

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ЭКОНОМИКУ РОССИИ В ДОЛГОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ*

Владислав Валерьевич КЛОЧКОВ^{а*}, Максим Николаевич ДАНИЛИН^б

^а доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экономической динамики и управления инновациями, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Российская Федерация
vlad_klochkov@mail.ru

^б аспирант лаборатории экономической динамики и управления инновациями, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Российская Федерация
maksdnilin@gmail.com

* Ответственный автор

История статьи:

Принята 18.08.2015

Одобрена 09.09.2015

УДК 339.13:339.98:620.9

JEL: F02, F52, L13, O33

Ключевые слова:

энергосбережение,
альтернативная энергетика,
экспорт, угрозы, экономико-
математическое моделирование

Аннотация

Тема. Развитие альтернативных энергетических технологий, а также энергосберегающих технологий нередко воспринимается не только как ненужное в современных российских условиях, но и как угроза отечественной экономике, подрыв ее геополитических позиций как энергетической сверхдержавы.

Цели. Разработка методов комплексного анализа влияния новых технологий производства энергии и энергосберегающих инноваций на благосостояние страны, экспортирующей энергоресурсы, а также конкурирующей с прочими странами на рынках благ.

Методология. Предложена модель конкуренции двух стран на рынках благ, причем одна из сторон добывает и частично экспортирует энергоресурсы, а другая изначально является их импортером, но может освоить самостоятельную добычу. Параметры технологий в энергетике и прочих отраслях представлены в обобщенной форме, позволяющей проводить сценарный анализ последствий внедрения различных инноваций в сфере производства энергии и энергосбережения.

Результаты. Проведенный экономико-математический анализ показал, что распространение инноваций в энергетической сфере может повысить благосостояние России при условии пропорционального (или опережающего) улучшения технико-экономических параметров технологий в ТЭК и в прочих отраслях экономики как в России, так и в странах, являющихся ее конкурентами на рынках благ и покупателями на энергетических рынках. Получены оценки (по порядку величины) как возможного выигрыша, так и потерь национального дохода России в случае отставания в развитии технологий энергосбережения и производства доступной энергии.

Выводы. Развитие энергосберегающих технологий, как и технологий производства более доступной энергии, не является угрозой экономике России и, более того, может повысить ее конкурентоспособность благодаря смягчению негативного влияния природно-климатических условий, а также устойчивость ее экономического положения за счет снижения доли экспорта энергоресурсов в национальном доходе. Значительную угрозу российской экономике создает именно отставание от зарубежных стран в развитии соответствующих технологий.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2015

Введение. Обоснование актуальности проблемы

Энергетика как таковая является одной из ведущих отраслей экономики, во многом определяя уровень развития всех прочих секторов, благосостояние и качество жизни населения. Можно заметить, что в традиционной периодизации научно-технического прогресса (НТП), экономико-технологического развития человечества [1] в основе каждого технологического уклада (ТУ) лежат именно энергетические технологии – водяное колесо, паровая машина, двигатель внутреннего сгорания, электродвигатель и т.п. Таким образом, фактически можно говорить и об

энергетических укладах, хорошо коррелирующих с технологиями в прочих секторах экономики.

В настоящее время топливно-энергетический комплекс (ТЭК) является одним из ключевых в экономике России, обеспечивая не только работу отечественной промышленности, транспорта и других отраслевых комплексов, но и значительную часть экспортных доходов¹. Участие России в

*Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-06-06360).

¹ Даже в условиях ухудшения конъюнктуры на мировых энергетических рынках в 2014 г. эта доля составила свыше 60% (см., например, URL: <http://vlant-consult.ru/information/board/478>). Также можно обратиться к официальным данным государственной экономической статистики о товарной структуре российского экспорта, к данным таможенной статистики (URL: http://gks.ru/bgd/regl/b14_11/IssWWW.exe/Stg/d02/26-04.htm;

газоснабжении сопредельных государств, значительной части Западной и Центральной Европы является существенным фактором глобальной политики. Значительна роль России и на мировом рынке нефти и нефтепродуктов (порядка 10% поставок на мировой рынок при 12–13% мирового объема добычи). Более детальные сведения о месте России на мировых энергетических рынках можно почерпнуть, например, в работе² [2]. С точки зрения современной геополитики маршруты транспортировки энергоресурсов являются критически важными и тесно взаимосвязаны с военно-политическими проблемами современного мира.

В то же время сложившийся структурный перекоп российской экономики в сторону экспортно ориентированных добывающих отраслей ТЭК влечет за собой целый ряд негативных институциональных, социальных и макроэкономических последствий³, обуславливает уязвимость российской экономики по отношению к изменениям (случайным или управляемым) конъюнктуры на мировых энергетических рынках. В связи с этим значительный интерес российских и зарубежных ученых и специалистов-практиков вызывает вопрос о возможном влиянии на экономику страны развития и распространения новых технологий в энергетике.

Под таковыми подразумевается широкий спектр инновационных технологий – от разработки трудноизвлекаемых запасов традиционных углеводородных энергоносителей (из плохо проницаемых пород – так называемых сланцевых нефти и газа либо на морском шельфе) до возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – солнечной, энергии ветра, биотоплива и т.п.; от замкнутого топливного цикла в ядерной энергетике до возможного освоения управляемого термоядерного синтеза. Поскольку в современной энергетике критически важными остаются факторы транспортировки энергии и энергоносителей (причем транспортные затраты

URL: http://customs.ru/index2.php?option=com_content&view=article&id=20999&Itemid=1978 и др. источникам).

² Особенно примечательно, что данная статья написана в первом десятилетии XXI в., то есть в период устойчивого удорожания энергоресурсов. Она весьма правдиво отражает планы развития России именно как энергетической сверхдержавы, а также возможные на этом пути проблемы и глобальные противоречия, в полной мере проявившиеся уже во втором десятилетии XXI в.

³ В том числе относящихся к факторам так называемого ресурсного проклятия (см., например, [3, 4, 5]).

иногда многократно превышают собственно стоимость их добычи или производства), а также их хранения и накопления, то идеальное состояние энергетических технологий формулируется следующим образом: доступная и экологически чистая энергия там, где она нужна, и тогда, когда она нужна. На пути к этому идеалу уже достигнуты определенные успехи.

Строго говоря, инновационные энергетические технологии давно развиваются и применяются (см., например, обзорную работу [6]), причем не только за рубежом, но и в нашей стране (и во многих из перечисленных направлений отечественная наука и техника были в числе пионеров). В то же время большая часть перспективных энергетических технологий еще находится на ранних стадиях инновационного развития, на начальном участке S-образной кривой, изображенной на рис. 1.

При этом они, как правило, уступают в эффективности традиционным технологиям, то есть имеет место так называемый *технологический разрыв*, показанный на рис. 1. Многие из новых энергетических технологий на данный момент еще не являются экономически рентабельными и требуют тех или иных форм государственной поддержки⁴ [8]. Более того, некоторые инновационные технологии пока не стали рентабельными даже с энергетической точки зрения, по критерию EROEI (*Energy Returned on Energy Invested*), то есть по отношению полученной энергии к затраченной [9]. Некоторые новые энергетические технологии до сих пор требуют больше энергии в расчете на полный жизненный цикл объекта (с учетом производства оборудования, его монтажа и т.п.), чем будет выработано с его помощью. Само по себе это не является причиной для отказа от развития данных технологий – вполне возможно, что по мере их освоения и совершенствования (то есть продвижения вправо по S-образной кривой) они станут эффективными и превзойдут традиционные, как показано на рис. 1. В то же время, разумеется, многие из ныне изучаемых технологий-кандидатов окажутся тупиковыми. Это неизбежный риск в процессе инновационного технологического развития.

В настоящее время интерес к «новой энергетике» в России по объективным экономическим причинам

⁴ Ратнер С.В., Дира Д.В. Методические подходы к разработке механизмов налогового стимулирования развития альтернативной энергетики // Финансы и кредит. 2012 № 20. С. 27–36.

гораздо слабее, чем в большинстве развитых стран мира, ввиду наличия значительных запасов углеводородного сырья (причем относительно легко извлекаемых, что снижает и актуальность освоения новых технологий нефте- и газодобычи). При этом вследствие критической значимости ТЭК для российской экономики и политической позиции страны в мире топливно-энергетическая проблематика остро политизирована, становится предметом ожесточенных дискуссий в широких слоях общества и работников разных отраслей, далеких от ТЭК. Можно утверждать, что общественное мнение и даже позиция многих руководителей, государственных деятелей различных уровней по энергетической проблематике формируются в основном под влиянием пропаганды – так называемого *информационного управления* (подробнее см. [10, 11]). За рубежом также значительная часть информационного поля по энергетической проблематике занята политической пропагандой или коммерческой рекламой. В целом области наук, имеющие отношение к ТЭК (а это соответствующие разделы технических и экономических наук, например геолого-минералогические), крайне политизированы как в России, так и за рубежом⁵.

