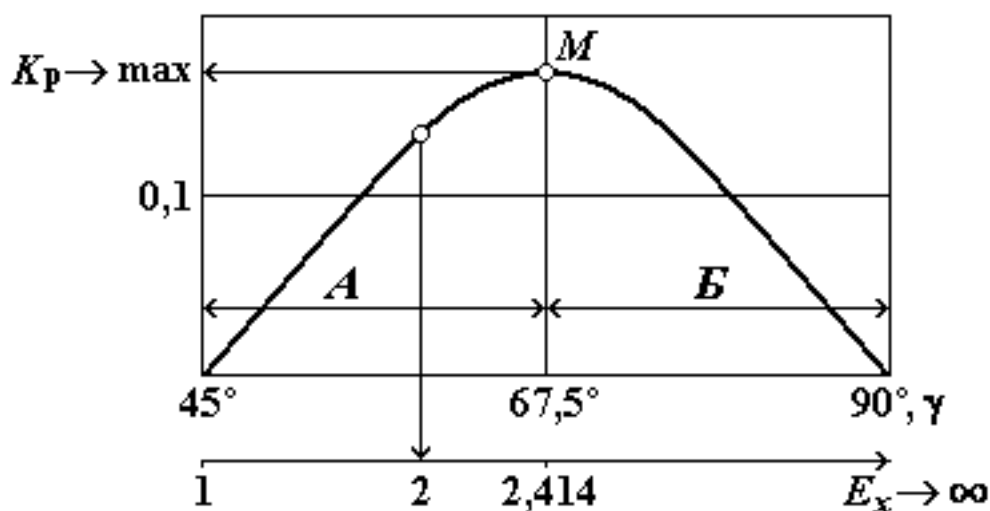


Рис. 3. Зависимость $K_p = f(\gamma, E_x)$

Различают две области функционирования рассматриваемой социально-экономической системы: A – докритическая и B – закритическая. При этом парадокс Джевонса реализуется в пределах $2 < E_x < 2,414$.

Функциональной линией, соответствующей установленным предельным параметрам отображения состояния структурной системы, является дуга окружности единичного радиуса в приведенном квадрате.

Использование цифровых коэффициентов эластичности для анализа последствий административного вмешательства позволяет разрабатывать программы регулирования рынка, соответствующие поставленным целям, учитывать изменения благосостояния экономических агентов и общества в целом [5].

Характер изменения зависимости спроса на различные товары от доходов потребителей иллюстрируют кривые Энгеля (рис. 4), получившие свое название от имени немецкого статистика Эрнеста Энгеля, который впервые исследовал эту зависимость.

В этой связи применение теории дистортности [2], наряду с концепцией эластичности, является достаточно простым в реализации. Результаты такого анализа помогут сопоставить запланированные направления региональной социально-экономической политики и их действительную реализацию в цифровой экономике [6].

