

ОТРАСЛЕВЫЕ И МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Для цитирования: Цыбатов В. А. Стратегическое планирование энергоэффективного развития субъекта Российской Федерации // Экономика региона. — 2018. — Т. 14, вып. 3. — С. 941-954
doi 10.17059/2018-3-18
УДК 332.1; 338.2

В. А. Цыбатов

Самарский государственный экономический университет (Самара, Российская Федерация; e-mail: tva82@yandex.ru)

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ СУБЪЕКТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ¹

При разработке региональных стратегий необходимо увязывать эффективность энергетических решений с общеэкономической эффективностью регионального развития, поскольку целевые ориентиры энергоэффективного развития могут противоречить целям региональной экономики в целом. Поэтому в статье задача энергоэффективного развития субъекта РФ сведена к поиску согласованных сценариев развития экономики региона и топливно-энергетического комплекса, при которых достигается максимальное приближение к целевым значениям энергоиндикаторов, характеризующим региональное развитие как энергоэффективное. Автором разработана динамическая многоотраслевая модель топливно-энергетического комплекса в составе общей модели социально-экономической деятельности региона, которая формирует взаимосвязанные процессы производства, переработки, транспортировки и использования всех видов топливно-энергетических ресурсов в регионе. Предложена методология прогнозирования сбалансированного развития экономики и топливно-энергетического комплекса, в рамках которой обеспечивается сведение и итеративное согласование прогнозов энергопотребления и производства энергоресурсов на основе формирования регионального топливно-энергетического баланса. При этом топливно-энергетический баланс, формируемый в рамках модели топливно-энергетического комплекса, является частью общего продуктово-секторного баланса экономики, играющего роль «баланса балансов», что позволяет через межбалансовые связи моделировать взаимовлияние топливно-энергетического комплекса и остальной экономики. На основе представленных в статье методов и моделей реализованы информационные технологии ситуационного прогнозирования и стратегического планирования в виде прогнозно-аналитического комплекса, на котором отрабатываются сценарии энергоэффективного развития экономики Самарской области. В статье в качестве примера приведена оценка энергоэффективности варианта развития Самарской области по целевому сценарию Энергетической стратегии России на период до 2035 г., адаптированному для региона.

Ключевые слова: экономика, энергетика, энергоэффективное развитие, топливно-энергетический комплекс, топливно-энергетический баланс, энергетические индикаторы, моделирование, прогнозирование, стратегическое планирование, сценарии развития

1

Введение

Экономическое развитие должно быть энергоэффективным. В настоящее время этот тезис становится все более актуальным, в том числе и в регионах, что подтверждается острой востребованностью информационных технологий, позволяющих региональным органам

управления формировать отчетные и прогнозные топливно-энергетические балансы, на их основе оценивать энергоэффективность и энергобезопасность региональной экономики, в том числе энергоемкость ВРП, осуществлять научно обоснованные прогнозы последствий принимаемых управленческих решений, формировать сбалансированные системы целевых ориентиров энергоэффективного развития региона и оценивать их достижимость.

¹ © Цыбатов В. А. Текст. 2018.

В литературе описано большое количество систем поддержки управленческих решений в энергетике — от систем, область применения которых ограничивается управлением отдельными энергоносителями, до сложных систем, рассматривающих энергетику в целом как неотъемлемую часть экономики [1–3]. Существующие системы поддержки управленческих решений в энергетике характеризуются большим разнообразием моделей принятия решений, обзоры, обсуждения и сравнение которых приведены в статьях [4–6]. В статье [7] исследуются теоретические и эмпирические проблемы, возникающие при создании систем моделей «энергетика — экономика», используемых для краткосрочного и среднесрочного прогнозирования (Hermes-Midas systems). Важнейшим компонентом любой системы поддержки управленческих решений в энергетике является модель топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и ее связи с остальной экономикой. В статье [8] сделан обзор более 250 энергетических моделей, широко используемых в разных странах для целей анализа и прогнозирования развития энергетики. Проанализированы оптимизационные модели, в частности различные виды моделей оптимизации топливно-энергетического баланса, ступенчатые модели оптимизации энергетических систем, модели, минимизирующие энергоемкость ВВП с учетом различных ограничений, модели планирования спроса и предложения энергии с использованием многокритериальной методики программирования на традиционной модели Леонтьева «затраты — выпуск». Особое место в литературе по моделированию уделяется вычислимым моделям общего равновесия — *computable general equilibrium (CGE) models* [9, 10]. Благодаря способности моделировать реакцию системы на внешние воздействия, эти модели широко используются для анализа последствий принимаемых управленческих решений [11]. В области энергетики CGE-модели появились как полезные эмпирические инструменты, позволяющие оценивать масштабы экономических последствий энергетической и экологической политики [12–14]. В последнее время CGE-модели все шире используются в отечественных разработках [15].

Однако наибольший прагматический интерес для нас представляли российские исследования в сфере моделирования и прогнозирования энергетики, поскольку в них в большей степени учитываются особенности национальных институтов управления и статистического

описания объектов моделирования. На настоящий момент наибольшего внимания заслуживает технология моделирования и прогнозирования энергетики, разработанная в Институте энергетических исследований РАН (ИНЭИ РАН) [3]. Эта технология успешно используется для прогнозирования как российской, так и мировой энергетики [2]. Главной особенностью этой технологии является формирование непротиворечивой и взаимосогласованной системы прогнозов экономического развития страны, объемов потребления и производства основных видов топлива и энергии, а также финансирования отдельных отраслей ТЭК. Итеративное согласование в системе прогнозов производится через энергетические балансы, формируемые в целом для страны и по отдельным регионам, производственные характеристики и финансовые балансы отраслей ТЭК, замыкаемые на межотраслевые балансы национальной экономики.

Анализ литературных источников показывает, что систем, подобных разработанной в ИНЭИ РАН, на региональном уровне на настоящий момент нет. Отдельные отечественные разработки по формированию региональных ТЭБ, например, [16, 17] не в полной мере соответствуют насущным потребностям регионального развития. В частности, в них отсутствует инструментарий формирования прогнозных ТЭБ, не решаются задачи стратегического целеполагания развития ТЭК, что особенно актуально в связи с принятием Федерального закона о стратегическом планировании (Федеральный Закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ).

Целью настоящего исследования являлась разработка методов, моделей и информационных технологий для поддержки управленческих решений органов региональной власти в целях повышения энергоэффективности и энергобезопасности региональной экономики. Разработанные методы и информационные технологии оформлены в виде прогнозно-аналитического комплекса ПАК «Энергетика», нацеленного на прогнозирование и стратегическое планирование энергоэффективного развития региона. Задача энергоэффективного развития региона сводится к поиску согласованных сценариев развития ТЭК и экономики региона, при которых достигается максимальное приближение индикаторов регионального развития к целям, характеризующим развитие региональной экономики как энергоэффективное с точки зрения эффективности процессов производства, преобразования, распре-

деления и конечного потребления всех видов ТЭР. Обозначим индикаторы развития:

$$E = [E_{pэ}, E_э]^T, \quad (1)$$

где $E_{pэ}$ — вектор индикаторов, характеризующий социально-экономическое развитие региона, а именно, уровень благосостояния населения и потенциал региональной экономики; $E_э$ — вектор энергоиндикаторов, характеризующий развитие региональной экономики с точки зрения энергоэффективности.

Обозначим

$$E^0(t) = [E_{pэ}^0(t), E_э^0(t)]^T \quad (2)$$

— вектор целевых значений, установленных для индикаторов развития на горизонте стратегирования $[0, t_T]$ в точках $t = t_1, t_2, \dots, t_T$, причем вектор целевых установок для энергоиндикаторов $E_э^0(t)$ имеет смысл целевого плана энергоэффективного развития.

