
УДК 338.27:621.311.001.57

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОСРОЧНОЙ ДИНАМИКИ СПРОСА НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОБОСНОВАННОСТИ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЭК: СОСТАВ ЗАДАЧ, МЕТОДЫ И МОДЕЛИ

© 2021 г. Е. В. Гальперова*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

**e-mail: galper@isem.irk.ru*

Поступила в редакцию 03.11.2020 г.

После доработки 01.12.2020 г.

Принята к публикации 04.12.2020 г.

В статье описывается методология прогнозных исследований долгосрочной динамики спроса на энергоносители, предназначенная для оценки перспективных вариантов развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Особенность методологии состоит в разбиении прогнозного периода на временные стадии, выявлении на них важных задач и подборе для их решения наиболее подходящих методов. Основным достоинством методологии является соответствие принципу соразмерности сложности и детализации применяемых методов и моделей качеству имеющихся на разных временных стадиях исследования исходных данных и приемлемой точности получаемых результатов. Поскольку для решения каждой задачи подбираются свои методы, то инструментарий строится в виде стенда (набора) разного вида моделей. В зависимости от возникающей проблемы каждая модель может решать как свои специфические задачи, так и использоваться в комбинации с другими.

Ключевые слова: энергоносители, спрос, неопределенность, прогнозирование, моделирование, энергетика

DOI: 10.31857/S0002331021010064

ВВЕДЕНИЕ

Оценка перспективной динамики и структуры спроса на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) остается в ряду важных и актуальных задач, решение которой необходимо для обоснованного принятия стратегических решений в области повышения энергетической и экономической безопасности страны и улучшения качества жизни населения. В настоящее время основные трудности в исследовании перспективного спроса на ТЭР обусловлены растущей неопределенностью параметров внешних и внутренних условий развития энергетики, экономики и общества. Причинами этого роста являются, в том числе: а) неустойчивость экономики России (в первую очередь, из-за ее зависимости от мировых энергетических рынков); б) ослабление роли централизованного энергоснабжения (из-за различий в конъюнктуре на региональных энергетических рынках); в) повышение значимости непромышленного сектора экономики (сфера услуг и домохозяйства) в формировании спроса на ТЭР (из-за повышения требований к качеству и надежности энергоснабжения); г) ускорение научно-технического прогресса в производстве и потреблении энергии (в т.ч. из-за значительного удешевления разработки и внедрения новых технологий с использованием ВИЭ); д) цифровизация энергетики и экономики (из-за стремительного распространения информационно-коммуникаци-

онных технологий); е) изменение роли и места потребителей в энергетических системах, которые становятся “активными” — способными управлять собственным энергопотреблением, производить, накапливать, поставлять энергию в энергосистему. Эти особенности и новые тенденции еще мало изучены, ряд из них находится лишь на стадии осмысления и не нашли должного отражения в научных исследованиях.

В отечественной и зарубежной практике исследования и долгосрочного прогнозирования потребности в топливе и энергии накоплен и используется большой спектр подходов, методов и моделей. Среди них методы, основанные на знаниях и опыте специалистов, работающих в этой области, методы экстраполяции долгосрочных тенденций энергопотребления во взаимосвязи с основными макроэкономическими показателями развития разных стран, энергетических затрат на компоненты конечного потребления, технологических сдвигов и проч. Зарубежный опыт проанализирован и обобщен в [1, 2], отечественные подходы достаточно полно представлены в [3–5]. Разработанные имитационные, оптимизационные, балансовые и др. модели используются как для решения самостоятельных задач прогноза потребности в ТЭР, так и входят в состав модельных комплексов, предназначенных для определения перспективных направлений развития энергетики [6–9]. В ИСЭМ СО РАН на протяжении многих лет исследуются тенденции и закономерности спроса на ТЭР [10, 11], развиваются, совершенствуются, модернизируются методы, модели и подходы для оценки долгосрочной динамики потребности в энергоносителях [4, 12].