Можно утверждать, что в российском общественном мнении и во мнениях ответственных руководителей вплоть до высшего ранга сложилось предубеждение по отношению к инновациям в энергетической сфере. Более того, даже сообщения об их развитии за рубежом воспринимаются негативно, как угроза утраты страной важнейшего источника экспортных доходов, ослабления геополитической значимости России на мировой арене. Следует подчеркнуть, что риски значительного снижения экспортных доходов ввиду удешевления российских энергоресурсов уже реализовались в конце 2014 – начале 2015 гг. – и не по причине фундаментальных технологических сдвигов, а по причине достаточно локальных спекулятивных колебаний рыночной конъюнктуры. Таким образом, и без масштабного распространения

⁵ Подробно феномен политизации науки рассмотрен в работах: Панин Б.А., Клочков В.В. Анализ предпосылок и последствий политизации экономической науки // Экономическая наука современной России. 2011. № 3. С. 56–67; Панин Б.А., Клочков В.В. Экономическая наука как инструмент и объект управления: политизация и объективность // Информационные войны. 2011. № 2. С. 7–14. И хотя в них особое внимание уделяется экономическим наукам, в не меньшей степени практически все результаты применимы и к топливно-энергетическим научным направлениям.

новых энергетических технологий российская экономика получила опыт работы в условиях резкого сокращения денежных потоков от экспорта энергоресурсов. И этот опыт пока является скорее негативным, что дополнительно усиливает опасения в плане энергетических инноваций, отношения к ним общественного мнения и мнения руководителей высокого ранга как к вредным и антироссийским.

Однако так или иначе инновационные технологии в энергетике (включая и неэффективные экономически или даже энергетически) уже объективная реальность, а в долгосрочной перспективе – неизбежное будущее, в том числе и для России. Недостаточное внимание к изучению и развитию новых энергетических технологий неизбежно обернется проигрышем в инновационной гонке. Именно поэтому, даже если Россия пока может себе позволить опираться в основном на традиционные технологии и энергоресурсы, исследования и разработки в сфере энергетических инноваций необходимо вести уже сейчас, направляя на них часть доходов от эксплуатации зрелых технологий. Сама по себе стратегия преодоления технологического разрыва в энергетике является предметом анализа в работе [12] и др. Здесь же основное внимание будет уделено следующему вопросу: как отразится на российской экономике переход к новому энергетическому укладу в долгосрочной перспективе, по завершении переходных процессов?

Гипотезы исследования

Можно утверждать, что новые технологии в энергетике в конечном счете нацелены на повышение доступности энергии (за счет освоения новых энергоресурсов), а также на снижение потребности в ней. Как уже было отмечено, обе эти тенденции традиционно воспринимаются как угроза благополучию России, ее позициям как энергетической сверхдержавы.

Во-первых, в новых энергетических укладах Россия может занять достойное место в мировом разделении труда как разработчик и поставщик наукоемкого и высокотехнологичного энергооборудования (что отчасти уже реализуется в атомной энергетике, в меньшей степени – в гидроэнергетике) и, возможно, как поставщик альтернативных, «зеленых» энергоресурсов (например, биотоплива благодаря значительным площадям территорий и акваторий⁶).

⁶ Разумеется, известна неоднозначная эффективность технологий производства биотоплива с точки зрения экологии

Во-вторых, естественные преимущества России – значительные запасы полезных ископаемых – дополняются известными природно-климатическими проблемами. Значительная часть территории нашей страны (и, заметим, запасов ископаемых энергоресурсов) располагается в холодных регионах, велик и годовой ход температур, что обуславливает значительные затраты энергии на отопление и кондиционирование помещений. Сложные геологические условия, большая протяженность территории и др. – все эти факторы обусловили объективно более высокую энергоемкость хозяйственной деятельности и проживания на территории России⁷ по сравнению с большинством развитых стран мира. Все это сокращает конкурентоспособность российской экономики, а также привлекательность значительной части территории для расселения и рекреации, хотя и не в той степени, как это утверждается в работах сторонников теории климатического детерминизма [14, 15].

В связи с этим возникает следующая гипотеза. Возможно, что сокращение доходов от экспорта традиционных углеводородных энергоресурсов будет в той или иной степени компенсировано, во-первых, доходами от экспорта альтернативных энергоресурсов и/или энергетического оборудования, а во-вторых, ростом конкурентоспособности (в том числе на мировом рынке) остальных секторов российской экономики благодаря повышению доступности энергии и/или снижению энергоемкости производственных процессов. Для проверки этой гипотезы, а также определения предпочтительных для России путей инновационного развития технологий (энергетических и прочих) предполагается использовать экономико-математическое

и собственно энергетики, особенно если плантации однолетних топливных культур замещают многолетние леса. В связи с этим активно развиваются технологии производства биотоплива 3-го рода, или поколения из искусственно выращиваемых водорослей (биотопливом 1-го рода называется биотопливо, производимое из «продовольственных» сельхозкультур, 2-го рода – из пищевых отходов, отходов лесной промышленности и т.п., подробнее см. [13]).

⁷ Разумеется, есть и субъективные факторы – низкая энергетическая эффективность технологий, недостаточное внимание, уделяемое вопросам энергосбережения и, говоря шире, ресурсосбережения (поскольку, например, низкая долговечность машин и строений требует их более частого воспроизводства, которое также является энергоемким). Можно считать, что в долгосрочной перспективе они будут преодолены, если объективные факторы более долгосрочного характера не будут препятствовать экономическому развитию страны.

моделирование. Необходимо разработать модели для решения следующих научных задач:

- для прогнозирования изменения доходов российской экономики при переходе к новым энергетическим укладам;
- проведения параметрических расчетов, позволяющих определить, в каких условиях (то есть областях значений модельных параметров) прогноз перехода к новым энергетическим укладам наиболее и наименее благоприятен для российской экономики;
- выбора предпочтительных для российской экономики значений параметров технологий как в ТЭК, так и в остальных отраслях экономики.

Разумеется, бессмысленно требовать точных и детализированных оценок на уровне, характерном для краткосрочных прогнозов, в которых, например, прогнозируют, как отразится изменение цен на нефть на составляющих российского ВВП, доходах и расходах государственного бюджета и т.п. Более того, если краткосрочные прогнозы опираются на неизменную структуру российской экономики, то в долгосрочных прогнозах целесообразно поставить задачу оптимизации этой структуры, поиска путей наилучшей адаптации экономики страны к новым энергетическим технологиям. В свою очередь, детальные характеристики этих технологий на данный момент также непредсказуемы – как было отмечено, изучается широкий спектр технологий-кандидатов и неизвестно, какие из них окажутся тупиковыми, а какие удастся развить до промышленного уровня готовности. Именно поэтому прогноз должен строиться на базе обобщенных технико-экономических характеристик перспективных технологий – прежде всего энергоемкости производственных технологий (вне ТЭК) и затрат на добычу или производство энергоресурсов. Конкретные способы достижения того или иного уровня этих характеристик являются предметом интереса иных – технических, геолого-минералогических, возможно, сельскохозяйственных, биологических и других наук.

В работах [16–18] исследуется энергоемкость российской экономики, в том числе в сравнении с другими странами мира, а также ее влияние на глобальную конкурентоспособность национальной экономики. В то же время целесообразно включать факторы энергоэффективности и доступности энергии непосредственно в модели глобальной экономической конкуренции. В отличие от

сложных многосекторных моделей, реализуемых только на компьютерах (включая супер-ЭВМ), в настоящей работе предлагается строить «мягкие» модели [19], которые позволят адекватно предсказать качественные эффекты и, возможно, приближенные значения количественных показателей. Большого от этих моделей требовать бессмысленно и некорректно.

В рамках данного исследования предполагается уделить основное внимание именно эффектам возможного снижения энергоемкости производственных технологий вне ТЭК, а также снижения затрат на добычу или производство энергоресурсов. Что касается возможного повышения роли России как поставщика оборудования для новой энергетики (при увеличении в структуре затрат в энергетике доли капитальных затрат и снижении доли затрат на природные энергоресурсы), то данный аспект требует отдельного изучения.