Формально задачу энергоэффективного развития региона (субъекта РФ) можно свести к следующей задаче многокритериальной оптимизации:

$$\|E(U, t) - E^0(t)\| \rightarrow \min_{U(t) \in D_U}, \quad t = t_1, t_2, \dots, t_T \quad (3)$$

$$E(U, t) = M_E(U, t). \quad (4)$$

Здесь: $M_E(U, t)$ — модель региона, позволяющая рассчитывать оценки значений индикаторов $E(t)$ для того или иного сценария развития региональной экономики и ТЭК:

$$U(t) = [U_{pэ}(t), U_{ТЭК}(t)]^T, \quad U(t) \in D_U \quad (5)$$

где $U_{pэ}(t)$ — сценарий развития региональной экономики; $U_{ТЭК}(t)$ — сценарий развития ТЭК; D_U — пространство допустимых сценариев.

При разработке методических и инструментальных средств ПАК «Энергетика» были решены следующие проблемы.

1. Разработана система энергоиндикаторов $E_э$, характеризующая развитие ТЭК и региональной экономики с точки зрения эффективности процессов производства, преобразования, распределения и конечного потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). При формировании системы энергоиндикаторов использовались нормативно-правовые документы (ГОСТы, приказы, федеральные законы), а также результаты исследования существующих подходов к формированию систем энергетических индикаторов.

2. Разработана модель ТЭК региона как динамическая многоотраслевая модель в составе модели экономики субъекта РФ.

3. На основе официальной методологии составления топливно-энергетического баланса

(ТЭБ) субъектов РФ¹ и Российской Федерации² с учетом рекомендаций МЭА и Евростата³ разработана методология формирования отчетного регионального ТЭБ в натуральной и стоимостной форме — от сбора необходимой статистической информации до формирования балансовых таблиц.

4. Разработана информационная технология, обеспечивающая сведение и итеративное согласование сценарных прогнозов энергопотребления и производства энергоресурсов в регионе по основным видам ТЭР.

5. Для оценивания достижимости целей энергоэффективного развития субъекта РФ разработаны методы и алгоритмы, позволяющие за приемлемое время решать задачу (1)–(2) для многих десятков целей, сотен управляющих переменных и глубоких горизонтов прогнозирования.

1. Предлагаемая система энергоиндикаторов

Проблема построения систем энергетических индикаторов не является новой и широко освещается как в зарубежной, так и отечественной литературе. Одна из первых систем энергоиндикаторов для сравнительной оценки стран и регионов была опубликована в монографии [18] еще в 1953 г. Вопросы энергоэффективного развития очень серьезно занимают в странах Европейского союза, где с 2005 г. по 2013 г. удалось снизить конечное энергопотребление на 15 %⁴. Европейская комиссия по энергетике определила содержание, цели и индикаторы энергоэффективного развития ЕС до

¹ Об утверждении Порядка составления топливно-энергетических балансов субъектов Российской Федерации, муниципальных образований. Приказ от 14 дек. 2011 г. № 600. С изм. на 19 нояб. 2015 г. // Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320537> (дата обращения: 15.01.2017).

² Об утверждении официальной статистической методологии составления топливно-энергетического баланса Российской Федерации. Приказ от 4 апр. 2014 г. № 229 // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499089559> (дата обращения: 15.01.2017).

³ Energy balances of non-OECD countries. 1996–1998. OECD. 2015. Revised edition. Database documentation. [Электронный ресурс]. URL: http://wds.iea.org/wds/pdf/WEDBAL_documentation.pdf (дата обращения: 15.01.2017).

⁴ Good practice in energy efficiency. For a sustainable, safer and more competitive Europe, (2014) [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/good_practice_in_ee_-web.pdf (August 31, 2017).

2020 года и 2030 года¹. В аналитическом материале МЭА [19] дан обзор систем энергетических индикаторов, применяемых в развитых и развивающихся странах. Отмечается, что при оценке энергоэффективности страны применяются системы показателей, состоящие из 25–100 индикаторов, в том числе интегральных индикаторов и индикаторов по секторам экономики (промышленность, транспорт, жилой сектор, электроэнергетика, теплоэнергетика, атомная энергетика). В монографии [20] приведен рейтинг 105 стран мира на основе рассчитанного интегрального показателя, основанного на системе частных энергетических индикаторов: энергоемкость ВВП, электроемкость ВВП, энерговооруженность экономики, электровооруженность экономики, выбросы CO₂ на душу населения, углеродоемкость ВВП, удельное потребление ТЭР на душу населения, удельное потребление электроэнергии на душу.

В российских нормативно-правовых документах энергоэффективность определяется как эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов, достижение экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды². Индикаторы энергоэффективности — это абсолютные, удельные или относительные величины потребления или потерь энергетических ресурсов для продукции любого назначения или технологического процесса³. Министерством энергетики РФ утверждены целевые показатели в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. В качестве важнейших индикаторов энергоэффективности регионального развития рассматриваются удельные расходы топлива на отпуск электрической и тепловой энергии⁴. Важнейшим аспектом энергоэффективности

также является энергобезопасность, которой уделяется серьезное внимание в проекте энергостратегии РФ на период до 2035 г. В этом документе энергетическая безопасность трактуется как состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения⁵.

Проведенный анализ показал, что в литературе нет единого мнения по вопросам создания системы индикаторов для оценки степени энергоэффективности экономического развития. Предлагаемые системы индикаторов не сбалансированы по аспектам и субъектам энергоэффективности. Большинство индикаторов из предлагаемых в энергетических стратегиях России невозможно использовать на региональном уровне по причине недоступности необходимой отчетной информации.

Для исследования энергоэффективности регионального развития требуется компактная, непротиворечивая и статистически вычислимая система индикаторов. При построении такой системы будем исходить из того, что энергоэффективность проявляет себя через уменьшение энергоемкости, увеличение энергосбережения и энергобезопасности. Также энергоэффективность распределена по субъектам региона, причем одни субъекты являются производителями энергоресурсов, а другие — конечными потребителями. Поэтому при разработке системы энергетических индикаторов будем оценивать энергоэффективность как в разрезе ее основных аспектов (энергоемкость, энергосбережение, энергобезопасность), так и в разрезе субъектов региона (ТЭК, реальный сектор экономики, сектор нерыночных услуг, домашние хозяйства).

Предлагаемая система энергоиндикаторов приведена в таблице 1.

Предложенная система энергоиндикаторов позволяет:

- выделить ТЭК региона, тем самым отделив производителей ТЭР от их конечных потребителей, и оценить вклад ТЭК в общую энергоэффективность и энергобезопасность регионального развития по основным направлениям;

- оценить аспекты энергоэффективного и энергобезопасного развития региона с точки

¹ European Commission. (2010). 2020 Energy Strategy [Electronic resource]. URL: <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2020-energy-strategy> (August 30, 2017).

² ГОСТ 31607–2012 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения.

³ ГОСТ 31532–2012 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.

⁴ Об утверждении методики расчета значений целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе в сопоставимых условиях. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 июня 2014 года № 399 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420208417> (дата доступа 28.08.2017).

⁵ Проект энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 г. Ред. от 01.02.2017 [Электронный ресурс]. URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения: 03.04.2017).

Таблица 1

Индикаторы энергоэффективного развития

Направление	Индикаторы
1. Региональный ТЭК	1. Энергоемкость ТЭК (кг у. т. / тыс. руб.), в % к базовому году. 2. Удельный расход топлива на отпуск электрической энергии (кг у. т. / кВт·ч.), в % к базовому году. 3. Удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии (кг у. т. / Гкал), в % к базовому году. 4. Удельные потери ТЭР, в % к базовому году. 5. Удельные потери электроэнергии в электрических сетях, в % к базовому году. 6. Удельные потери в тепловых сетях, в % к базовому году. 7. Доля ТЭК в конечном потреблении ТЭР региональной экономикой, в % к базовому году. 8. Увеличение (добычи) производства ТЭР, в % к базовому году. Выход светлых нефтепродуктов, %. 9. Доля возобновляемых источников энергии в выпуске ТЭР, %
2. Реальный сектор экономики (без ТЭК)	1. Энергоемкость реального сектора экономики в целом (кг у. т. / тыс. руб.), в % к базовому году. 2. Энергоемкость основных видов деятельности (кг у. т. / тыс. руб.), в % к базовому году
3. Государственные учреждения	1. Энергоемкость сектора нерыночных услуг (кг у. т. / тыс. руб.), в % к базовому году. 2. Доля расходов консолидированного бюджета на ТЭР от всех расходов бюджета, %
4. Домашние хозяйства	1. Потребление ТЭР на душу населения (кг у. т. / чел.), в % к базовому году. 2. Потребление электроэнергии на душу населения (кг у. т. / чел.), в % к базовому году. 3. Потребление нефтепродуктов на душу населения (т у. т./чел.), в % к базовому году. 4. Доля расходов домашних хозяйств на ТЭР в общих расходах, в % к базовому году. 5. Отношение расходов домашних хозяйств на ТЭР к величине прожиточного минимума, %
5. Регион в целом	1. Энергоемкость ВРП субъекта РФ (кг у. т. / тыс. руб.), в % к базовому году. 2. Интегральный коэффициент энергоэффективности (доля полезно используемых ТЭР), %. 3. Отношение экономики ТЭР к затратам на энергосберегающие мероприятия, %. 4. Обеспеченность региональной экономики собственными энергоресурсами, %. 5. Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР, %

зрения основных потребителей ТЭР: реального сектора экономики, государственных учреждений и домашних хозяйств.