В условиях растущей неопределенности снижается ценность количественных оценок прогноза, как обоснованного предсказания будущего, в виде объемов потребности в разных видах энергоносителей. Актуальным становится исследование изменения во времени важности и силы влияния отдельных факторов (экономических, ресурсных, демографических, технологических и пр.) и их взаимосвязей на перспективную динамику спроса на ТЭР и его структуру. Долгосрочный прогноз следует понимать как изучение, исследование будущего для формирования “поля возможностей” или “конуса неопределенности” при принятых предположениях.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОСРОЧНОЙ ДИНАМИКИ СПРОСА НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

В ИСЭМ СО РАН развивается методический подход к повышению обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК [13]. Его особенность состоит в разбиении процесса прогнозного исследования на три последовательных этапа и несколько временных стадий. Последнее связано с тем, что в условиях роста неопределенности на разных временных периодах прогноза меняется: (1) набор и степень важности решаемых задач, (2) качество исходной информации, (3) ценность результатов для принятия управляющих решений. Оценка перспективной потребности в энергоносителях является одной из немногих задач, которые выделяются на каждой временной стадии исследования (рис. 1).

Методология исследования перспективной потребности в энергоносителях для повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК (табл. 1) основана на базовых принципах упомянутого выше подхода:

- прогнозный период разбивается на временные стадии,
- на каждой временной стадии определяются характерные для нее задачи,
- для решения каждой задачи подбираются наиболее адекватные методы.

Особенность методологии состоит в том, что формирование прогноза осуществляется последовательным итеративным продвижением во времени от дальней перспективы к ближней с одновременным территориальным ходом от уровня страны к субъекту федерации. Важной чертой является возможность и необходимость корректировки дальней перспективы по результатам решения задач ближней и вышестоящего территориального уровня на основе нижестоящего. Неопределенность условий разви-

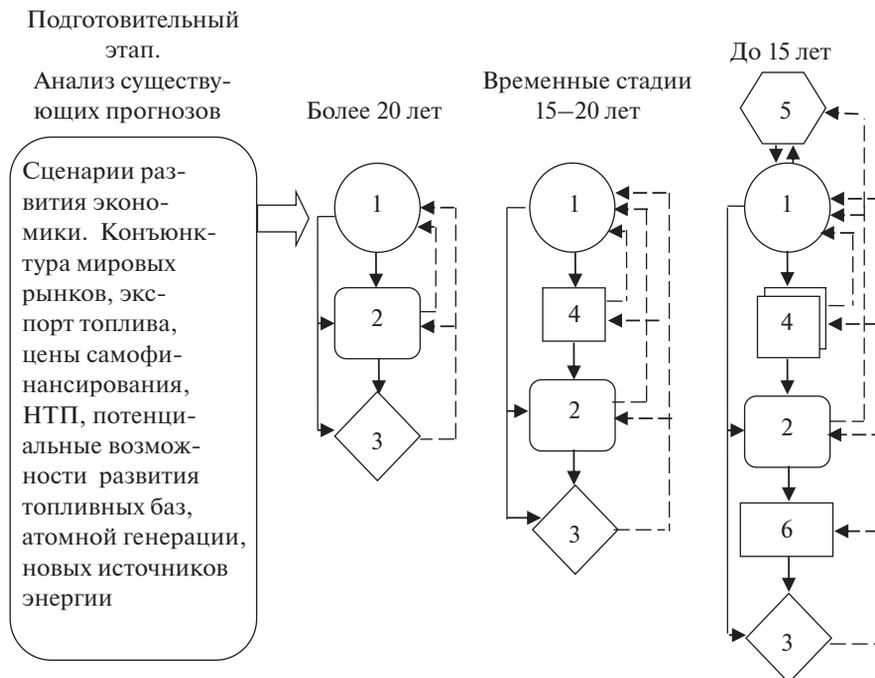


Рис. 1. Состав и взаимосвязи решаемых задач на разных временных стадиях исследования вариантов долгосрочного развития ТЭК. Источник: [13]. 1 – перспективы ТЭК; 2 – исследование конъюнктуры региональных энергетических рынков (спрос и цены); 3 – оценка барьеров и угроз; 4 – развитие отраслей ТЭК; 5 – взаимосвязь с макроэкономикой; 6 – стратегические планы энергетических компаний.

тия экономики и энергетики обуславливает представление используемой исходной информации и результатов прогнозов в виде интервалов их возможных перспективных значений, величина которого уменьшается по мере сокращения горизонта прогноза и территории. Достоинством методологии является соответствие принципу соразмерности сложности применяемых методов и моделей на разных временных стадиях прогноза качеству исходных данных и приемлемой точности результатов для дальнейших исследований. Другими словами, чем более продолжителен горизонт прогноза и крупнее территория, тем проще используемые модели.