Упрощенная экономико-математическая модель взаимодействия российской и мировой экономик с учетом ресурсно-энергетического сектора

Предпосылки модели и условные обозначения. Рассмотрим взаимодействие двух фирм, обозначенных A и B , под которыми подразумеваются соответственно обобщенная зарубежная экономика и экономика России. Фирмы производят однородные блага (прежде всего потребительские товары и услуги), продаваемые на едином рынке⁸ с известным законом спроса. Технологии производства – в общем случае различные – предусматривают расходование определенных энергоресурсов, а также прочие затраты (прежде всего трудовые). Предположим, что указанные энергоресурсы изначально производятся фирмой B и достаются ей в общем случае по цене $p_{рес}^A$, а фирме A продаются по некоторой договорной цене⁹ $p_{рес}^{экср B}$. Эти цены могут быть одинаковыми, поскольку, например, российский ТЭК длительное время декларирует необходимость приведения внутренних цен на энергоресурсы к мировому уровню. Но возможно и следующее:

⁸ Разумеется, следует иметь в виду, что многие виды услуг, в том числе энергоемких – например, услуги ЖКХ, многих видов транспорта, относятся к неторгуемым благам, то есть рынки могут быть и географически сегментированными.

⁹ Разумеется, в реальности и страны Запада обладают развитой нефтегазовой промышленностью, и, например, США являются одним из мировых лидеров по добыче нефти и природного газа.

$$p_{рес}^A < p_{рес}^{экср B},$$

что соответствует «энергетическому» протекционизму страны B .

На рынке благ фирмы конкурируют в соответствии с какой-либо простейшей моделью дуополии – например, моделью *дуополии Курно*. Примем простейшую линейную функцию спроса:

$$p(q_{\Sigma}) = a - bq_{\Sigma},$$

где a, b – постоянные коэффициенты линейной функции спроса (a имеет экономический смысл *запретительной цены* для данного рынка, то есть такой цены, выше которой уже никто не купит данное благо);

$$q_{\Sigma} = q^A + q^B,$$

где q_{Σ} – суммарный выпуск обеих фирм;

q_i – выпуск i -й фирмы ($i = A, B$).

Также примем простейшие линейные функции затрат в производственном секторе, причем затраты включают в себя часть, связанную с расходованием энергоресурсов, и прочие производственные издержки:

$$TC_i = (g^i p_{рес}^i + c_{пр}^i) q^i, \quad i = A, B,$$

где g^i – удельный расход энергоресурсов на производство единицы благ i -й фирмой (ресурсоемкость);

$c_{пр}^i$ – прочие производственные затраты i -й фирмы на единицу продукции, $i = A, B$;

$p_{рес}^i$ – цена энергоресурсов, по которой они достаются i -й фирме.

Как легко показать в рамках модели дуополии Курно с различными издержками конкурентов, (что было сделано, например, в работе [20]), при таких исходных данных, если обе фирмы продолжают производство конечной продукции и конкурируют на рынке благ, равновесные объемы выпуска фирм A и B составят соответственно

$$q_{конк}^A = \frac{a + (c_{пр}^B - 2c_{пр}^A) + (g^B p_{рес}^B - 2g^A p_{рес}^A)}{3b}$$

и

$$q_{конк}^B = \frac{a + (c_{пр}^A - 2c_{пр}^B) + (g^A p_{рес}^A - 2g^B p_{рес}^B)}{3b}.$$

Равновесная цена производимых благ составит

$$p_{конк} = \frac{a + (c_{пр}^A + c_{пр}^B) + (g^A p_{рес}^A + g^B p_{рес}^B)}{3}.$$

Равновесные прибыли фирм A и B от производства и продажи благ составят соответственно

$$\Pi_{\text{конк}}^A = \frac{[a + (c_{\text{пр}}^B - 2c_{\text{пр}}^A) + (g^B p_{\text{рес}}^B - 2g^A p_{\text{рес}}^A)]^2}{9b}$$

и

$$\Pi_{\text{конк}}^B = \frac{[a + (c_{\text{пр}}^A - 2c_{\text{пр}}^B) + (g^A p_{\text{рес}}^A - 2g^B p_{\text{рес}}^B)]^2}{9b},$$

причем чтобы фирма продолжила производство, необходимо, но не достаточно, чтобы ее прибыль оставалась положительной.

Обозначим предельные издержки производства энергоресурсов i -й фирмой ρ^i ($i = A, B$). Также обозначим через $FC_{\text{рес}}^i$ постоянные издержки на освоение производства энергоресурсов фирмой i ($i = A, B$). Поскольку в долгосрочном периоде все производственные издержки, в том числе и связанные с производственными мощностями, рассматриваются как переменные, здесь под постоянными затратами, не зависящими от уровня выпуска энергоресурсов, прежде всего подразумеваются затраты на исследования, разработки, возможно, геологические изыскания. Если страна B сама производит энергоресурсы и проводит протекционистскую политику в отношении своей экономики, тогда они достаются последней по себестоимости, равной $\rho_{\text{рес}}^B$: $\rho_{\text{рес}}^B = \rho^B$, а фирме A – по договорной экспортной цене: $\rho_{\text{рес}}^A = \rho_{\text{рес}}^{\text{эксп } B}$. В отсутствие протекционизма цена энергоресурсов одинакова для всех производителей: $p_{\text{рес}}^A = p_{\text{рес}}^B = p_{\text{рес}}^{\text{эксп } B}$.

В принципе фирма A может и сама организовать производство энергоресурсов, но это может быть сопряжено с большими постоянными и/или переменными издержками, чем у фирмы B . Однако при появлении новых энергетических технологий соответствующие затраты снижаются. Если обе фирмы будут сами обеспечивать себя энергоресурсами, каждая фирма будет получать их по соответствующей себестоимости: $p_{\text{рес}}^A = \rho^A$, $p_{\text{рес}}^B = \rho^B$ (поскольку здесь рассматривается централизованное управление экономикой каждой страны, при автономном обеспечении энергоресурсами извлечение прибыли из торговли ими на внутреннем рынке заведомо неэффективно с точки зрения национальной экономики), а также нести соответствующие постоянные издержки.

Равновесные значения целевых функций игроков. Целевыми функциями обеих фирм являются их

совокупные доходы, включающие прибыль от производства и продажи благ и, возможно, прибыль от производства и продажи энергоресурсов другой фирме. Если, как изначально предполагалось, энергоресурсы производит только фирма B , величины совокупного дохода фирм A и B будут равны соответственно

$$Y_{\text{конк}}^A = \Pi_{\text{конк}}^A = \frac{[a + (c_{\text{пр}}^B - 2c_{\text{пр}}^A) + (g^B p_{\text{рес}}^B - 2g^A p_{\text{рес}}^A)]^2}{9b} = \frac{[a + (c_{\text{пр}}^B - 2c_{\text{пр}}^A) + (g^B \rho^B - 2g^A p_{\text{рес}}^{\text{эксп } B})]^2}{9b}$$

и

$$Y_{\text{конк}}^B = \Pi_{\text{конк}}^B + (p_{\text{рес}}^{\text{эксп } B} - \rho^B)g^A q_{\text{конк}}^A - FC_{\text{рес}}^B = \frac{[a + (c_{\text{пр}}^A - 2c_{\text{пр}}^B) + (g^A p_{\text{рес}}^{\text{эксп } B} - 2g^B \rho^B)]^2}{9b} + (p_{\text{рес}}^{\text{эксп } B} - \rho^B)g^A q_{\text{конк}}^A - FC_{\text{рес}}^B.$$

В том случае, если какая-либо фирма i ($i = A, B$) останется на рынке благ монополистом, ее прибыль от производства и продажи благ составит

$$\Pi_{\text{мон}}^i = \frac{[a - c_{\text{пр}}^i - g^i p_{\text{рес}}^i]^2}{4b}.$$

Причем такое положение дел может сложиться в нескольких случаях. Прежде всего та или иная фирма i ($i = A, B$) может стать монополистом (а другая соответственно полностью покинуть все рассматриваемые здесь рынки) и самостоятельно обеспечивать себя энергетическими ресурсами. В последнем случае совокупный доход фирмы i с учетом постоянных затрат на производство энергоресурсов составит

$$Y_{\text{мон}}^i = \Pi_{\text{мон}}^i - FC_{\text{рес}}^i = \frac{[a - c_{\text{пр}}^i - g^i p_{\text{рес}}^i]^2}{4b} - FC_{\text{рес}}^i.$$