Большинство из индикаторов, приведенных в таблице, вычисляются по компонентам регионального сводного ТЭБ.

2. Модель ТЭК

Поскольку ТЭК тесно связан с другими секторами экономики, то модель ТЭК разрабатывалась в составе общей модели социально-экономической деятельности региона. За основу взята модель субъекта РФ [21], разработанная автором в классе CGE-моделей. Эта модель рассматривает развитие экономики как результат деятельности экономических агентов — основных субъектов региона. При моделировании экономика региона была разбита на совокупность экономических агентов по границам разделов и классов деятельности ОКВЭД¹ с добавлением агентов: «домашние хозяйства», «органы государственной власти», «внешнее окружение» и агента «невидимая рука рынка»,

отвечающего за равновесие спроса и предложения на моделируемых рынках.

Экономические агенты производят один или несколько продуктов из базового набора I, которые продаются внутри региона или вывозятся. При этом агентами приобретаются необходимые промежуточные продукты (в том числе необходимые ТЭР) и факторы производства из этого же базового набора. В модели региона используется следующий базовый набор условных продуктов: 1 — промежуточные товары и услуги (в том числе ТЭР), 2 — инвестиционные товары и услуги, 3 — потребительские товары и услуги (в том числе виды ТЭР для населения), 4 — государственные услуги, 5 — трудовые услуги; 6 — инфраструктурные услуги.

Модели экономических агентов реализованы как системы управления, работающие по отклонениям [22]. Основой поведения каждого экономического агента $j \in J$, являются целевые установки (траектории) $E_j^0(t)$, которые ориентируют его действия в направлении, обеспечивающем достижение поставленных целей. Агент j по наблюдаемым параметрам обстановки (рыночной конъюнктуре и состоянию ресурсов), текущим значениям индикаторов $E_j(t)$ и с учетом их целевых значений $E_j^0(t)$, а также внешнего (сценарного) управления

¹ Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД 2). ОК 029–2014 (КДЕС ред. 2) [Электронный ресурс]. URL: <http://xn--2-dlci2ax1i.xn--p1ai/> (дата обращения: 15.01.2017).

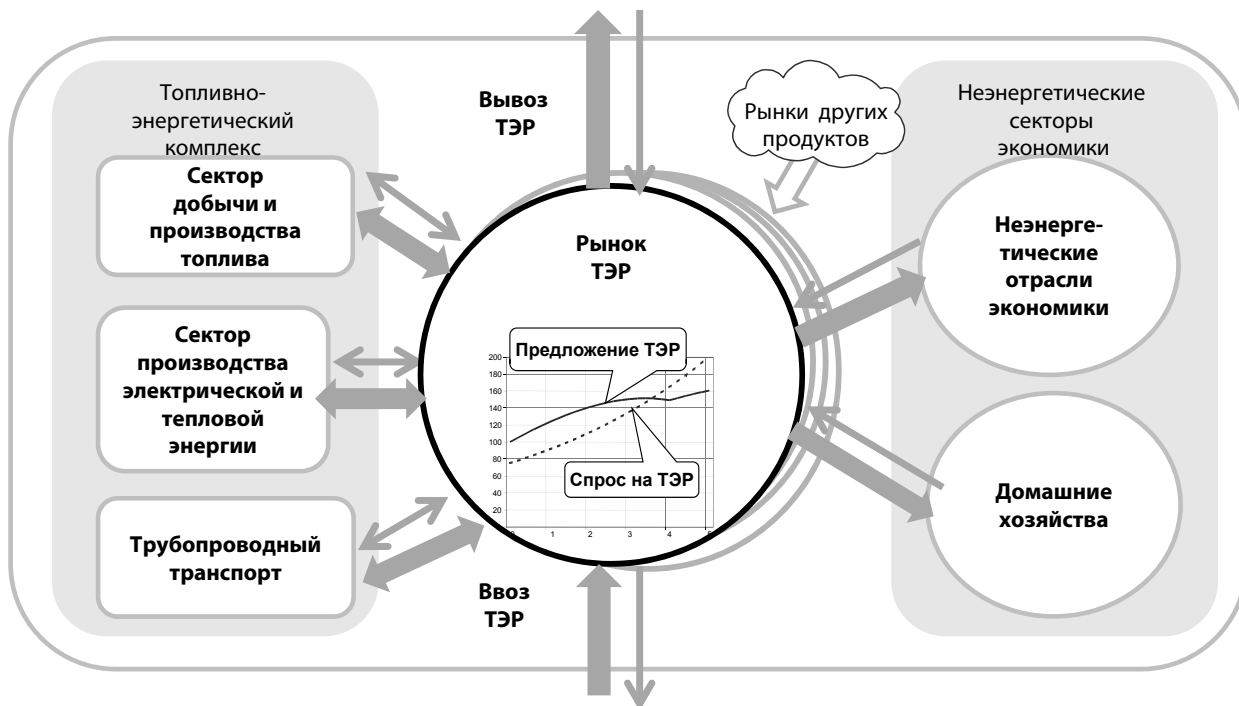


Рис. Модель ТЭК как составная часть модели экономики региона

$U_j^{exo}(t)$ формирует управляющие воздействия $U_j^{end}(t)$ на двунаправленную производственную функцию агента. Эта функция, с одной стороны, формирует предложение агента на соответствующих рынках, а с другой — порождает платежеспособный спрос на промежуточные продукты и производственные факторы в соответствии с технологической матрицей агента. В ответ поступают потоки денежных средств от реализации произведенных продуктов и необходимые продукты для производственного процесса. Равновесие на рынках условных продуктов описывает продуктово-секторный баланс (ПСБ), построенный в рамках СНС-2008 [23, с. 317–346]. Балансовые отношения формируются в дискретном времени $t = 0, t_1, t_2, \dots, t_T$ с шагом один год в натуральной и стоимостной форме для всех условных продуктов, используемых в модели. В частности, баланс спроса и предложения в натуральной форме для продукта $i \in I$ записывается следующим образом:

$$x_i^d(t) = x_i^{out}(t) - x_i^{exp}(t) + x_i^{imp}(t) - \Delta x_i(t). \quad (6)$$

Левая часть баланса (6) показывает натуральный спрос региональной экономики на продукт i (условных единиц за год). Величина $x_i^d(t)$ рассчитывается как суммарное годовое приобретение продукта i всем множеством агентов J :

$$x_i^d(t) = \sum_{j \in J} x_{i,j}^d(t). \quad (7)$$

Правая часть балансового уравнения (6) показывает предложение i -го продукта на регио-

нальном рынке за год; $x_i^{out}(t)$ — суммарный выпуск i -го продукта в регионе всеми агентами экономики; $x_i^{exp}(t)$ — вывоз i -го продукта производителями $j \in J_i$; $x_i^{imp}(t)$ — приобретение агентами i -го продукта по ввозу; $\Delta x_i(t)$ — изменение запасов i -го продукта:

$$x_i(t) = \sum_{i \in J_i} x_{i,j}^{out}(t); \quad x_i^{exp}(t) = \sum_{i \in J_i} x_{i,j}^{exp}(t);$$

$$x_i^{imp}(t) = \sum_{i \in J} x_{i,j}^{imp}(t). \quad (8)$$

Балансы продуктов $i \in I$ в стоимостной форме выглядят следующим образом:

$$x_i^d(t) \hat{p}_i(t) =$$

$$= (x_i^{out}(t) - x_i^{exp}(t) - \Delta x_i(t)) p_i(t) +$$

$$+ x_i^{imp}(t) \hat{p}_i(t) + \Delta q_i(t). \quad (9)$$

Здесь: $\hat{p}_i(t)$ — средняя цена i -го продукта на рынке (средняя цена покупателя); $p_i(t)$ — средняя цена производителя i -го продукта; $\Delta q_i(t)$ — годовая суммарная транспортная и торговая надбавка для i -го продукта.