Методология представляет собой комплексный, многоэтапный и многоуровневый подход, включающий в себя целый ряд отдельных, но взаимосвязанных исследований и задач. В общем случае предполагается следующая последовательность решения задач во временном и территориальном разрезе.

1. Временная стадия более 20 лет. Основной задачей этой стадии является формирование прогнозной области потребности в энергоносителях в разрезе страны в условиях максимальной неопределенности будущего. Для этого временного периода не существует достоверной информации по развитию экономики, ТЭК и его отраслей. Исследование опирается на изучение и обобщение мнения авторитетных экспертов в области экономических и технологических законов развития, а также анализ существующих долгосрочных глобальных мировых и отечественных тенденций и закономерностей во взаимосвязях энергетики, экономики и энергопотребления.

Формирование прогнозной области на столь далекую перспективу не требует сложных моделей, оно основывается на выявлении, анализе и использовании функцио-

Таблица 1. Основные положения методологии исследования долгосрочной динамики спроса на энергоносители для повышения обоснованности перспектив развития ТЭК. Источник: составлено автором

Временная стадия	Перечень основных задач	Наиболее приемлемые методы	Степень агрегирования в моделях		
			продуктов	объектов	территории
Более 20 лет	<ul style="list-style-type: none"> — Определение возможного диапазона спроса на основные виды энергоносителей рассматриваемого сценария развития экономики в условиях максимальной неопределенности 	<p>Экстраполяция тенденций и закономерностей, межстрановых сравнений и экспертного анализа</p>	<p>Электроэнергия, теплоэнергия, котельно-печное топливо</p>	<p>Производственная и непроизводственная сферы экономики</p>	<p>Страна в целом</p>
15–20 лет	<ul style="list-style-type: none"> — Оценка влияния отраслевой структуры экономики на спрос на ТЭР — Оценка влияния уровня жизни населения и развития сферы услуг на спрос на ТЭР — Определение региональной структуры спроса на энергоресурсы 	<p>Регрессионный анализ, имитационное моделирование, оптимизации</p>	<p>Электроэнергия, теплоэнергия, природный газ, мазут, уголь, прочие виды топлива</p>	<p>Промышленность, транспорт, население, сфера услуг</p>	<p>Укрупненные регионы или федеральные округа</p>
До 15 лет	<ul style="list-style-type: none"> — Оценка корректирующего влияния спроса и цен на региональных рынках на развитие ТЭК — Выбор вариантов энерго- и топливоснабжения потребителей в регионах — Оценка ценовой эластичности спроса на региональных энергетических рынках — Определение потенциала и эффективности энергосбережения — Влияние новых технологий в производстве и потреблении энергии на спрос на энергоносители — Исследование влияния развития интеллектуальных систем энергетики на спрос и цену электроэнергетики в регионе 	<p>Регрессионный анализ, оптимизация, Монте-Карло, имитационного, агентного моделирования</p>	<p>Электроэнергия, теплоэнергия, природный газ, мазут, уголь, прочие виды топлива, бензин, дизельное, синтетическое жидкое топливо</p>	<p>Энергоемкие отрасли промышленности, грузовой и пассажирский транспорт, электростанции, котельные, домохозяйства, сфера услуг</p>	<p>Субъекты федерации, агломерации, поселения</p>

нальной зависимости энергопотребления от изменения основных макроэкономических показателей (численность населения, ВВП и др.). Прогнозную область неопределенности изменения спроса на энергоносители очерчивают траектории, полученные на основе выявленных функциональных зависимостей с максимальными и минимальными коэффициентами взаимосвязи энергопотребления и основных макропоказателей предварительно сформированных сценариев развития экономики страны. Уточнение полученной прогнозной области осуществляется на основе исследования особенностей развития и энергопотребления в производственном и непроизводственном секторе экономики страны. Для исследования разработаны специальные имитационные модели секторов для страны в целом, основанные на использовании долгосрочных мировых тенденций изменения энергоемкости секторов. По результатам уточнения (при необходимости) первоначальная прогнозная область корректируется.