Но помимо описанной ситуации возможна и иная: фирма A может стать монополистом на рынке благ при продолжении закупки энергоресурсов у фирмы B (решившей прекратить собственное производство благ), и тогда фирма A будет платить за них определенную цену $p_{\text{рес}}^{\text{эксп } B}$. Если фирма B примет решение прекратить собственное производство благ и сосредоточиться на производстве и продаже энергоресурсов фирме A , тогда ее совокупный доход составит

$$Y_{\text{б/произв}}^B = (p_{\text{рес}}^{\text{эксп } B} - \rho^B)g^A q_{\text{мон}}^A - FC_{\text{рес}}^B.$$

Совокупный доход фирмы A составит

$$Y_{\text{мон.имп}}^B = \frac{[a - c_{\text{пр}}^A - g^A p_{\text{рес}}^{\text{эксп.}B}]^2}{4b}.$$

Можно выразить целевые функции фирм через цену $p_{\text{рес}}^{\text{эксп.}B}$, по которой фирма B продает энергоресурсы фирме A . Этот параметр здесь рассматривается как управляемый, он определяется фирмой B как изначально монопольным производителем энергоресурсов исходя из соображений максимизации своего совокупного дохода. Поскольку модель Курно построена из предположения о том, что каждый игрок оптимизирует свое поведение (в простейшем случае – выпуск продукции), не ожидая ответного изменения поведения конкурентов, договорная цена энергоресурсов рассматривается в данном случае при моделировании дуопольного рынка как экзогенный параметр, а затем определяются диапазоны ее значений, в которых наблюдаются те или иные равновесия. Иначе пришлось бы, ставя задачу совместной оптимизации выпуска фирмы B и цены, по которой она продает энергоресурсы, учитывать реакцию фирмы A на изменение их цены, что выходило бы за рамки допущений модели Курно и требовало бы более сложных расчетов для определения равновесных параметров.

Итак, в рамках предложенной модели игроки могут выбирать между следующими стратегиями:

- в сфере производства благ – продолжать собственное производство благ (при необходимом условии его безубыточности, то есть при $\Pi_{\text{конк}}^i > 0$) либо прекратить его;
- в сфере производства энергоресурсов – закупать их по цене, установленной другим игроком, либо вести их самостоятельное производство (в свою очередь обеспечивая лишь собственное производство благ, если оно продолжается, либо продавая их другой фирме).

Необходимо найти условия, при которых:

- сохраняется статус-кво, то есть обе фирмы конкурируют на рынке благ, причем фирме A выгоднее будет покупать энергоресурсы у фирмы B , а фирме B будет выгоднее продавать эти ресурсы;
- обе фирмы конкурируют на рынке благ, причем фирма A будет заинтересована в самостоятельной организации производства энергоресурсов;

- фирма B отказывается от самостоятельного производства конечной продукции, сосредоточившись на производстве энергоресурсов и их продаже фирме A ;
- какая-либо из фирм полностью уходит с рынков благ и энергоресурсов, а другая остается монополистом, полностью обеспечивая себя энергетическими ресурсами.

Параметрические расчеты и анализ влияния на экономику России перехода к новым энергетическим укладам

Прежде всего целесообразно провести параметрические расчеты на основе условных исходных данных, для того чтобы выявить общие закономерности взаимодействия сторон в данной модели и качественную картину изменений, сопутствующих внедрению новых технологий в энергетической сфере¹⁰. Примем в качестве исходного следующий (условный, не претендующий на реалистичность, поскольку важнее будут относительные изменения параметров в дальнейшем) набор исходных данных:

- коэффициенты функции спроса: $a = 155, b = 1$;
- ресурсоемкость производственных технологий: $g^A = 1, g^B = 2$;
- прочие производственные затраты на единицу продукции: $c_{\text{пр}}^A = 85, c_{\text{пр}}^B = 90$;
- предельные издержки производства энергетических ресурсов: $\rho^A = 20, \rho^B = 10$;
- постоянные затраты на производство энергоресурсов: $FC_{\text{рес}}^A = 200, FC_{\text{рес}}^B = 100$.

Такой набор исходных данных означает, что страна B вдвое проигрывает конкуренту в части энергоемкости производства благ, однако обладает двукратным преимуществом в себестоимости добычи энергоресурсов¹¹. Здесь и далее считается,

¹⁰Не только в самой энергетике – добыче энергоресурсов, генерации энергии, ее передаче, хранении, распределении и т.п., но и в сфере потребления энергии прочими отраслями экономики.

¹¹В дальнейшем исходные данные могут быть откалиброваны таким образом, чтобы учесть реальное различие в энергоемкости производства благ, в себестоимости добычи энергоресурсов (отдельные сведения о реальном соотношении этих параметров можно почерпнуть в работах [18, 19]), добиться реалистичной доли экспорта энергоресурсов в ВВП России (а также реалистичных долей их импорта в затратах зарубежных производителей), реалистичного соотношения ВВП России и ведущих стран Запада. В предлагаемой экономико-математической модели

что своей фирме страна B продает энергоносители по себестоимости их добычи, то есть проводит протекционистскую политику на энергетическом рынке: $p_{\text{рес}}^B = p^B$ (то есть рассматривается наиболее благоприятный для страны B вариант скоординированной политики ТЭК и остальных секторов экономики для достижения максимального общего выигрыша). В то же время стране A она продает энергоресурсы по договорной рыночной цене $p_{\text{рес}}^A = p_{\text{рес}}^{\text{экс} B}$.

Графики зависимости дохода страны от рыночной цены энергоресурсов, установленной их продавцом, страной B , $p_{\text{рес}}^{\text{экс} B}$ доходов обеих сторон (причем в различных сценариях, рассмотренных выше: при сохранении статус-кво, при отказе страны A от импорта энергоресурсов из страны B и самостоятельном их производстве и т.п.) представлены на рис. 2. Из характера кривых следует, что стране B заведомо невыгодно продавать энергоресурсы по цене ниже $p_{\text{рес}}^{\text{экс} B} = 12$, а страна A при рыночной цене энергоресурсов выше $p_{\text{рес}}^{\text{экс} B} = 30$ уже будет заинтересована в самостоятельном освоении их добычи или производства. Эти границы определяют диапазон взаимовыгодных цен на мировом рынке энергоресурсов, при которых стороны заинтересованы в торговле и получают от нее обоюдный выигрыш.

Поскольку каждая сторона выбирает ту стратегию, которая максимизирует ее доход, на основе графиков, соответствующих различным стратегиям, можно построить результирующие графики, соответствующие равновесиям Нэша для каждого значения рыночной цены энергоресурсов (рис. 3). Таким образом, в данном примере максимальный национальный доход страны B достигается при $p_{\text{рес}}^{\text{экс} B} = 30$, что соответствует пограничному состоянию страны A : при дальнейшем, даже малом увеличении цены энергоресурсов ей уже будет выгоднее перейти к самообеспечению, что лишит страну B экспортных доходов и приведет к резкому падению ее благосостояния. Именно поэтому целесообразно назначать цену энергоресурсов с некоторым «запасом устойчивости», что приведет и к определенному снижению дохода страны B . Следовательно, реалистичные значения ее национального дохода в данном примере составляют около 300–350 ден. ед./год.

достаточно «степеней свободы» для калибровки по нынешнему состоянию, которое должно служить исходным для дальнейших сценарных расчетов.

Далее необходимо проанализировать, как изменится национальный доход страны B при появлении новых технологий, которые позволяют:

- радикально удешевить добычу энергоресурсов и производство энергии, причем с учетом транспортировки, реализуя принцип «доступная энергия там и тогда, где и когда она необходима». Иными словами, сократить в обеих странах предельные издержки производства или добычи энергоресурсов p^i ($i = A, B$) и/или постоянные затраты $FC_{\text{рес}}^i$ ($i = A, B$);
- снизить энергоемкость производства благ g^i ($i = A, B$). При этом следует принимать во внимание, что объективные экономико-географические особенности России и в дальнейшем, вероятно, будут обуславливать некоторый ее проигрыш по этому показателю другим крупным державам¹².

Сначала рассмотрим последствия сокращения энергоемкости производственных технологий. Графики, аналогичные представленным на рис. 3, приведены на рис. 4. Однако помимо кривых национального дохода стран A и B при исходном наборе данных также приведены графики, построенные:

- для вдвое меньших значений энергоемкости (то есть $g^A = 0,5$, $g^B = 1$) – штриховой линией;
- для впятеро меньших значений энергоемкости (то есть $g^A = 0,2$, $g^B = 0,4$) – пунктирной линией.