Экономические агенты $i \in I_{ТЭК}$, связанные с производством, преобразованием и переработкой ТЭР, объединены в модель ТЭК, которая представлена тремя секторами (рис.). На рисунке толстыми стрелками показаны потоки ТЭР, тонкими — потоки денежных средств. В таблице 2 перечислены секторы и виды деятельности модели ТЭК, согласно классификатору ОКВЭД2.

Таблица 2

Секторы и виды деятельности модели ТЭК

Сектор ТЭК	Вид деятельности по ОКВЭД
Сектор добычи и производства топлива	05. Добыча угля. 06. Добыча сырой нефти и природного газа. 09. Предоставление услуг в области добычи полезных ископаемых. 19. Производство кокса, нефтепродуктов. 35.2. Производство и распределение газообразного топлива
Сектор производства электрической и тепловой энергии	35.1. Производство, передача и распределение электроэнергии. 35.3. Производство, передача и распределение пара и горячей воды
Трубопроводный транспорт	49.50.1.Транспортирование по трубопроводам нефти и нефтепродуктов. 49.50.2.Транспортирование по трубопроводам газа и продуктов переработки

Обобщенная производственная функция (ОПФ) экономического агента $i \in I_{ТЭК}$, принадлежащего ТЭК, формирует следующие потоки ресурсов и денежных средств:

1 — потоки производимых ТЭР и закупаемых факторов производства:

$$X_j^{out}(t) = \min\{X_j^{plan}(t), X_j^{pot}(t), X_j^{dem}(t) + \Delta X_j(t)\}; \quad (10)$$

$$X_j^d(t) = A_j(t)X_j^s(t); \quad (11)$$

2 — потоки денежных средств, получаемых от реализации ТЭР и выплачиваемых за поставки факторов производства;

$$q_j^s(t) = (X_j^{out}(t) - \Delta X_j(t))P_j^T(t); \quad (12)$$

$$q_j^d(t) = X_j^d(t)\hat{P}_j^T(t). \quad (13)$$

Здесь: $X_j^{out}(t)$ — вектор-столбец текущего выпуска j -м агентом установленной номенклатуры ТЭР в натуральных единицах (ед. в год); $X_j^{plan}(t)$ — вектор-столбец планируемого выпуска ТЭР, задаваемый сценарно; $X_j^{pot}(t)$ — потенциальный выпуск ТЭР j -го агента, определяемый состоянием основных производственных факторов; $X_j^{dem}(t)$ — вектор спроса на ТЭР, производимые j -м агентом, со стороны других экономических агентов, в том числе нерезидентов; $\Delta X_j(t)$ — вектор прироста запасов ТЭР, производимых j -м агентом; $X_j^d(t)$ — вектор-столбец закупаемых необходимых факторов производства (в том числе ТЭР); A_j — технологическая матрица j -го агента, характеризующая затраты промежуточных продуктов (в том числе ТЭР) и производственных факторов на единицу производимых ТЭР; $q_j^s(t)$ — денежные средства, поступающие агенту от реализации ТЭР; $q_j^d(t)$ — денежные средства, выплачиваемые агентом на приобретение необходимых факторов производства (в том числе ТЭР); $P_j(t)$ — вектор-столбец цен, устанавливаемых j -м агентом на производимые ТЭР (цены производителя); $\hat{P}(t)$ — вектор-стол-

бец цен на ТЭР для покупателей на рынке ТЭР (цены покупателей).

Потенциальный выпуск j -го агента рассчитывается по формуле:

$$X_j^{pot}(t) = B_j \sqrt{k_j(t)l_j(t)g_j(t)}, \quad (14)$$

где B_j — технологический вектор, связывающий масштаб выпуска ТЭР с величинами производственных факторов; $k_j(t)$ — полная стоимость основных фондов j -го агента; $l_j(t)$ — численность занятых; $g_j(t)$ — темп роста совокупной производительности труда и капитала.

В модели ТЭК балансовые отношения составлены для всех видов ТЭР, используемых в модели. Баланс i -го вида ТЭР ($i \in I_{ТЭР}$) в натуральной форме имеет следующий вид:

$$x_i^{d1}(t) + x_i^{d2}(t) + x_i^{d3}(t) + x_i^{d4}(t) = x_i^{out}(t) - x_i^{exp}(t) + x_i^{imp}(t) - \Delta x_i(t). \quad (15)$$

Левая часть баланса (15) показывает натуральный спрос региональной экономики на ТЭР i -го вида для нужд преобразования в электроэнергию и тепло (x_i^{d1}), переработки в другие виды топлива (x_i^{d2}), использование в качестве неэнергетического сырья (x_i^{d3}) и конечного потребления (x_i^{d4}). Величины x_i^{d1}, x_i^{d2} рассчитываются как суммарное приобретение i -го вида ТЭР агентами, входящими в состав ТЭК. Величины x_i^{d3} и x_i^{d4} рассчитываются как производственное потребление i -го вида ТЭР нефтехимическими отраслями и как суммарное конечное потребление i -го вида ТЭР всеми агентами экономики соответственно.

Правая часть балансового уравнения (15) показывает предложение i -го вида ТЭР на региональном рынке: x_i^{out} — суммарный выпуск i -го вида ТЭР в регионе всеми агентами ТЭК; x_i^{exp} — вывоз i -го вида ТЭР производителями; x_i^{imp} — приобретение i -го вида ТЭР по ввозу; Δx_i — изменение запасов i -го вида ТЭР.

Баланс в стоимостной форме для i -го вида ТЭР ($i = 1, 2, \dots, 15$), запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} (x_i^{d1}(t) + x_i^{d2}(t) + x_i^{d3}(t) + x_i^{d4}(t))\hat{p}_i(t) = \\ = (x_i^{out}(t) - x_i^{exp}(t) - \\ - \Delta x_i(t))p_i(t) + x_i^{imp}(t)\hat{p}_i(t) + \Delta q_i. \end{aligned} \quad (16)$$

Здесь: \hat{p}_i — средняя цена i -го вида ТЭР на рынке ТЭР (средняя цена покупателя); p_i — средняя цена производителя i -го вида ТЭР; Δq_i — суммарная транспортная и торговая надбавка для i -го вида ТЭР.

Топливо-энергетический баланс (15)–(16), формируемый в рамках модели ТЭК, является частью общего ПСБ (6)–(9), играющего роль «баланса балансов», что позволяет через межбалансовые связи моделировать взаимовлияние ТЭК и остальной экономики.

Разработанная модель была откалибрована на статистическом материале Самарской области, предоставленном Самарстатом. Калибровка заключалась в присвоении экзогенным параметрам модели числовых значений, наилучшим образом соответствующих реальным значениям аналогичных параметров. В частности, при калибровке оценивались параметры технологических матриц A_j и B_j экономических агентов, коэффициенты эластичности затрат ТЭР по выпуску, тарифам и климатическим условиям. Отладка модели ТЭК проводилась на сводных ТЭБ Самарской области, построенных для 2011–2015 гг. Сводные ТЭБ были сформированы на основе однопродуктовых балансов отдельных видов ТЭР по методологии Министерства энергетики РФ.