2. Временная стадия 15–20 лет. Решение задач этой временной перспективы способствует дальнейшему сужению прогнозной области. Для оценки влияния отраслевой структуры экономики на спрос на ТЭР производственный сектор рассматривается в отраслевом разрезе. Определяются возможные объемы производства продукции отраслей и перспективное изменение их энергоемкости. Для определения объемов валовой продукции отраслей используется межотраслевая имитационная модель, которая позволяет трансформировать макроэкономические показатели сформированных сценариев развития экономики в соответствующую им динамику отдельных отраслей промышленности, строительства, транспорта, сельского хозяйства. Энергоемкость каждой отрасли определяется отдельно с учетом энергоемкости существующих и новых мощностей. Для этого анализируется и обобщается мировой передовой опыт в области энергосбережения, энергоэффективности производственных процессов, применения новых технологических решений и технологий, а также технические и экономические предпосылки модернизации существующего оборудования и масштабы внедрения нового.

Оценка влияния уровня жизни населения и развития сферы услуг на объемы и структуру потребности в ТЭР осуществляется с использованием имитационной модели. Исходной информацией является соответствующая принятым сценариям экономики динамика численности населения, обеспеченности населения площадью жилых и общественных зданий и расхода энергии на один квадратный метр. Для определения последнего разработана специальная модель, в которой отражаются здания по году постройки, типу назначения, материалам стен, а также удельные нормы теплопотерь через ограждающие конструкции зданий, степень насыщенности населения и сферы услуг разными видами электроприборов, удельные расходы энергии на их функционирование и др. Важным отражением уровня жизни населения и развития сферы услуг является величина душевого энерго- и электропотребления. Этот показатель может использоваться для верификации полученных прогнозов на основе сравнения тенденций изменения душевого энергопотребления в непроизводственной сфере в нашей стране и в развитых странах мира.

Суммарный результат оценки потребности в ТЭР производственной и непроизводственной сферы сравнивается с прогнозной областью, последняя при необходимости корректируется.

Для исследования влияния территориальной структуры на величину прогнозной области используется имитационная модель, основанная на предположении о существовании одинаковых тенденций изменения энергоемкости ВВП (ВРП) и душевого энергопотребления в стране и регионах [14]. Разнесение прогноза по территории в производственной сфере осуществляется пропорционально предполагаемому изменению доли ВРП региона в ВВП страны, а в непроизводственной сфере — пропорционально изменению в численности населения. Полученные результаты анализируются, корректируются с учетом региональных особенностей, способных изменить общую тенденцию (динамика развития наиболее энергоемких производств в регионе, особенности регионального

развития непроемчивой сферы, транспорта и др.). Региональные особенности могут потребовать внесения поправок в прогноз на уровне страны.

3. Временная стадия до 15 лет. Задачи этого временного периода уточняют значения региональной потребности в ТЭР. Среди задач этой стадии: оценка влияния стоимости энергоносителей, масштабов энергосбережения и внедрения новых технологий на уровни и структуру потребности в энергоносителях, выбор вариантов энерго- и топливоснабжения потребителей в регионах и др.

Выбор вариантов энерго- топливо снабжения потребителей в регионе основывается на имитации поведения поставщиков (энергопроизводящие компании) и потребителей ТЭР (электростанции, котельные, промышленность, транспорт, домохозяйства и т.д.) в зависимости от технологической, социальной, ценовой, экономической политики в регионе и возможных ограничений на поставки энергоносителей. Результатом являются объемы использования конкурирующих видов энергоресурсов рассматриваемой группой потребителей при разных условиях энергоснабжения в регионе с учетом новых технологий, энергосберегающих мероприятий, стоимости ТЭР и т.д. Обобщение результатов дает возможность рассчитать суммарный объем потребления разных видов энергоносителей и оценить региональную перспективную ценовую эластичность спроса на отдельные виды ТЭР по основным группам потребителей и региону в целом [15].

К числу задач, решаемых на региональном уровне, принадлежат оценка надежности энергоснабжения территорий, возможности и масштабов развития распределенной генерации, влияния развития интеллектуальных систем. В первую очередь речь идет о появлении так называемых “активных” потребителей. Разработанный подход к оценке влияния поведения потребителей на спрос в региональной энергосистеме позволяет оценить максимально возможное снижение объемов использования электроэнергии в централизованной энергосистеме в ответ на изменение ее стоимости на основе оптимизации потребления активными потребителями (см. подробнее [16, 17]).

Решение каждой задачи этой временной стадии может вызвать необходимость корректировки как территориальной динамики потребности в ТЭР, так и по стране в целом. Значительное отклонение полученных значений от первоначально сформированной прогнозной области предполагает новую последовательность расчетов.