Сравнение графиков показывает, что по мере снижения энергоемкости технологий у обоих партнеров расширяется диапазон взаимоприемлемых цен на энергоносители, при котором стране A выгоднее приобретать их у страны B , а не производить самостоятельно. В то же время и национальный доход страны B , достигаемый в отсутствие торговли энергоресурсами (то есть за пределами взаимовыгодного диапазона цен), повышается за счет повышения ее конкурентоспособности на рынках благ. Прирост национального дохода,

¹²В работах [18, 19], в которых исследуется энергоемкость российского ВВП в сравнении с другими странами мира, верно отмечено, что само по себе более высокое значение энергоемкости экономики еще не означает более низкой энергоэффективности технологий. Вполне возможно, что в этом помимо объективных природно-климатических различий проявляется иная структура российской экономики, ее специализация на более энергоемких видах деятельности (включая, кстати, добычу, транспортировку и переработку энергоресурсов). В то же время переход к новому технологическому укладу в энергетике может вызвать отказ от такой специализации (возможно, вынужденный) и сокращение энергоемкости российской экономики даже при неизменной энергоэффективности прочих производственных технологий (вне ТЭК).

вызванный торговлей энергоресурсами, становится все ниже относительно уровня дохода в отсутствие торговли. Иначе говоря, повышается устойчивость национальной экономики страны B к изменениям конъюнктуры на мировых энергетических рынках за счет сокращения доли экспорта энергоресурсов в ВВП и национальном доходе.

Теперь, вернувшись к исходному набору параметров модели, проанализируем последствия сокращения предельных издержек производства или добычи энергоресурсов. Графики, построенные по аналогии с рис. 3, приведены на рис. 5: сплошными линиями – соответствующий исходным значениям параметров, штриховыми – при предельных издержках производства энергоресурсов, сниженных вдвое (то есть $\rho^A = 10$, $\rho^B = 5$), и пунктирными – если предельные затраты производства энергоресурсов сократятся вдесятеро (то есть $\rho^A = 2$, $\rho^B = 1$). Для наглядности приведены только графики для страны B , поскольку общий вид графиков для обеих стран не изменился: существует определенный взаимовыгодный диапазон рыночных цен энергоресурсов, в рамках которого обе стороны получают выигрш от торговли.

Видно, что и при сокращении предельных затрат производства энергии благосостояние страны B возрастает. Диапазон взаимовыгодных цен ресурсов теперь сужается и смещается влево, что обусловлено снижением предельных затрат. В то же время, как и в предыдущем случае, повышается устойчивость экономического положения страны B (поскольку сокращается разница между ее национальным доходом при успешной торговле на мировом рынке энергоресурсов и при отсутствии таковой) и растет максимальный выигрш, который может быть получен в процессе торговли.

Аналогичные сценарии сокращения предельных затрат на добычу энергоресурсов в 2 и в 10 раз рассмотрены на рис. 6, однако наряду с предельными пропорционально снижаются и постоянные издержки.

Сравнение данных рис. 5 и 6 показывает, что сокращение постоянных затрат на производство энергоресурсов ослабляет экономические позиции страны B , поскольку снижаются барьеры входа на энергетические рынки для ее потенциальных конкурентов. Сокращение постоянных затрат при переходе к новым энергетическим укладам представляется гораздо менее реалистичным, чем снижение предельных издержек производства энергии. Во-первых, в структуре затрат на энергообеспечение в рамках новых технологий, как правило, возрастает доля капитальных издержек и падает доля материальных затрат. Во-вторых, потребность в обширных исследованиях и разработках для развития новых энергетических технологий также внесет вклад в повышение

уровня постоянных издержек (по крайней мере, на уровне национальных экономик, которые и рассматриваются в модели). В то же время, поскольку соответствующие исследования и разработки уже проводятся (и весьма массированно) наиболее развитыми странами мира и соответствующие затраты уже делаются, они не будут влиять на принятие решений о самостоятельном обеспечении энергоресурсами, поскольку на момент принятия этих решений уже будут относиться к издержкам прошедших периодов. Именно поэтому такой сценарий вполне реалистичен, хотя он менее выгоден не только Российской Федерации, но и странам – импортерам ее энергоресурсов. Тем не менее он может реализоваться в силу политизированной, а не прагматической стратегии «освобождения от российской зависимости любой ценой». В то же время и такие сценарии не приведут к неприемлемым последствиям для российской экономики, если и в России себестоимость производства энергии будет сокращаться благодаря инновационным технологиям.

В долгосрочной перспективе внедрение инновационных технологий производства энергии и энергосбережения позволит активнее развивать те специфические для России отрасли экономики, осваивать те относительно труднодоступные территории (для расселения, рекреации, хозяйственной деятельности), которые иначе были бы неприемлемо энергоемкими. Другими словами, следует превращать проблемы в конкурентные преимущества страны.

Однако все расчеты, результаты которых представлены на рис. 4–6, произведены исходя из предположения, что улучшение технологий во всех странах происходит пропорционально. Например, сокращение энергоемкости производства благ в обеих странах происходит одновременно в 2 и в 5 раз, то есть указанная выше «надбавка» к энергоемкости хозяйственной жизни в России рассматривается как мультипликативная. Если же она аддитивна, тогда, например, при сокращении энергоемкости зарубежной экономики g^A до 0,5, энергоемкость российской экономики в лучшем случае сократится на 0,5, а не вдвое, то есть до $g^B = 1,5$. В относительном выражении это уже означало бы отставание России в части энергосбережения и привело бы к существенным потерям. Тем более ухудшится положение России и устойчивость ее экономики, если за рубежом удастся снизить ресурсоемкость технологий, а в нашей стране она останется неизменной. Графики, рассчитанные для двух описанных здесь вариантов отставания страны B в части энергосбережения (на фоне сплошных линий, идентичных таковым на рис. 3), приведены на рис. 7.

Анализ полученных графиков показывает, что соответствующие сценарии уже могут привести к

катастрофическим последствиям для экономики страны *B*. Аналогичными будут и последствия значительного удешевления производства энергии в стране *A*, если технологии в ТЭК страны *B* останутся на прежнем уровне.

Выводы

Проведенный сценарный анализ показывает, что внедрение энергосберегающих технологий в промышленности (вне ТЭК) при условии пропорционального снижения энергоёмкости производства благ в России и за рубежом приведет к росту национального дохода России, поскольку ее экономика становится более конкурентоспособной даже на фоне более высокой энергоёмкости по объективным природно-климатическим причинам. Кроме того, в этом случае расширяется диапазон взаимовыгодных цен на энергоресурсы на мировых рынках, а снижение национального дохода России от их потери становится менее значимым. Таким образом, растет и устойчивость экономического положения России.

Внедрение (как в России, так и за рубежом) технологий производства доступной энергии в

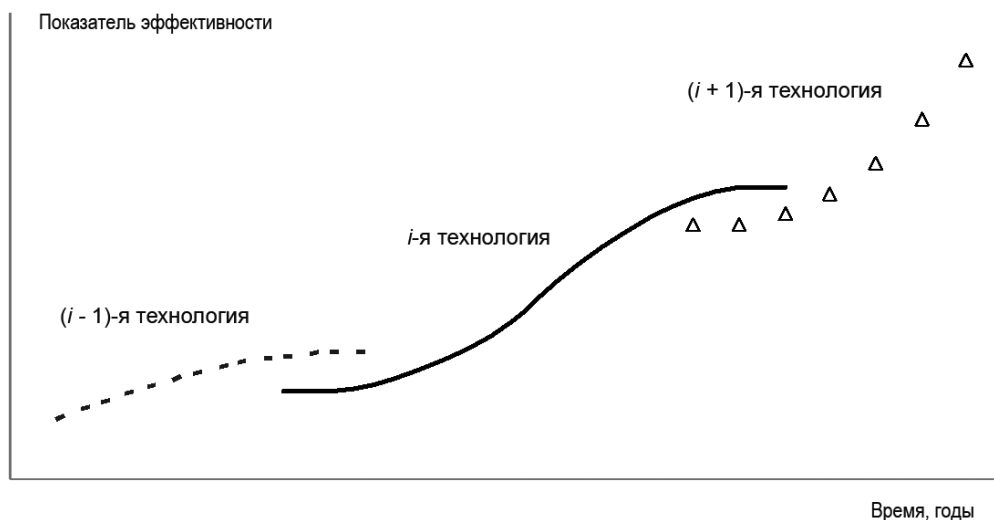
местах ее потребления также может привести к росту национального дохода России за счет роста конкурентоспособности промышленности (помимо ТЭК). Диапазон взаимовыгодных цен энергоресурсов при этом сужается и смещается в сторону более низких цен, но устойчивость российской экономики при возможном прекращении экспорта энергоресурсов также растет.