3. Технология прогнозирования сбалансированного развития экономики и ТЭК

Прогнозные расчеты на модели проводятся на основе сценарного подхода, в рамках которого обеспечивается сведение и итеративное согласование прогнозов энергопотребления и производства энергоресурсов по основным видам ТЭР. Интегрирующую функцию в процессе согласования играют прогнозные ТЭБ, которые обеспечивают формирование непротиворечивой и взаимосогласованной системы прогнозов экономического развития региона, объемов потребления и производства основных видов топлива и энергии, а также производственного потенциала отраслей ТЭК. В первом контуре прогнозирования экспертно формируется сценарий развития региональной экономики $U_{pэ}(t)$, содержащий эмпирические предположения о поведении экономических агентов (кроме ТЭК) на горизонте прогнозирования: ожидаемые индексы производства и индексы-дефляторы цен и тарифов, демо-

графический сценарий, параметры налоговой, инвестиционной и бюджетной политики. Базой для разработки сценария являются материалы министерства экономического развития субъекта РФ. На основании сценария $U_{pэ}(t)$ на модели экономики региона прогнозируется валовой выпуск в секторах региональной экономики и рассчитывается первичный прогноз энергопотребления в этих секторах — левые части балансов ТЭР (15). По результатам этих расчетов формируются спрос на компоненты ТЭР в натуральной форме:

$$x_i^d(t) = x_i^{d1}(t) + x_i^{d2}(t) + x_i^{d3}(t) + x_i^{d4}(t), \quad i \in I_{TЭР}. \quad (17)$$

Эти потребности в ТЭР детализируются как требования к развитию производственной базы соответствующих отраслей ТЭК. Далее с учетом прогноза тарифов на ТЭР оценивается платежеспособный спрос на компоненты ТЭР в денежном выражении:

$$q_i^d(t) = (x_i^{d1}(t) + x_i^{d2}(t) + x_i^{d3}(t) + x_i^{d4}(t))\hat{p}_i(t), \quad i \in I_{TЭР} \quad (18)$$

и формируются левые части стоимостных балансов ТЭР (16).

Во втором контуре формируется сценарий развития ТЭК $U_{TЭК}(t)$, содержащий следующие экспертные предположения на горизонте прогнозирования: индексы производства и индексы-дефляторы цен по основным видам ТЭР, индексы снижения потерь по видам ТЭР, пропорции ввоза и вывоза ТЭР, темпы роста инвестиций в основной капитал по секторам ТЭК. По сценарию $U_{TЭК}(t)$ на модели ТЭК прогнозируется развитие производственных мощностей (14) для агентов ТЭК с учетом ожидаемого прогноза инвестиций, на основе чего прогнозируется производство энергоресурсов в натуральных единицах:

$$x_i^{out}(t), \quad i \in I_{TЭР}, \quad (19)$$

и формируется ожидаемое предложение ТЭР на региональном рынке ($x_i^s(t)$) с учетом сценарных условий по вывозу и ввозу ТЭР, включая экспортно-импортные операции:

$$x_i^s(t) = x_i^{out}(t) - x_i^{exp}(t) + x_i^{imp}(t). \quad (20)$$

На основе (16) с учетом сценарного прогноза тарифов на компоненты ТЭР рассчитывается предложение ТЭР в денежном выражении:

$$q_i^s(t) = (x_i^{out}(t) - x_i^{exp}(t) - \Delta x_i(t))\hat{p}_i(t) + x_i^{imp}(t)p_i(t) + \Delta q_i(t). \quad (21)$$

Из компонентов (15) и (16) составляются правые части балансов ТЭР (20) и (21). Рассчитанный перспективный спрос на ТЭР

(17), (18) поэлементно сопоставляется с возможностями их предложения (20) и (21). Если на горизонте прогнозирования $t \in [t_1, t_T]$

$$\begin{cases} x_i^d(t) \leq x_i^s(t), \\ q_i^d(t) \leq q_i^s(t), \end{cases} \quad (22)$$

то это означает, что потенциал ТЭК обеспечивает потребности региона по i -му виду ТЭР, а тарифы на ТЭР формируют предложение ресурса на уровне спроса, обеспечивающего развитие. Избыточное предложение

$$\Delta x_i(t) = x_i^s(t) - x_i^d(t) \quad (23)$$

может быть устранено за счет корректировки компонентов спроса и предложения i -го вида ТЭР. Решения по корректировке избыточного предложения формируются на уровне корректировки сценарных условий развития ТЭК $U_{ТЭК}(t)$. Если для некоторых моментов времени $t \in [t_1, t_T]$

$$\begin{cases} x_i^d(t) > x_i^s(t), \\ q_i^d(t) \leq q_i^s(t), \end{cases} \quad (24)$$

то это означает, что потенциал ТЭК не обеспечивает потребности региона по i -му виду ТЭР. Необходимо либо увеличить потенциал предложения i -го вида ТЭР, либо скорректировать экономический рост, либо сделать и то и другое. Увеличение потенциала предложения возможно за счет увеличения выпуска ресурса и коррекции объемов ввоза-вывоза. Повышение потенциала ТЭК требует вполне определенных ресурсов развития, которые ограничены и могут быть легко оценены. Операции по ввозу и вывозу оцениваются на модели внешнего окружения.

Уменьшение потребления ТЭР экономикой может быть достигнуто за счет корректировки экономического роста в сторону уменьшения или за счет проведения мероприятий по энергосбережению, снижению удельной энергоёмкости производства и повышению энергоэффективности применяемых технологий.

Управленческие решения по ликвидации дисбаланса между спросом и предложением ТЭР формируются на уровне корректировки сценарных условий развития ТЭК $U_{ТЭК}(t)$ и экономики $U_{РЭ}(t)$ в рамках балансового уравнений (15), (16). Если для некоторых $t \in [t_1, t_T]$

$$\begin{cases} x_i^d(t) \leq x_i^s(t), \\ q_i^d(t) > q_i^s(t), \end{cases} \quad (25)$$

то это означает, что тарифы на i -й вид ТЭР формируют предложение ресурса на уровне, не соответствующем платежеспособному спросу региона по i -му виду ТЭР. Необходимо умень-

шить тариф на этот вид ТЭР в рамках балансового уравнения (16).

Процедура согласования сценариев развития ТЭК $U_{ТЭК}(t)$ и экономики $U_{РЭ}(t)$ оформлена в виде решения оптимизационной задачи, которое проводится путем поэтапной итеративной коррекции первоначального сценария (начального приближения) $U^0(t) = [U_{РЭ}^0(t), U_{ТЭК}^0(t)]^T$. Инструментами коррекции являются сценарные параметры, изменения которых нацелены на согласования спроса и предложения на все виды используемых ресурсов (в том числе ТЭР) в рамках формирования общего ПСБ в натуральной и стоимостной форме [24]. В процессе итеративного согласования формируется непротиворечивый сценарий развития экономики региона и ТЭК $U^*(t) = [U_{РЭ}^*(t), U_{ТЭК}^*(t)]^T$ и соответствующие ему согласованные процессы производства, преобразования, переработки, распределения и конечного потребления ТЭР. Энергоэффективность полученного сценария развития $U^*(t)$ оценивается с помощью введенной системы энергоиндикаторов (табл. 1).

Ниже приведен пример оценки энергоэффективности варианта прогноза развития Самарской области, сформированного по целевому сценарию Энергетической стратегии России на период до 2035 года, адаптированному для Самарской области. Прогноз был детализирован в отраслевом разрезе до состава показателей, необходимых для определения спроса на основные виды топлива и энергии. Была сделана попытка максимального приближения к целевым ориентирам, установленным для основных показателей развития ТЭК субъекта РФ. В таблице 3 приведены значения индикаторов, характеризующих энергоэффективность и энергобезопасность регионального ТЭК для сформированного варианта прогноза развития Самарской области.

Индикаторы, приведенные в таблице 3, характеризуют динамику изменения энергоёмкости (индикатор 1), энергоэффективности (индикаторы 2, 3, 9), энергосбережения (индикаторы 4–6) и энергобезопасности (индикаторы 8, 10) ТЭК на горизонте прогнозирования. Индикатор 7 характеризует динамику повышения общей эффективности ТЭК.