ИНСТРУМЕНТАРИЙ

Специфика разработанной методологии в виде последовательных исследований проблем на разных иерархических уровнях и решения отдельных задач различной степени сложности предполагает использование разных методов и моделей. Они выбираются из существующего в ИСЭМ СО РАН модельного стенда (набора) [18]. Он формировался на протяжении многих лет и включает: регрессионные, имитационные, балансовые, оптимизационные модели.

Для возникающих актуальных задач разрабатываются новые модели. Для выбора вариантов энерго- топливо снабжения потребителей в регионе и оценке ценовой эластичности на одной методической основе сформировано семейство моделей энергоснабжения крупных групп потребителей для отдельных регионов. Особенностью моделей является совместное использование метода оптимизации (для выбора рациональной структуры энергоснабжения потребителей) и метода Монте-Карло (для учета неопределенности будущих условий) с возможностью задания разного распределения вероятности (равномерное, нормальное, логнормальное, показательное и т.д.) в интервалах перспективных значений исходных данных [19]. Для оценки влияния поведения потребителей на спрос в региональной энергосистеме разработана многоагентная модель, в которой каждый потребитель представляет собой отдельного агента с описанием возможных сценариев его поведения для достижения собственных интересов [20].

Поскольку модели жестко не связаны между собой автоматизированными процедурами, то, в зависимости от исследуемой проблемы, каждая модель может решать как

свои специфические задачи, так и использоваться в разной комбинации с другими моделями. В этом случае результаты решения одной модели после обработки и анализа могут являться исходной информацией для других моделей. На каждой временной стадии для решения определенных задач из имеющегося набора выбирается свой набор моделей с разной степенью агрегирования факторов, взаимосвязей и территории. Это позволяет уменьшить используемый объем исходной информации, снизить затраты времени на поиск решения и привести в соответствие требуемую точность результатов с точностью используемых исходных данных.

Следует отметить, что в отечественной и зарубежной практике прогнозирования энергопотребления в большинстве случаев одни и те же методы и модели с одинаковой степенью детализации продуктов, объектов и связей используют для прогнозов как на перспективу 10–15, так и на 20 и более лет. При этом очевидно, что достоверность и состав имеющейся информации, а также требования к качеству прогнозов значительно отличаются для разных временных периодов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование долгосрочной динамики потребности в энергоносителях является необходимым и первоочередным этапом разработки политики, стратегии, программ и планов развития энергетики и экономики страны и регионов. Несмотря на наличие значительного количества разработанных подходов, объективная неоднозначность и изменчивость факторов, влияющих на масштабы и структуру спроса на ТЭР, заставляет постоянно совершенствовать методы его оценки. Отличительной чертой представленной методологии является итерационный характер корректировки результатов решения во временном и территориальном разрезе. Особенность методологии состоит в соответствии принципу соразмерности сложности и детализации применяемых методов и моделей на разных временных стадиях исследования качеству имеющихся исходных данных и точности получаемых результатов. Выделение и решение отдельных важных задач на разных временных стадиях исследования позволит улучшить качество прогнозов спроса на энергоносители, тем самым повысить обоснованность перспективных вариантов развития ТЭК и стратегических решений в области энергетической и экономической безопасности страны и регионов.

Статья включает результаты исследований, полученных при финансировании научного проекта 17.5.2 (рег. № АААА-А17-117030310452-7) фундаментальных исследований СО РАН, отдельные результаты получены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-010-00204.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bhattacharyya, Subhes C., Timilsina, Govinda R.* Energy Demand Models for Policy Formulation: A Comparative Study of Energy Demand Models (March 1, 2009). World Bank Policy Research Working Paper No. 4866, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1368072>
2. *Suganthi L., Anand A. Samuel.* Energy models for demand forecasting – A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2012. V. 16. P. 1223–1240.
3. Системные исследования проблем энергетики / Л.С. Беляев, Б.Г. Санеев, С.П. Филиппов и др., Под ред. Воропая Н.И. Новосибирск: Наука. Сибирская фирма РАН, 2000.
4. Методы и модели прогнозных взаимосвязей энергетики и экономики / Ю.Д. Кононов, Е.В. Гальперова, Д.Ю. Кононов и др. Новосибирск: Наука, 2009.
5. Системные исследования в энергетике: методология и результаты / Под ред. Макарова А.А. и Воропая Н.И. М.: ИНЭИ РАН, 2018.
6. *Макаров А.А.* Модельно-информационная система для исследования перспектив энергетического комплекса России (SCANER). Управление развитием крупномасштабных систем. М.: Физматлит, 2012.
7. Long range Energy Alternatives Planning (LEAP) System. [Электронный ресурс] Доступ: [https://openi.org/wiki/Long_range_Energy_Alternatives_Planning_\(LEAP\)_System](https://openi.org/wiki/Long_range_Energy_Alternatives_Planning_(LEAP)_System) (дата обращения: 3.03.2020).