Однако отставание (относительно зарубежных стран) или стагнация в сфере энергосбережения и внедрения технологий производства доступной энергии может привести к сокращению национального дохода России на десятки процентов при продолжении экспорта энергоресурсов или даже в несколько раз – при его прекращении.

Таким образом, целесообразно активизировать исследования и разработки в сфере энергосбережения и альтернативной энергетики с учетом природно-климатической специфики России. Это, в свою очередь, открывает возможности приоритетного развития относительно энергоёмких видов деятельности и освоения территорий, превращая природно-климатические проблемы России в ее конкурентные преимущества.

Рисунок 1

Характерная динамика инновационного развития технологий



Источник: [7]

Рисунок 2

Зависимость доходов стран от рыночной цены энергоресурсов при различных стратегиях на рынках энергоносителей и благ (пример 1):

1 – $Y_{имп}^A$; 2 – $Y_{эксп}^B$; 3 – $Y_{без\ имп}^A$; 4 – $Y_{без\ эксп}^B$

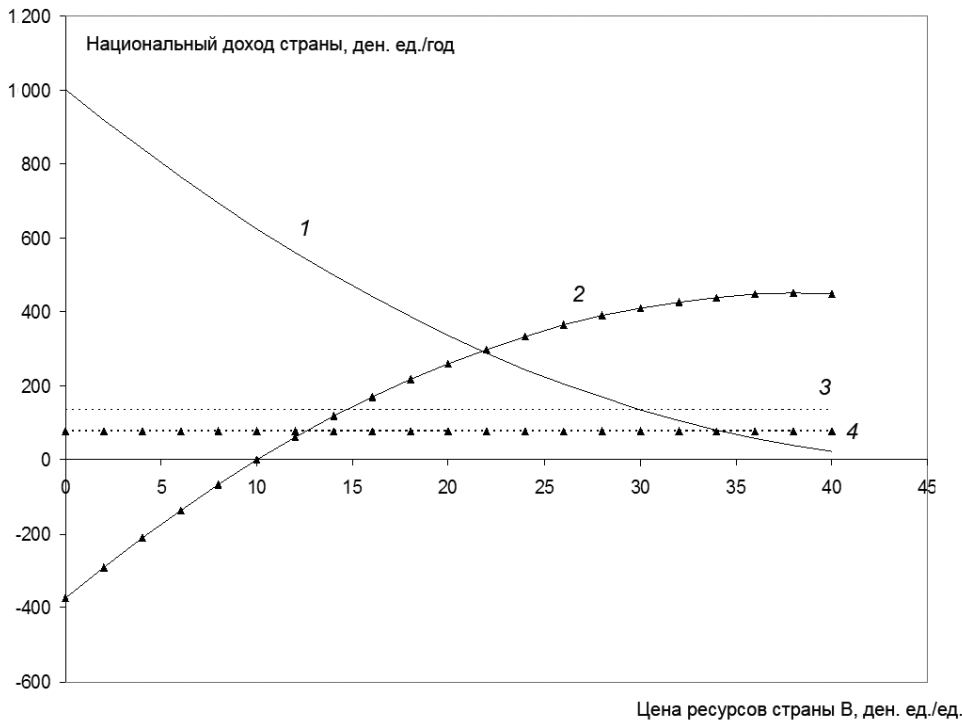


Рисунок 3

Зависимость национальных доходов стран от рыночной цены энергоресурсов при равновесных стратегиях (пример 1):

1 – $Y_{итог}^A$; 2 – $Y_{итог}^B$

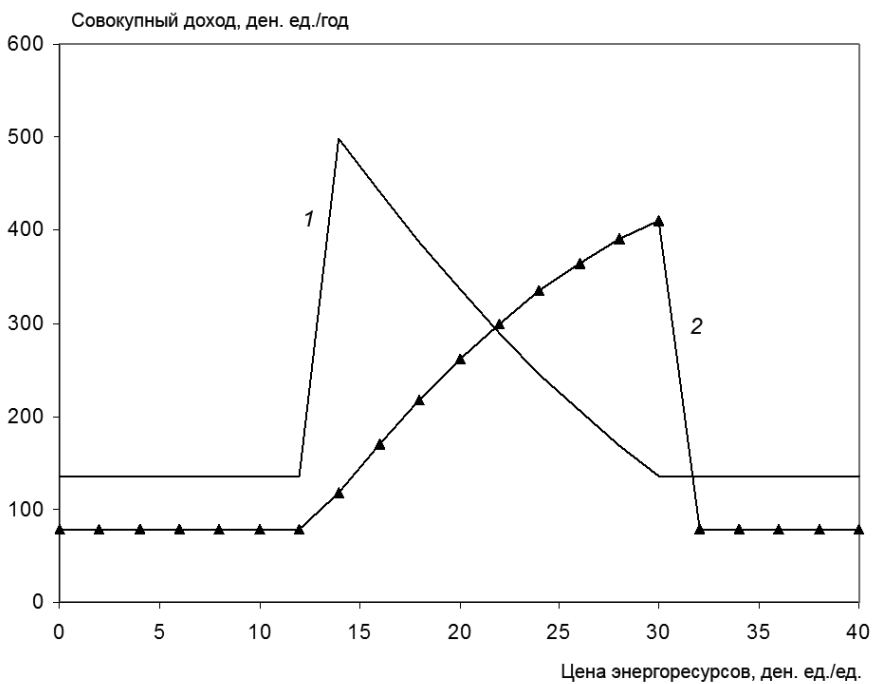


Рисунок 4

Зависимость равновесных значений национальных доходов стран от рыночной цены энергоресурсов при исходной энергоёмкости технологий и при ее снижении:

- 1 – $Y^A_{\text{исх. вариант}}$; 2 – $Y^B_{\text{исх. вариант}}$; 3 – $Y^A_{\text{снижено в 2 раза}}$; 4 – $Y^B_{\text{снижено в 2 раза}}$; 5 – $Y^A_{\text{снижено в 5 раз}}$;
6 – $Y^B_{\text{снижено в 5 раз}}$

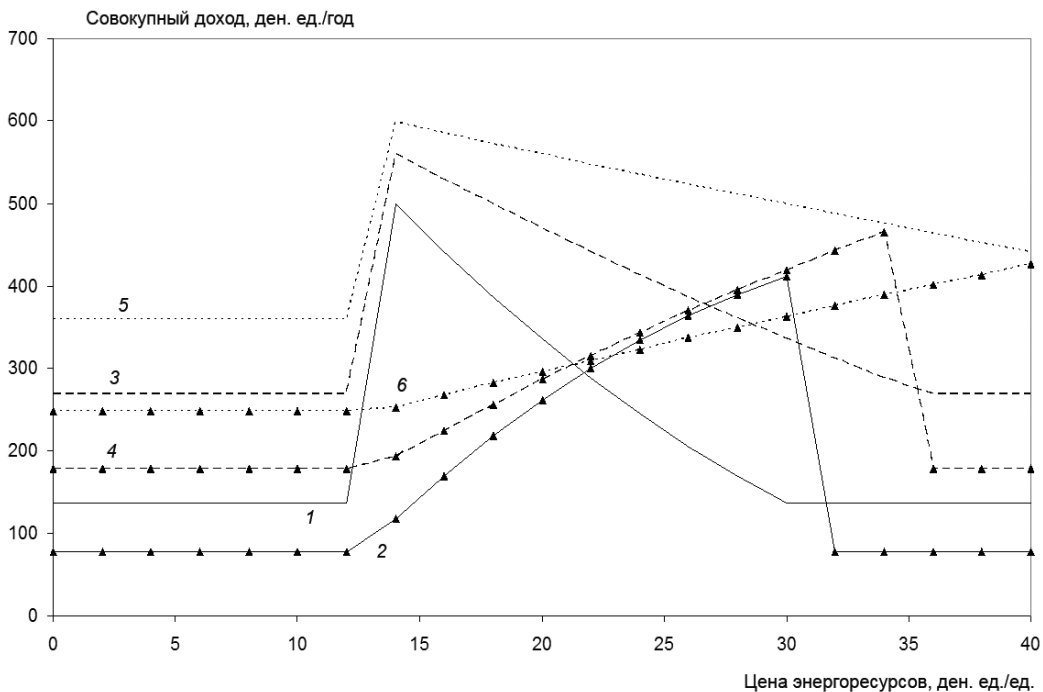


Рисунок 5

Зависимость равновесных значений национальных доходов страны B от рыночной цены энергоресурсов:

- 1 – $Y^B_{\text{исх. вариант}}$; 2 – $Y^B_{\text{снижено в 2 раза}}$; 3 – $Y^B_{\text{снижено в 5 раз}}$

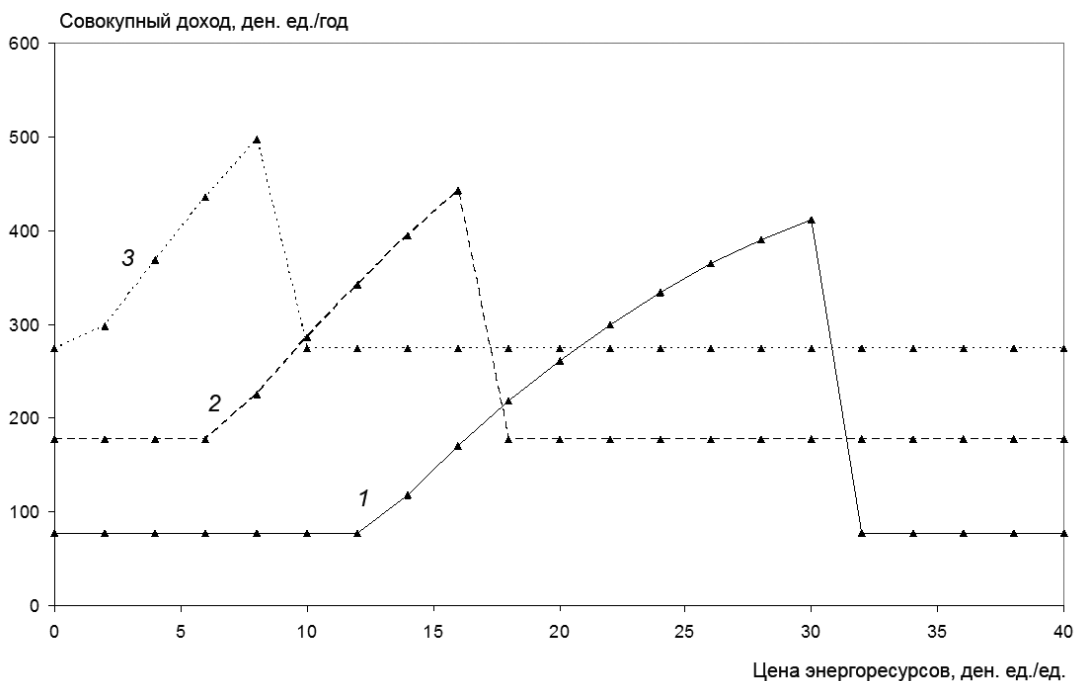


Рисунок 6

Зависимость равновесных значений национальных доходов страны *B* от рыночной цены энергоресурсов:

1 – Y^B исх. вариант ; 2 – Y^B снижено в 2 раза ; 3 – Y^B снижено в 10 раз

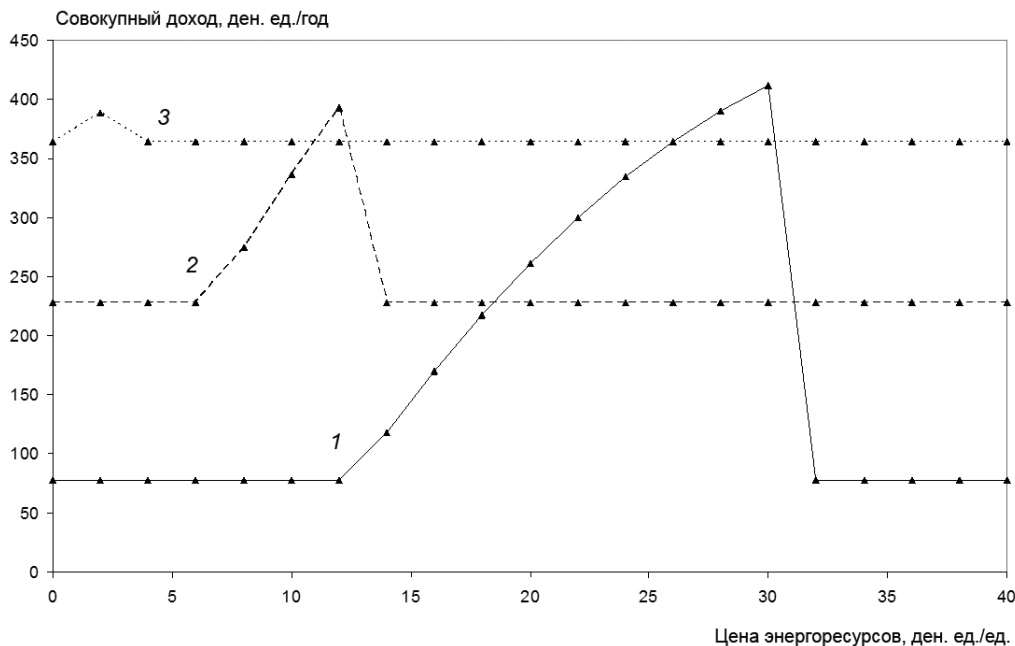
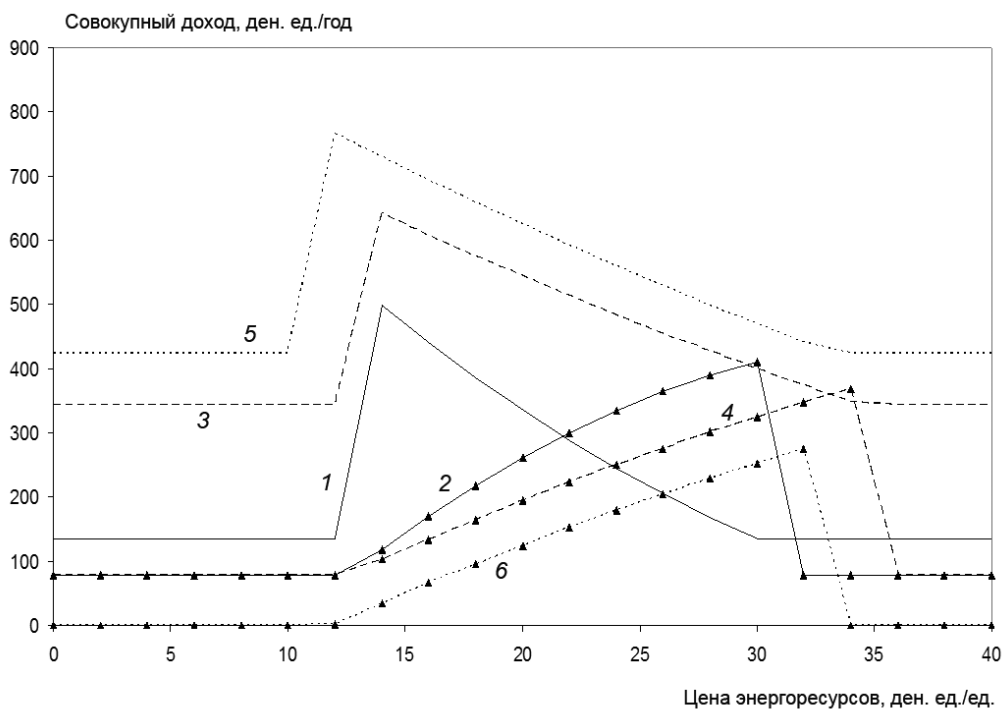


Рисунок 7

Зависимость равновесных значений национальных доходов стран от рыночной цены энергоресурсов при исходной энергоёмкости технологий, при ее сокращении на одинаковую величину в обеих странах и при отсутствии сокращения энергоёмкости в стране *B*:

1 – Y^A исх. вариант ; 2 – Y^B исх. вариант ; 3 – Y^A снижено на 1 ; 4 – Y^B снижено на 1 ; 5 – Y^A снижено в 2 раза ;