В таблице 4 приведены значения индикаторов энергоёмкости и энергосбережения региональной экономики за вычетом ТЭК.

Каждому сценарию регионального развития будут соответствовать вполне определенные значения энергоиндикаторов. Возникает задача поиска наилучшего с точки зрения об-

Таблица 3

Индикаторы энергоэффективности регионального ТЭК

Наименование индикатора	Значения индикатора по годам				
	2016	2020	2025	2030	2035
1. Энергоемкость ТЭК (кг у. т. / тыс. руб.), в % к базовому году	100	93,6	85,4	78,9	73,5
2. Удельный расход топлива на отпуск электрической энергии (кг у. т. / кВт·ч.), в % к базовому году	100	96,1	91,4	86,9	82,6
3. Удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии (кг у. т. / Гкал.), в % к базовому году	100	96,9	96,4	96,0	96,0
4. Удельные потери ТЭР, в % к базовому году	100	91,3	84,8	78,7	72,8
5. Удельные потери электроэнергии в электрических сетях, в % к базовому году	100	96,1	91,4	86,9	82,6
6. Удельные потери в тепловых сетях, в % к базовому году	100	93,2	84,2	76,1	68,8
7. Доля ТЭК в конечном потреблении ТЭР региональной экономикой, в % к базовому году	100	98,9	96,5	93,7	91,0
8. Увеличение (добычи) производства ТЭР, в % к базовому году	100	107,6	112,0	115,1	118,1
9. Выход светлых нефтепродуктов, %	59,0	63,8	68,3	72,8	77,2
10. Доля возобновляемых источников энергии в выпуске ТЭР, %	5,9	6,0	6,6	7,1	7,9

Таблица 4

Индикаторы энергоэффективности региональной экономики

Наименование индикатора	Значения индикатора по годам				
	2016	2020	2025	2030	2035
<i>Реальный сектор экономики</i>					
1. Энергоемкость реального сектора экономики в целом (кг у.т./тыс. руб.), в % к базовому году	100	94,6	85,7	78,1	72,4
2. Энергоемкость основных видов деятельности, в % к базовому году:					
сельское хозяйство (раздел А)	100	94,2	87,7	82,8	79,3
промышленность (разделы В, С, D, E — без ТЭК)	100	94,8	86,1	78,9	72,7
строительство (раздел F)	100	94,2	85,6	78,2	71,7
транспорт (раздел H — без трубопроводного)	100	95,9	86,8	78,9	72,1
<i>Домашние хозяйства</i>					
1. Потребление ТЭР на душу населения (кг у.т. / чел.), в % к базовому году	100	101,0	102,2	104,2	105,9
2. Потребление электроэнергии на душу населения (кг у.т. /чел.), в % к базовому году	100	101,4	103,8	107,8	112,5
3. Потребление нефтепродуктов на душу населения (т у.т. /чел.), в % к базовому году	100	104,7	115,7	130,3	147,4
4. Доля расходов домашних хозяйств на ТЭР в общих расходах, в % к базовому году	100	95,5	91,3	85,8	79,9
5. Отношение расходов домашних хозяйств на ТЭР к величине прожиточного минимума, %	20,6	21,8	23,0	24,2	25,4
<i>Регион в целом</i>					
1. Энергоемкость ВРП субъекта РФ (кг у.т./тыс. руб.), в % к базовому году	100,0	92,8	81,9	72,8	65,0
2. Интегральный коэффициент энергоэффективности (доля полезно используемых ТЭР), %	93,7	93,9	94,2	94,6	95,0
3. Обеспеченность региональной экономики собственными энергоресурсами, %	52,5	53,1	50,3	48,0	45,6
4. Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР, %	61,9	63,4	63,8	63,5	63,1

щей энергоэффективности сценария регионального развития.

4. Поиск наилучшего энергоэффективного сценария развития

Пусть установлены цели энергоэффективного развития субъекта РФ в виде целе-

вых установок (2) для индикаторов экономического развития и выбранной системы энергоиндикаторов (табл. 1). Добавление вектора $E_3^0(t)$ в общий кортеж региональных целей (2) придает региональному развитию «энергоэффективную окраску». Отметим, что целевые ориентиры для энергоиндикаторов $E_3^0(t)$ мо-

гут противоречить целям экономики $E_{p3}^0(t)$, например, требование снижения энергоёмкости ВРП может противоречить решению развивать энергоёмкие отрасли, а экспортноориентированное развитие может снижать энергобезопасность экономики. Поэтому целевые установки энергоэффективного развития субъекта РФ $E_3^0(t)$ должны быть сбалансированы с целевыми установками социально-экономического развития $E_{p3}^0(t)$ в рамках решения общей задачи энергоэффективного развития [25].

Введем критерий Φ , характеризующий суммарное относительное отклонение вектора индикаторов $E(t) = [E_{p3}(t), E_3(t)]^T = [e_1(t), e_2(t), \dots, e_N(t)]^T$ от целевых траекторий $E^0(t) = [E_{p3}^0(t), E_3^0(t)]^T = [e_1^0(t), e_2^0(t), \dots, e_N^0(t)]^T$ в точках измерения $t \in [t_1, t_2, \dots, t_T]$:

$$\Phi_3(U, t) = \left\{ \sum_{i=1}^N \left\{ g_i \sum_{k=1}^T \left| \frac{e_i(U(t_k))}{e_i^0(t_k)} - 1 \right| \right\} \right\}. \quad (26)$$

Здесь N — общее количество индикаторов (экономических и энергетических); g_i — значимость (вес) i -го индикатора; T — количество точек на интервале стратегирования.

Задача поиска энергоэффективного варианта развития сведется к следующей задаче оптимизации: найти допустимый сценарий развития экономики региона и ТЭК $U(t)$, минимизирующий общую «неудовлетворенность» от недостижения целей (2), установленных для общей системы индикаторов (1) в точках $t = t_1, t_2, \dots, t_T$ на горизонте стратегирования:

$$\min_{U(t) \in D_U} \Phi(U(t)) = \min_{U(t) \in D_U} \left\{ \sum_{i=1}^N \left\{ g_i \sum_{k=1}^T \left| \frac{e_i(U(t_k))}{e_i^0(t_k)} - 1 \right| \right\} \right\}. \quad (27)$$

Здесь индикаторы $e_1(U(t)), e_2(U(t)), \dots, e_N(U(t))$ рассчитываются на модели региона $M_E(U, t)$ при решении прямой задачи сценарного прогнозирования (4) для сценария развития $U(t)$, принадлежащего пространству управленческих решений D_U , заданному в виде допустимых интервалов регулирования сценарных параметров.

В статье [25] предложен эффективный матричный метод решения задачи (27) для многих десятков целей (N), сотен управляющих переменных и глубоких горизонтов прогнозирования (T). Разработанный на основе матричного метода решатель автоматически формирует сценарии развития, при которых значения индикаторов $E(t) = [E_{p3}(t), E_3(t)]^T$ максимально близко приближаются к установленным целям $E^0(t) = [E_{p3}^0(t), E_3^0(t)]^T$ с учетом значимости этих индикаторов (весов g_i) и ресурс-

ных ограничений на управляющие воздействия $U(t)$.

Заключение

В статье показано, что прогнозирование и стратегическое планирование энергоэффективного развития субъекта РФ целесообразно проводить в рамках единой задачи многокритериальной оптимизации, где наряду с общеэкономическими целями устанавливаются ориентиры энергоэффективного развития в виде целевых установок для выбранной системы энергоиндикаторов. Выбор системы энергоиндикаторов должен ответить на вопрос, какое развитие рассматривается как энергоэффективное. Автором разработана система энергоиндикаторов, характеризующая развитие ТЭК и региональной экономики с позиций энергоэффективности и энергобезопасности. Достоинством предложенной системы энергоиндикаторов является ее компактность, непротиворечивость и статистическая вычислимость.