8. POLES: Prospective Outlook on Long-term Energy Systems. [Электронный ресурс] Доступ: <https://www.enerdata.net/solutions/poles-model.html>. (дата обращения: 3.03.2020).
9. The National Energy Modeling System: An Overview 2018. U.S. Energy Information Administration. Washington, DC 20585. 75 p. [Электронный ресурс] Доступ: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/overview/pdf/0581\(2018\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/overview/pdf/0581(2018).pdf) (дата обращения: 03.02.2020).
10. Гальперова Е.В., Мазурова О.В. Долгосрочные тенденции электропотребления в экономике и ее основных секторах в России и мире // Энергетическая политика. 2014. № 1. С. 39–49.
11. Мазурова О.В., Гальперова Е.В. Долгосрочные тенденции энергопотребления в основных секторах экономики // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 11. С. 22–28. <https://doi.org/10.31857/S023336190003069-1>
12. Гальперова Е.В. Методический подход к долгосрочному прогнозированию рыночного спроса на топливо и энергию с учетом региональных особенностей и роста неопределенности // Изв. РАН. Энергетика. 2016. № 5. С. 33–44.
13. Кононов Ю.Д. Пути повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК. Новосибирск: Наука, 2015.
14. Гальперова Е.В. Особенности прогнозирования энергопотребления на региональном уровне // Изв. РАН. Энергетика. 2004. № 4. С. 61–66.
15. Мазурова О.В., Гальперова Е.В. Учет неопределенности экономических параметров при оценке рыночного спроса на энергоресурсы в регионе // Экономика региона. 2017. Т. 13. № 2. С. 465–476.
16. Гальперова Е.В., Гальперов В.И., Локтионов В.И., Макагонова Н.Н. Применение интеллектуальных методов для моделирования влияния новых факторов в развитии энергетики на спрос на электроэнергию // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 1(13). С. 16–29. <https://doi.org/10.25729/2413-0133-2019-1-02>
17. Гальперова Е.В., Гальперов В.И. Методический подход к исследованию влияния развития интеллектуальных систем энергетики на спрос и цену электроэнергии в регионе // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 1(17). С. 55–67. <https://doi.org/10.38028/ESI.2020.17.1.004>
18. Гальперова Е.В. Использование стелла моделей для долгосрочного прогнозирования рыночного спроса на энергоносители // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. № 4–2. С. 17–27.
19. Кононов Ю.Д., Тыртышный В.Н., Кононов Д.Ю. Использование стохастического моделирования при выборе вариантов энергоснабжения регионов с учетом инвестиционных рисков // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 2(10). С. 80–87. <https://doi.org/10.25729/2413-0133-2018-2-08>
20. Гальперова Е.В., Гальперов В.И. Моделирование поведения активного потребителя на основе агентного подхода // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2017. №4(8). С. 28–38.

**Methodology for Studying the Long-Term Dynamics of Demand for Energy Carriers
with a View to Improving the Validity of Energy Sector Development Prospects:
the Set of Tasks, Methods, and Models**

E. V. Galperova*

Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

**e-mail: galper@isem.irk.ru*

The paper details the methodology that backs up projection studies dealing with long-term dynamics of demand for energy carriers as designed to assess prospective options for the development of the energy sector. The methodology is unique in that it breaks down the projection time frame into segments, identifies priority tasks specific to each of them, and matches such tasks to the methods deemed most appropriate for solving them. The main advantage of the methodology is its compliance with the principle of matching complexity and detail of adopted methods and models to the quality of input data available at different projection time frame segments and acceptable accuracy of the results thus obtained. Since each task has its own methods tailored to it, the toolkit is built as a array (set) of different types of models. Depending on the problem, each model is capable of both solving its specific task and being employed in combination with others.

Keywords: energy resources, demand, uncertainty, forecasting, modeling, energy