6 – Y^B не снижено



Список литературы

1. Глазьев С.Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития. М.: ВладДар, 1993. 310 с.
2. Долгушев Д.В. Особое место России на мировом энергетическом рынке // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 2. С. 93–104.
3. Полтерович В.М., Попов В.В., Тонис А. Механизмы «ресурсного проклятия» и экономическая политика // Вопросы экономики. 2007. № 6. С. 4–27.
4. David P., Wright G. Increasing Returns and the Genesis of American Resource Abundance // Industrial and Corporate Change. 1997. Vol. 6. Iss. 2. P. 203–245.
5. Sachs J.D., Warner A.M. Natural Resource Abundance and Economic Growth / NBER Working Paper Series. Working Paper 5398, 1995.
6. Шкрадюк И.Э. Тенденции развития возобновляемых источников энергии в России и мире. М.: WWF России, 2010. 88 с.
7. Нижегородцев Р.М. Экономика инноваций. Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2014. 140 с.
8. Клочков В.В., Ратнер С.В. Управление развитием «зеленых» технологий: экономические аспекты. М.: ИПУ РАН, 2013. 292 с.
9. Murphy D.J., Hall C.A.S. Year in review – EROI or energy return on (energy) invested // Annals of the New York Academy of Sciences. Economics Reviews. January 2010. Vol. 1185. P. 102–118.
10. Бухарин С.Н., Цыганов В.В. Методы и технологии информационных войн. М.: Академический проект, 2007. 384 с.
11. Новиков Д.А., Чхартушвили А.Г. Прикладные модели информационного управления. М.: ИПУ РАН, 2004. 130 с.
12. Ратнер С.В., Михайлов В.О. Управление развитием энергетических компаний в ситуации технологического разрыва // Управление большими системами. 2012. Вып. 37. С. 180–207.
13. Дейл Б., Хьюбер Дж. Самое зеленое топливо // В мире науки. 2011. № 9. С. 26–33.
14. Паршев А. Почему Россия не Америка. М.: АСТ, 2007. 352 с.
15. Hill F., Gaddy C. Siberian Curse. How Communist Planners Left Russia Out in the Cold. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 2003.
16. Анисимова Т.Ю. Моделирование влияния энергоемкости производства на макроэкономические показатели функционирования экономики // Вестник Казанского технологического университета. 2009. № 2. С. 215–222.
17. Волконский В.А., Кузовкин А.И. Анализ и прогноз энергоемкости и энергоэффективности экономики России // Проблемы прогнозирования. 2006. № 1. С. 53–61.
18. Кузовкин А.И. Прогноз энергоемкости ВВП России и развитых стран на 2020 г. // Проблемы прогнозирования. 2010. № 3. С. 144–148.
19. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2000. 32 с.
20. Болбот Е.А., Клочков В.В. Приоритеты инновационного развития: конкурентное преимущество и общие интересы // Труды МФТИ. 2010. Т. 2. № 3. С. 22–31.

**ANALYSIS OF NEW ENERGY TECHNOLOGIES' IMPACT ON THE RUSSIAN ECONOMY
IN THE LONG RUN**

Vladislav V. KLOCHKOV^{a,*}, Maksim N. DANILIN^b

^a Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Russian Federation
vlad_klochkov@mail.ru

^b Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Russian Federation
maksdnilin@gmail.com

* Corresponding author

Article history:

Received 18 August 2015
Accepted 9 September 2015

JEL classification:

F02, F52, L13, O33

Keywords: energy-saving,
alternative energy sources, export,
threats, economic, mathematical
modeling

Abstract

Importance The development of alternative energy technologies and energy efficient technologies is often perceived not only as something unnecessary in the Russian context, but also as a threat to the Russian economy.

Objectives The research devises methods of comprehensive analysis of the impact which new energy production technologies and energy-saving innovation may produce on the welfare of countries exporting energy resources.

Methods We propose a model of competition between countries in merchandise markets, where one country produces and exports energy resources, while the other one imports them but is capable of mastering the production process. Technological indicators in power engineering and other sectors are presented in the generalized format.

Results As the economic and mathematical analysis shows, innovation in the energy sector may increase the national well-being. We estimated probable national gains and losses if energy-saving technologies and affordable energy production lag in their development.

Conclusions and Relevance The development of energy-saving technologies and technologies for producing more affordable energy does not pose any threat to the Russian economy. Moreover, it may improve the competitiveness as the technologies alleviate the adverse effect of natural and climatic conditions, and increases economic sustainability as they reduce the percentage of exported energy resources in the national income.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2015

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 15-06-06360.

References

1. Glaz'ev S.Yu. *Teoriya dolgosrochnogo tekhniko-ekonomicheskogo razvitiya* [The theory of long-term technological and economic development]. Moscow, VlaDar Publ., 1993, 310 p.
2. Dolgushev D.V. Osoboe mesto Rossii na mirovom energeticheskom rynke [Russia's special role in the world energy market]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Tomsk State University Journal*, 2008, no. 2, pp. 93–104.
3. Polterovich V.M., Popov V.V., Tonis A. Mekhanizmy “resursnogo proklyatiya” i ekonomicheskaya politika [Mechanisms of resource curse and the economic policy]. *Voprosy Ekonomiki*, 2007, no. 6, pp. 4–27.
4. David P., Wright G. Increasing Returns and the Genesis of American Resource Abundance. *Industrial and Corporate Change*, 1997, vol. 6, iss. 2, pp. 203–245.
5. Sachs J.D., Warner A.M. Natural Resource Abundance and Economic Growth. *NBER Working Paper Series, Working Paper*, 1995, no. 5398.
6. Shkradyuk I.E. *Tendentsii razvitiya vozobnovlyaemykh istochnikov energii v Rossii i mire* [Trends in the development of renewable energy sources in Russia and worldwide]. Moscow, WWF of Russia Publ., 2010, 88 p.
7. Nizhegorodtsev R.M. *Ekonomika innovatsii* [Innovation economics]. Krasnodar, KSAU Publ., 2014, 140 p.

8. Klochkov V.V., Ratner S.V. *Upravlenie razvitiem "zelenykh" tekhnologii: ekonomicheskie aspekty: monografiya* [Managing the development of green technologies: economic aspects: a monograph]. Moscow, Institute of Control Sciences of RAS Publ., 2013, 292 p.
9. Murphy D.J., Hall C.A.S. Year in Review – EROI or Energy Return on (energy) Invested. *Annals of the New York Academy of Sciences. Ecological Economics Reviews*, 2010, vol. 1185, pp. 102–118.
10. Bukharin S.N., Tsyganov V.V. *Metody i tekhnologii informatsionnykh voyn* [Methods and technologies of information warfare]. Moscow, Akademicheskii proekt Publ., 2007, 384 p.
11. Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. *Prikladnye modeli informatsionnogo upravleniya* [Applied information management models]. Moscow, Institute of Control Sciences of RAS Publ., 2004, 130 p.
12. Ratner S.V., Mikhailov V.O. Upravlenie razvitiem energeticheskikh kompanii v situatsii tekhnologicheskogo razryva [Development of Oil&Gas companies in the situation of technological gap]. *Upravlenie bol'shimi sistemami = Large-Scale Systems Control*, 2012, iss. 37, pp. 180–207.
13. Dale B., Huber J. Samoe zelenoe toplivo [The greenest fuel]. *V mire nauki = In the World of Science*, 2011, no. 9, pp. 26–33.
14. Parshev A. *Pochemu Rossiya ne Amerika* [Why Russia is not America]. Moscow, AST Publ., 2007, 352 p.
15. Hill F., Gaddy C. *The Siberian Curse. How Communist Planners Left Russia Out in the Cold*. Washington, D.C., Brookings Institution Press, 2003.
16. Anisimova T.Yu. Modelirovanie vliyaniya energoemkosti proizvodstva na makroekonomicheskie pokazateli funktsionirovaniya ekonomiki [Modeling the impact of energy consumption of production on macroeconomic indicators of economic processes]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Herald of Kazan Technological University*, 2009, no. 2, pp. 215–222.
17. Volkonskii V.A., Kuzovkin A.I. Analiz i prognoz energoemkosti i energoeffektivnosti ekonomiki Rossii [Analyzing and forecasting the energy intensity and efficiency of the Russian economy]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2006, no. 1, pp. 53–61.
18. Kuzovkin A.I. Prognoz energoemkosti VVP Rossii i razvitykh stran na 2020 g [Forecasting the energy intensity of GDP of Russia and developed economies for 2020]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2010, no. 3, pp. 144–148.
19. Arnol'd V.I. "Zhestkie" i "myagkie" matematicheskie modeli ['Hard' and 'soft' mathematical models]. Moscow, Moscow Centre for Continuing Mathematical Education Publ., 2000, 32 p.
20. Bolbot E.A., Klochkov V.V. Prioritety innovatsionnogo razvitiya: konkurentnoe preimushchestvo i obshchie interesy [Priorities of innovative development: the competitive advantage and common interests]. *Trudy MFTI = Proceedings of MIPT*, 2010, vol. 2, no. 3, pp. 22–31.