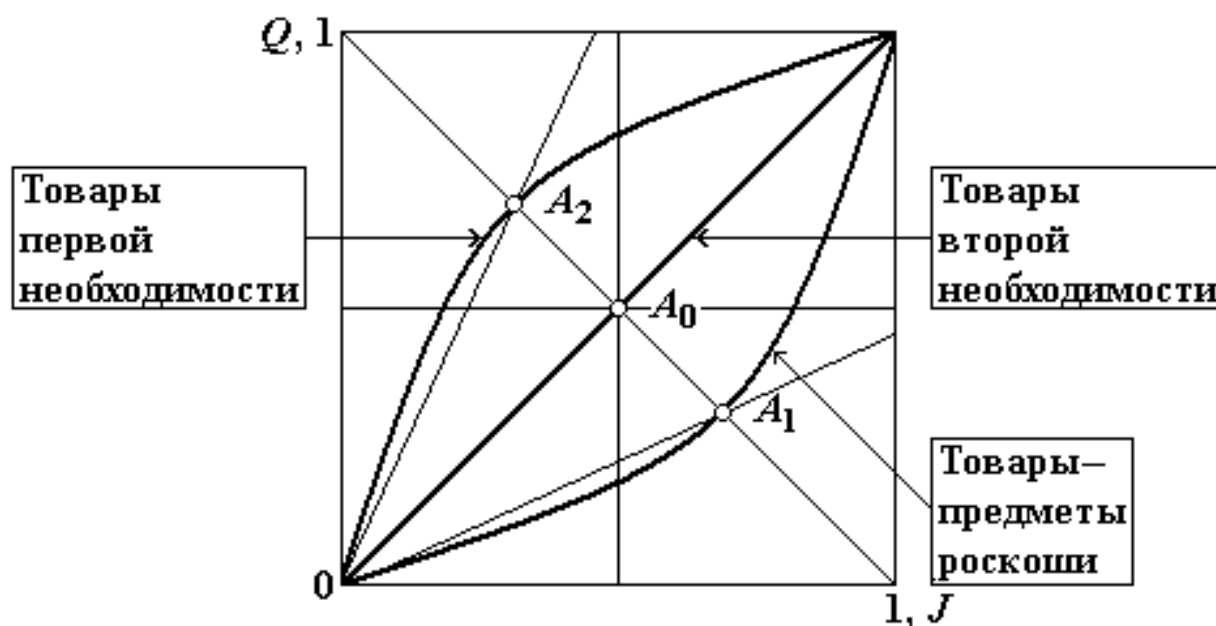


Рис. 4. Кривые Энгеля для различных групп нормальных товаров

Полный и объективный анализ эффективности использования ресурсов в экономике требует учитывать, что производство любого продукта или выполнение работы обычно основаны не на одном, а на целом комплексе исходных элементов. Помимо топлива, значительную роль играют трудовые ресурсы, оборудование и другие составляющие. Кроме того, на формирование цены работы может оказывать влияние и такой фактор, как несовершенство рыночной конкуренции. Подобные обстоятельства способны ослаблять воздействие топливной эффективности на конечную стоимость работы, тем самым смягчая обратный эффект и снижая вероятность проявления парадокса Джевонса.

В реальной экономике изменение спроса на топливо напрямую влияет на его стоимость, а следовательно, и на конечные затраты при выполнении работы. Еще в XIX веке Джевонс отмечал, что прогресс в области ресурсосбережения зачастую стимулирует рост объемов потребления топлива [3]. Однако это не означает, что повышение продуктивности использования ресурсов не имеет ценности. Напротив, совершенствование технологий сжигания топлива создает предпосылки для наращивания производственных мощностей и способствует росту благосостояния общества [7]. История промышленной революции служит наглядным примером: внедрение усовершенствованных паровых машин значительно снизило стоимость грузоперевозок и пассажирских сообщений, что, в свою очередь, дало импульс индустриальному развитию.

Тем не менее практика показывает, что одного лишь роста топливной эффективности недостаточно для замедления темпов истощения ископаемых ресурсов. Не случайно парадокс Джевонса иногда используют как аргумент против усилий по энергосбережению [3]. Например, утверждается, что повышение эффективности использования нефти только увеличивает спрос на нее и не может отсрочить наступление пика нефтедобычи. Подобные доводы часто приводят для обоснования отказа от экологической политики или программ по повышению энергоэффективности, ссылаясь на то, что, скажем, более экономичный автомобиль лишь приводит к увеличению числа поездок.

Однако против этого мнения существует ряд весомых возражений. Во-первых, на зрелых рынках, таких как нефтяной рынок в развитых странах, прямой обратный эффект, как правило, невелик, рост топливной эффективности действительно способствует снижению потребления ресурса при прочих равных условиях. Во-вторых, даже если повышение эффективности не приводит к уменьшению общего объема потребления топлива, оно все равно приносит значительные выгоды. Среди них смягчение роста цен, снижение риска дефицита и уменьшение сбоев в мировой экономике, связанных с достижением пика добычи нефти. В-третьих, опыт показывает, что потребление топлива однозначно снижается, если рост эффективности сопровождается государственным вмешательством, например введением экологических налогов, поддерживающих или увеличивающих цену использования топлива.