Предложенная технология прогнозирования сбалансированного развития экономики и ТЭК, в рамках которой обеспечивается сведение и итеративное согласование прогнозов энергопотребления и производства энергоресурсов на основе формирования регионального ТЭБ, заполняет существующий пробел на рынке региональных прогнозно-аналитических услуг. Новизной этой методологии является то, что ТЭБ, формируемый в рамках модели ТЭК, является частью общего регионального продуктово-секторного баланса, формируемого для региона в целом и играющего роль «баланса балансов», что позволяет через межбалансовые связи моделировать взаимовлияние ТЭК и остальной экономики. Разработанная технология апробирована при прогнозировании развития Самарской области по сценариям Энергетической стратегии России на период до 2035, адаптированным для субъекта РФ.

Описанные в статье методы и инструменты прогнозирования и стратегического планирования реализованы в виде прогнозно-аналитического комплекса «Энергетика», нацеленного на поддержку управленческих решений органов региональной власти в задачах повышения энергоэффективности и энергобезопасности региональной экономики. Полученные результаты являются основой для дальнейших исследований по нескольким направлениям, важнейшим из которых является более глубокая детализация процессов прогнозирования и

стратегического планирования региональной энергетики. Это может быть сделано только путем использования разработанного инструментария в реальных проектах для решения реальных проблем с реальными лицами, принимающими решения. Участие в практических задачах позволит уточнить и оптимизировать предложенную систему энергоиндикаторов,

повысить адекватность результатов моделирования, прогнозирования и стратегического планирования. Другим важным направлением исследования является формирование комплексной оценки потенциала энергосбережения региональной экономики для уточнения ориентиров и сценариев энергоэффективного развития.

Благодарность

Статья подготовлена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ № 26.4131.2017/ПЧ, проект «Разработка методов и информационных технологий макроэкономического моделирования и стратегического планирования энергоэффективного развития ТЭК субъекта Российской Федерации».

Список источников

1. Borges A. R., Antunes C. H. A fuzzy multiple objective support model for energy-economy planning // *European Journal of Operational Research*. — 2003. — № 145. — P. 304–316. — DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00536-2.
2. Эволюция мировых энергетических рынков и ее последствия для России / под ред. А. А. Макарова, Л. М. Григорьева, Т. А. Митровой. — М. : ИНЭИ РАН-АЦ при Правительстве РФ, 2015. — 400 с.
3. SCANNER — модельно-информационный комплекс / под ред. А. А. Макарова — М. : ИНЭИ РАН, 2011. — 74 с.
4. Psarras J., Capros P., Samouilidis J. E. Multiobjective programming // *Energy*. — 1990. — № 15. — P. 583–605.
5. Greening L. A., Bernow S. Design of coordinated energy and environmental policies: use of multi-criteria decision-making // *Energy Policy*. — 2004. — № 32. — P. 721–735. — DOI: 10.1007/978-3-642-04045-0_4.
6. Becalli M., Cellura M., Mistretta M. Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology // *Renewable Energy*. 2003. — Vol. 28. — No. 13. — P. 2063–2087. — DOI: 10.1016/S0960-1481(03)00102-2.
7. Short and medium-term modeling and problems of models linkage / Capros P., Karadeloglou P., Mentzas G., Samouilidis J. E. // *Energy*. — 1990. — № 15. — P. 301–324.
8. Jebaraj S., Iniyar S. A review of energy models // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2006. — № 10. — P. 281–311. — DOI: 10.1016/j.rser.2004.09.004.
9. Dixon P. B., Koopman R. B., Rimmer M. T. The MONASH Style of Computable General Equilibrium Modeling: A Framework for Practical Policy Analysis // *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling* / Dixon P. B., Jorgenson D. W. (eds.). — North-Holland, Amsterdam, 2013. — 1841 p. — P. 22–103. — DOI: 10.1016/B978-0-444-59568-3.00002-X.
10. Wickens M. *Macroeconomic theory: a dynamic general equilibrium approach*. — Princeton : Princeton University Press, 2008. — 477 p.
11. Adams P. D., Parmenter B. R. Computable General Equilibrium Modeling of Environmental Issues in Australia: Economic Impacts of An Emission Trading Scheme // *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling* / Dixon P. B., Jorgenson D. W. (eds.). — NorthHolland, Amsterdam. — 2013. — 1841 p. — P. 553–657. — DOI: 10.1016/B978-0-444-59568-3.00009-2.
12. Bohlmann H. R., Van Heerden J. H., Dixon P. B., Rimmer M. T. The Impact of the 2014 Platinum Mining Strike in South Africa. An Economy-Wide Analysis // *Economic Modelling*. — 2015. — Vol. 51. — P. 403–411. — DOI: 10.1016/j.econmod.2015.08.010.
13. Farajzadeh Z., Bakhshoodeh M. Economic and environmental analyses of Iranian energy subsidy reform using Computable General Equilibrium (CGE) model // *Energy for Sustainable Development*. — 2015. — Vol. 27 (Aug.). — P. 147–154. — DOI: 10.1016/j.esd.2015.06.002.
14. Energy, the Environment and US Economic Growth / Jorgenson D. W, Goettle R. J, Ho M. S, Wilcoxon P. J. // *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling* / Dixon P. B., Jorgenson D. W. (eds.). — NorthHolland, Amsterdam. — 2013. — 1841 p. — P. 475–552. — DOI: 10.1016/B978-0-444-59568-3.00008-0.
15. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сулакишин С. С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. — М. : Научный эксперт, 2007. — 304 с.
16. Ратманова И. Д., Кулешов М. А. Формирование сводного топливно-энергетического баланса в рамках региональной информационно-аналитической системы // *Вестник ИГЭУ*. — 2014. — № 4. — С. 1–7.
17. Быкова Е. В., Гродецкий М. В. Анализ и мониторинг энергетической безопасности и прогнозирование значений индикаторов методом условного нелинейного математического программирования // *Экономика региона*. — 2011. — № 3. — С. 234–240.
18. Putnam P. *Energy in the future*. — New York : D. Van Nostrand Co., 1953. — 556 p.
19. *Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency: Key Insights from IEA Indicator Analysis*. — Paris : OECD/IEA, 2008. — 91 p.
20. Дайнеко А. Е., Падалко Л. П., Цилибина В. М. Энергоэффективность экономики Беларуси. — Минск : Белорусская наука, 2015. — 363 с.

21. Цыбатов В. А. Стратегирование регионального развития. Методы, модели, информационные технологии // Региональная экономика. Теория и практика. — 2015. — Вып. 27 (июль). — С. 36–53.
22. Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Активный прогноз. — М.: ИПУ РАН, 2002. — 101 с.
23. Система национальных счетов 2008 / Под ред. Проф. Ю. Н. Иванова. — Европейская комиссия, ООН, МВФ, ОЭСР, ВБ. — Нью-Йорк, 2012. — 764 с.
24. Цыбатов В. А. Модели и методы стратегирования регионального развития // Вестник Самарского государственного экономического университета. — 2015. — № 3 (125). — С. 49–66.
25. Цыбатов В. А. Проблемы ресурсообоснованного целеполагания в задачах стратегического планирования регионального развития // Региональная экономика. Юг России. — 2017. — № 1 (15). — С. 67–76.

Информация об авторах

Цыбатов Владимир Андреевич — доктор экономических наук, профессор, Самарский государственный экономический университет; Scopus Author ID: 6508135389; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7076-2252> (Российская Федерация, 443090, г. Самара, ул. Советской Армии, 141; e-mail: tva82@yandex.ru).

