

Для цитирования: Мазурова О. В., Гальперова Е. В. Учет неопределенности экономических параметров при оценке рыночного спроса на энергоресурсы в регионе // Экономика региона. — 2017. — Т. 13, вып. 2. — С. 465-476

doi 10.17059/2017-2-12

УДК 620.9:338

О. В. Мазурова, Е. В. Гальперова

Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (Иркутск, Российская Федерация;
e-mail: ol.mazurova@yandex.ru)

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ РЫНОЧНОГО СПРОСА НА ЭНЕРГОРЕСУРСЫ В РЕГИОНЕ¹

Статья посвящена прогнозным исследованиям зависимости спроса и цен на энергоресурсы в регионе в условиях усложнения взаимосвязей экономики и энергетики и роста неопределенности будущего развития страны и территорий. Авторами предложен методический подход, особенностью которого является совмещение оценки ценовой эластичности спроса на энергоносители с оптимизацией энерго- и топливоснабжения региона. При этом ценовая эластичность спроса определяется с учетом сравнения экономической эффективности использования разных видов топлива и энергии у отдельных потребителей. Оригинальность предлагаемого подхода состоит в имитации поведения поставщиков (энергетических компаний) и крупных потребителей (электростанции, котельные, промышленность, транспорт, население) в зависимости от изменения цен на энергоресурсы, возможных существующих и новых технологий, энергосберегающих мероприятий, ограничений на поставки топлива и энергии в регион и др. Для учета неопределенности будущих условий развития экономики и энергетики перспективные технико-экономические, ценовые, технологические и др. исходные показатели задаются в виде интервалов их возможных значений с разной степенью вероятности их реализации в этих интервалах, что позволяет проводить многовариантные исследования с различными сочетаниями предполагаемых условий и получать результаты в виде диапазона прогнозных значений исследуемых показателей. Результаты многовариантных расчетов демонстрируют нелинейную зависимость спроса на топливо от особенностей потребителей, ценовой политики, горизонта прогнозирования и характера неопределенности будущих условий. Показано, что это влияние может быть существенным и должно учитываться в прогнозных исследованиях вариантов развития топливно-энергетического комплекса. Методический подход и количественные оценки могут быть использованы для повышения обоснованности программ и стратегий развития энергетики и экономики страны и регионов.

Ключевые слова: прогнозирование, неопределенность, энергоресурсы, цены, конкурентоспособность, регионы России, региональные рынки, спрос, топливно-энергетический комплекс, эластичность, макрорегион

Введение

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) играет особую роль в обеспечении экономики и населения страны и ее регионов топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Оценка будущей потребности в ТЭР является составной частью стратегий, программ развития энергетики и экономики страны и регионов и необходима для принятия инвестиционных решений в ТЭК.

Долгосрочное прогнозирование затрудняется неоднозначностью будущих условий развития экономики и энергетики (таких, например, как изменение ресурсного потенциала,

экспортной политики, направлений научно-технического прогресса и др.), растущей с увеличением протяженности рассматриваемой перспективы и усложнением ценовых и производственных взаимосвязей экономики и ТЭК. Все большую актуальность приобретают прогнозные исследования, связанные с тенденцией усиления влияния ценового фактора и роста неопределенности конъюнктуры на региональных энергетических рынках.

Для учета неопределенности будущих условий при прогнозировании в нашей стране обычно рассматривается три-четыре сценария² развития экономики и энергетики, в то

¹ © Мазурова О. В., Гальперова Е. В. Текст. 2017.

² Министерство энергетики РФ. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 г. с учетом пер-

время как в мировой практике используется множество сценариев с проведением многовариантных расчетов для оценки влияния различных факторов¹ [1, 2]. Для этого, как правило, используются детерминированные оптимизационные модели, которые не позволяют учесть корреляцию между важными прогнозными показателями (в частности, спросом и ценами), а также характер неопределенности исходных данных. Согласно [3,4], преодоление этой проблемы возможно при совместном использовании методов оптимизации и Монте-Карло в одной модели.

Дополнительные трудности в прогнозных исследованиях возникают в случае необходимости агрегирования и дезагрегирования прогнозов страны и регионов. Регионы различаются не только по климатическим условиям, численности населения и площади территорий, каждый из них имеет свои особенности, связанные с неоднородностью сложившейся отраслевой структуры экономики, неравномерностью будущего развития, обеспеченностью энергоресурсами и пр. Отметим, что понятие «регион» довольно многозначное [5, 6]. Это может быть субъект федерации, федеральный округ, их объединение в макрорегион. Более того, регионы могут группироваться в зависимости от круга решаемых задач.