В конечном счете парадокс Джевонса наглядно демонстрирует, что одного лишь технологического прогресса недостаточно для устойчивого сокращения потребления топлива. Для этого необходимы дополнительные меры государственной политики, такие как экологические стандарты и экономические стимулы. Именно такой подход реализован в России: важную роль в регулировании энергопотребления играет Федеральный закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», который определяет правовые, экономические и организационные основы стимулирования рационального использования энергии и повышения ее эффективности.

Заключение. Проведенное исследование подтверждает, что теория дистортности как новое научное направление предоставляет эффективный инструментарий для анализа сложных взаимосвязей между технологическим прогрессом и изменениями в потреблении топливных ресурсов. Применение методов дистортности позволило выявить условия возникновения и масштабы парадокса Джевонса, а также оценить его влияние на формирование государственной политики в сфере энергосбережения, управление ресурсами и трансформацию моделей поведения общества. Полученные результаты демонстрируют, что учет нелинейных искажений в социально-экономических системах необходим для разработки комплексных стратегий устойчивого развития и эффективного управления энергопотреблением с учетом экономических, управленческих и гуманитарных факторов.

Библиографический список

1. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф. Инварианты дистортности: монография. Тверь: ТвГТУ, 2015. 168 с.
2. Blake A. Jevons' Paradox // *Ecological Economics*. 2005. 54 (1). P. 9–21.
3. Wackernagel M., Rees W.E. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, BC, Canada: New Society Publishers, 1998. 160 p.
4. Easterlin R.A. Does Economic Growth Improve the Human Lot? Some Empirical Evidence // *Nations and Households in Economic Growth: Essays in Honor of Moses Abramovitz* / eds. P.A. David & M.W. Reder. New York: Academic Press, 1974. P. 89–125.
5. Фаринюк Ю.Т., Гамаюнов С.Н. Инновации в сбережении тепловой энергии на предприятиях агропромышленного комплекса: научно-методические и практические рекомендации. Тверь: ТГСХА, 2011. 92 с.
6. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Пашаев Ф.А. Региональный менеджмент: учебное пособие. Тверь: ТвГТУ, 2015. 150 с.
7. Гамаюнов С.Н., Зюзин Б.Ф., Фаринюк Ю.Т. Распределенная энергетика: учебное пособие. Тверь: ТГСХА, 2011. 44 с.

DISTORTION AND THE JEVONS PARADOXIN THE CONSUMPTION OF FUEL RESOURCES

B.F. Zyuzin, S.N. Gamayunov, A.I. Zhigulskaya
Tver State Technical University, Tver

Abstract. *The article examines the problem of how growth in energy performance affects the consumption of fuel resources through the lens of the Jevons paradox and distortion theory. It substantiates the idea that technological progress can not only stimulate economic development but also lead to an increase in the overall volume of resource consumption due to the rebound effect. Particular attention is paid to socio-economic and managerial aspects: the influence of the Jevons paradox on the formation of state policy in the field of energy saving, changes in societal behavior patterns, and the ensuring of sustainable development is analyzed. The novelty of the research lies in the application of the distortion approach for a comprehensive analysis of rebound effects and forecasting their consequences in socio-economic systems. The obtained results enable the development of more balanced resource management strategies that take into account both economic and humanitarian factors.*

Keywords: *Jevons paradox, distortion, fuel resources, energy efficiency, socio-economic consequences, energy consumption management, sustainable development, public policy, societal behavior, rebound effect.*

Об авторах:

ЗЮЗИН Борис Федорович – лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия; e-mail: zbfu@yandex.ru

ГАМАЮНОВ Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологических машин и оборудования, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия; e-mail: sng61@mail.ru

ЖИГУЛЬСКАЯ Александра Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия; e-mail: 9051963@gmail.com

About the authors:

ZYUZIN Boris Fedorovich – Winner of the Russian Federation Government Prize in Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technological Machines and Equipment, Tver State Technical University, Tver, Russia; e-mail: zbfu@yandex.ru

GAMAYUNOV Sergey Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Tver State Technical University, Tver, Russia; e-mail: sng61@mail.ru

ZHIGULSKAYA Alexandra Ivanovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Tver State Technical University, Tver, Russia; e-mail: 9051963@gmail.com