For citation: Tsybatov, V. A. (2018). Strategic Planning of Energy-Efficient Development of a Region of the Russian Federation. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 14(3), 941-954

V. A. Tsybatov

Samara State University of Economics (Samara, Russian Federation; e-mail: tva82@yandex.ru)

Strategic Planning of Energy-Efficient Development of a Region of the Russian Federation

When developing regional strategies, the effectiveness of energy solutions must be linked to the overall economic efficiency of regional development, since the targets for energy-efficient development may conflict with the objectives of the regional economy as a whole. In the article, the task of energy-efficient development of a region of the Russian Federation is reduced to the search for the agreed scenarios of the development of fuel and energy complex (FEC) and the regional economy. These scenarios allow achieving a maximum approximation to the stated goals for the set of energy and economic indicators. I have developed a model of the FEC of a region as a dynamic CGE-model. It is developed as a part of the general model of the socio-economic activity of a region. This model represents the interrelated processes of production, processing, transportation and the use of all types of fuel and energy resources in a region. I propose the forecasting methodology of balanced development of the economy and fuel and energy complex. This methodology provides iterative harmonization of forecasts for consumption and production of energy based on regional fuel and energy balance (FEB). At the same time, the FEB developed within the framework of the FEC model is a part of the overall product-sector balance of the economy, which plays the role of the “balance of balances”. It allows to simulate the interaction of FEC and the rest of the economy through inter-balance relations. Based on the developed methods and models, I have implemented the information technology of situation forecasting and strategic planning in the form of forecasting and analytical tool. This tool simulates the scenarios of energy-efficient development of the economy of the Samara region. As an example, the article presents the assessment of energy efficiency for an option of Samara region development according to the target scenario of Russia’s Energy Strategy for the period up to 2035.

Keywords: economy, energy, energy-efficient development, fuel and energy complex, fuel-energy balance, energy indicators, modelling, forecasting, strategic planning, scenario of development

Acknowledgments

The article has been prepared in the framework of the state order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation № 26.4131.2017/PCh, Project “Development of methods and information technologies of macroeconomic modelling and strategic planning of energy efficient development of energy industry of the territorial subject of the Russian Federation”.

References

1. Borges, A. R. & Antunes, C. H. (2003). A fuzzy multiple objective support model for energy-economy planning. *European Journal of Operational Research*, 145, 304–316. DOI:10.1016/S0377-2217(02)00536-2.
2. Makarov, A. A., Grigoryev, L. M. & Mitrovaya, T. A. (Eds). (2015). *Evolyuetsiya mirovykh energeticheskikh rynkov i eyo posledstviya dlya Rossii [Evolution of the world energy markets and its consequence for Russia]*. Moscow: INEI RAN-ATS pri Pravitelstve RF Publ., 400. (In Russ.)
3. Makarov, A. A. (2011). *SCANER — modelno-informatsionnyy kompleks [SCANER — model and information complex]*. Moscow: INEI RAN Publ., 74. (In Russ.)
4. Psarras, J., Capros, P. & Samouilidis, J. E. (1990). Multiobjective programming. *Energy*, 15, 583–605.
5. Greening, L. A. & Bernow, S. (2004). Design of coordinated energy and environmental policies: use of multi-criteria decision-making. *Energy Policy*, 32, 721–735. DOI: 10.1007/978-3-642-04045-0_4.
6. Becalli, M., Cellura, M. & Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 28(13), 2063–2087. DOI: 10.1016/S0960-1481(03)00102-2.
7. Capros, P., Karadeloglou, P., Mentzas, G. & Samouilidis, J. E. (1990). Short and medium-term modeling and problems of models linkage. *Energy*, 15, 301–324.

8. Jebaraj, S. & Iniyar, S. (2006). A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 281–311. DOI: 10.1016/j.rser.2004.09.004.
9. Dixon, P. B., Koopman, R. B. & Rimmer, M. T. (2013). The MONASH Style of Computable General Equilibrium Modeling: A Framework for Practical Policy Analysis. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. In: Dixon, P. B. & Jorgenson, D. W. (Eds). North-Holland, Amsterdam. 1841; 22–103. DOI: 10.1016/B978-0-444-59568-3.00002-X.
10. Wickens, M. (2008). *Macroeconomic theory: a dynamic general equilibrium approach*. Princeton: Princeton University Press, 477.
11. Adams, P. D. & Parmenter, B. R. (2013). Computable General Equilibrium Modeling of Environmental Issues in Australia: Economic Impacts of An Emission Trading Scheme. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. In: Dixon, P. B. & Jorgenson, D. W. (Eds). North-Holland, Amsterdam. 1841; 553–657. DOI: 10.1016/B978-0-444-59568-3.00009-2.
12. Bohlmann, H. R., Van Heerden, J. H, Dixon, P. B. & Rimmer, M. T. (2015). The Impact of the 2014 Platinum Mining Strike in South Africa. An Economy-Wide Analysis. *Economic Modelling*, 51, 403–411. DOI: 10.1016/j.econmod.2015.08.010.
13. Farajzadeh, Z. & Bakhshoodeh, M. (2015, August). Economic and environmental analyses of Iranian energy subsidy reform using Computable General Equilibrium (CGE) model. *Energy for Sustainable Development*, 27, 147–154. DOI: 10.1016/j.esd.2015.06.002.
14. Jorgenson, D. W, Goettle, R. J, Ho, M. S & Wilcoxon, P. J. (2013). Energy, the Environment and US Economic Growth. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. In: Dixon, P.B. & Jorgenson, D.W. (Eds). North-Holland, Amsterdam. 1841; 475–552. DOI: 10.1016/B978-0-444-59568-3.00008-0.
15. Makarov, V. L., Bakhtizin, A. R. & Sulakshin, S. S. (2007). *Primenenie vychislimykh modeley v gosudarstvennom upravlenii [Application of computable models in public administration]*. Moscow: Nauchnyy ekspert Publ., 304. (In Russ.)
16. Ratmanova, I. D. & Kuleshov, M. A. (2014). Formirovanie svodnogo toplivno-energeticheskogo balansa v ramkakh regionalnoy informatsionno-analiticheskoy sistemy [Development of summary fuel and energy balance within regional information and analytical system]. *Vestnik IGEU [Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University]*, 4, 1–7. (In Russ.)
17. Bykova, E. V. & Grodetskiy, M. V. (2011). Analiz i monitoring energeticheskoy bezopasnosti i prognozirovanie znacheniy indikatorov metodom uslovnogo nelineynogo matematicheskogo programmirovaniya [Analysis and monitoring of energy security and prediction of indicator values using conventional non-linear mathematical programming]. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 3, 234–240. (In Russ.)
18. Putnam, P. (1953). *Energy in the future*. New York: D. Van Nostrand Co., 556.
19. *Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency: Key Insights from IEA Indicator Analysis*. (2008). Paris: OECD/IEA, 91.
20. Dayneko, A. E., Padalko, L. P. & Tsilibina, V. M. (2015). *Energoeffektivnost ekonomiki Belarusi [Energy efficiency of Belarus economy]*. Minsk: Belaruskaya navuka Publ., 363. (In Russ.)
21. Tsybatov, V. A. (2015, July). Strategirovanie regionalnogo razvitiya: metody, modeli, informatsionnye tekhnologii [Strategic planning of regional development: methods, models, information technology] *Regionalnaya ekonomika. Teoriya i praktika [Regional Economics: Theory and Practice]*, 27, 36–53. (In Russ.)
22. Novikov, D. A. & Chkhartishvili, A. G. (2002). *Aktivnyy prognoz [Active forecast]*. Moscow: IPU RAN Publ., 101. (In Russ.)
23. Ivanov, Yu. N. (Ed.). (2012). *Sistema natsionalnykh schetov 2008 [System of national accounts 2008]*. Evropeyskaya komissiya, OON, MVE, OESR, VB [European Commission, UN, IMF, OECD, WB]. New York, 764. (In Russ.)
24. Tsybatov, V. A. (2015). Modeli i metody strategirovaniya regionalnogo razvitiya [Strategic models and methods for regional development]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Bulletin of Samara State Economic University]*, 3(125), 49–66. (In Russ.)
25. Tsybatov, V. A. (2017). Problemy resursoobosnovannogo tselepolaganiya v zadachakh strategicheskogo planirovaniya regionalnogo razvitiya [Problems of goal-setting based on the resources in the tasks of strategic planning of regional development]. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii [Regional economy. The South of Russia]*, 1(15), 67–76. (In Russ.)

Author

Vladimir Andreevich Tsybatov — Doctor of Economics, Samara State University of Economics; Scopus Author ID: 6508135389; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7076-2252> (141, Sovetskoy Armii St., Samara, 443090, Russian Federation; e-mail: tva82@yandex.ru).