Сложные и меняющиеся взаимосвязи энергетики и экономики заставляют постоянно совершенствовать методы их моделирования и исследования [7–10]. В настоящее время нет удовлетворительных результатов в прогнозировании спроса на энергоносители в регионе с учетом влияния факторов, обусловленных рыночными механизмами его формирования. Новые вызовы времени требуют учета усиления роли ценового фактора, отношений производителей и потребителей энергии, роста не-

спективы до 2030 г. [Электронный ресурс] / Министерство энергетики РФ. URL: <http://www.minenergo.gov.ru> (дата обращения: 20.11.2015); Энергетическая стратегия России на период до 2020 года, Москва, 2003 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energystrategy.ru/projects/es-2020.htm> (дата обращения: 28.03.2016); Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. №1715 [Электронный ресурс] URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 28.03.2016).

¹ Annual Energy Outlook 2017 / U. S. Energy Information Administration [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/> (дата обращения: 20.02.2017); International Energy Outlook 2016 / U. S. Energy Information Administration [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/> (дата обращения: 22.02.2017).

предельности прогнозов конъюнктуры на региональных энергетических рынках.

Целью данного исследования является оценка влияния изменения экономических параметров (цен на энергоресурсы, конкуренции энергоносителей, эффективности технологий использования энергоресурсов и др.) на изменение спроса на некоторые виды топлива для разных групп потребителей в макрорегионах страны с учетом неоднозначности исходной информации.

В данной работе решаемая задача формулируется следующим образом: определить наиболее эффективный с точки зрения рассматриваемых потребителей вариант энергоснабжения для заданного спроса на их продукцию (например, объемов производства цемента) в зависимости от масштабов и характера неопределенности будущих условий и региональных особенностей. Несмотря на то что в таких задачах известны только прогнозные параметры будущих технологий, ожидаемая динамика цен на конкурирующие ТЭР, возможности замещения энергоносителей, важность перспективных количественных оценок обозначена, в частности, в материалах, обосновывающих новую Энергетическую стратегию России до 2035 г.² На стадии ее разработки требуется оптимизировать спрос на энергоносители на региональном и общероссийском уровнях в зависимости от изменения ценовой политики, новых технологий производства и потребления, экологического и других факторов.

Методы и модели для прогнозных исследований взаимосвязей экономики и энергетики в России и за рубежом

Исследованиям взаимосвязей энергетики и экономики в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание. Важную роль в этих исследованиях долгое время играли модели межотраслевого баланса, в которых коэффициенты межотраслевых связей представлялись в виде неоклассической производственной функции. Одной из наиболее известных моделей этого типа является INFORUM [11]. Недостаток этих моделей — отсутствие ценовых взаимодействий.

Для оценки влияния ценовых и других изменений в энергетике на макроэкономические показатели используются модели, основан-

² Министерство энергетики РФ. Энергетическая стратегия России на период до 2035. Основные положения / Министерство энергетики РФ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.energystrategy.ru/projects/docs/OP_ES-2035.doc (дата обращения: 4.02.2016).

ные на принципах общего равновесия [12,13]. Наиболее сложной и интересной моделью, учитывающей взаимосвязи между производством и потреблением энергоресурсов, является PAES [14].

По мере расширения состава задач и усложнения рассматриваемых энергетических проблем проявляется тенденция к объединению экономических и энергетических моделей в один вычислительный комплекс. В ряде европейских стран и США разрабатываются сложные модельно-компьютерные комплексы. К числу наиболее известных относятся MARKAL [15], MESSAGE [16], NEMS [17], PRIMES [18], MESAP [19]. Такие модельные комплексы позволяют не только формировать энергетические балансы по видам энергоносителей и секторам экономики, но и оптимизировать системы топливо- и теплоснабжения, оценивать экологические проблемы, определять объемы и эффективность инвестиций, цены на энергоносители, анализировать прямые и обратные связи между энергетической системой и экономикой.

За рубежом пристальное внимание уделяется способам оценки и учету взаимосвязей спроса и цен. В функциях спроса на энергию часто используется коэффициент эластичности спроса по цене [20, 21], определяющий, как изменится спрос на тот или иной энергоноситель при изменении его цены на 1 %.

Можно выделить несколько поколений моделей для оценки ценовой эластичности спроса. Первое поколение моделей базировалось на использовании традиционных функций спроса (см., например, [22]), а следующее за ним — на принципах общего равновесия. Последнее учитывало влияние множество факторов при изменении цены на энергию, что позволило оценивать перекрестную эластичность спроса (cross elasticity), то есть влияние стоимости других энергоносителей (см., например, [23]). В дальнейшем появились межотраслевые модели и более сложные экономико-энергетические комплексы, позволяющие исследовать прямые и косвенные эффекты от изменения цен на энергоресурсы (см., например, [24, 25]).

Анализ зарубежных количественных оценок коэффициентов ценовой эластичности спроса на энергоносители, приведенный в работе [27], показывает их нестабильность во времени и сильную зависимость от конкретных условий, специфики развития энергетики и экономики разных стран.

В российской практике используются методы и модели для прогнозных исследований

взаимного влияния экономики и ТЭК, отличающиеся целевой направленностью. В Институте энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН) разработана система методов и средств исследования взаимосвязей экономики страны и ее энергетического сектора [8, 28]. Макроэкономическая оптимизационная модель энергетики в экономике МЭНЭК, входящая в состав модельно-компьютерного комплекса, является основным инструментом для исследования влияния внешних и внутренних цен на энергоносители и инвестиционной политики в отраслях ТЭК на перспективы развития экономики России, прогнозирования спроса на топливо и энергию и других задач.

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) создан комплекс (стенд) моделей МЭСТЭК, предназначенный для анализа вариантов долгосрочного развития ТЭК, выявления и оценки стратегических угроз, рыночного спроса на энергоносители и других задач. МЭСТЭК позволяет учесть сложные взаимосвязи энергетики и экономики, возрастающее влияние на них ценового фактора, рост неопределенности внешних и внутренних условий развития ТЭК, вероятную конъюнктуру на региональных энергетических рынках [7].

В нашей стране еще недостаточное внимание уделяется оценке ценовой эластичности спроса на энергоресурсы [20, 29–32]. Одна из первых работ была выполнена с использованием традиционных функций спроса для оценки коэффициентов краткосрочной ценовой эластичности спроса на электрическую энергию для разных отраслей экономики [29]. В [31, 32] использовался метод регрессионного анализа статистических рядов отчетных данных для оценки долгосрочной ценовой эластичности спроса на электроэнергию.

Следует отметить, что при прогнозных исследованиях спроса не целесообразно использовать коэффициенты эластичности, рассчитанные на основе отчетных ретроспективных данных, поскольку они не отражают будущих условий развития экономики и энергетики. Одним из новых направлений в прогнозировании коэффициентов ценовой эластичности спроса является использование оптимизационных моделей, в которых сравнивается экономическая эффективность применения разных энергоносителей у отдельных потребителей (см., например, [33]).

С развитием рыночных отношений в России усложняется проблема моделирования взаи-

мосвязей экономики и энергетики, возрастает важность учета ценового фактора. В отечественных исследованиях долгое время учитывались только односторонние связи динамики энергопотребления с отдельными макроэкономическими показателями: индексом промышленного производства, ростом населения и др. При этом не рассматривалось обратное влияние стоимости энергоносителей на макроэкономические показатели и через них — на показатели энергопотребления.

На современном этапе одной из ключевых методологических проблем прогнозирования выступает проблема роста неопределенности перспективных условий. Как показывает международный опыт прогнозных исследований, основным способом решения этой проблемы становится увеличение количества используемых сценариев с проведением многовариантных расчетов. Вместе с тем, важно выделять отдельные задачи, требующие особого внимания к объективной неоднозначности используемых исходных данных. Такой методический инструментарий для прогнозных исследований конъюнктуры на региональных энергетических рынках (цен и спроса) в условиях роста неопределенности развивается в ИСЭМ СО РАН [34, 35].

Методический подход для прогнозных исследований рыночного спроса на энергоносители в регионе в условиях неопределенности

Разработанный методический подход позволяет проводить прогнозные исследования рыночного спроса на энергоносители в тесной взаимосвязи с развитием экономики, энергетики и ценообразованием в ТЭК в условиях растущей неопределенности энергоснабжения регионов (рис. 1). Он основан на исследовании чувствительности вариантов энергоснабжения рассматриваемой группы потребителей к разной комбинации возможных внешних условий с учетом их характера неопределенности и на поиске наиболее устойчивых решений. Оригинальность методики исследования состоит в моделировании возможного поведения поставщиков энергетических ресурсов и крупных потребителей в рассматриваемой перспективе в зависимости от изменения цен на энергоресурсы, используемых новых и существующих технологий, энергосберегающих мероприятий и других факторов. Изменение и различные сочетания этих факторов влияют на финансовые показатели производителей и потребителей ТЭР, формируют объемы произ-

водства энергоносителей и определяют платежеспособный спрос на региональных энергетических рынках.

Новизной методического подхода является совмещение оптимизации энергоснабжения региона с оценкой ценовой эластичности спроса на топливо в неоднозначных прогнозных условиях развития рассматриваемой территории. Ценовая эластичность спроса на топливо и энергию для разных групп потребителей (электростанции, котельные, промышленные и бытовые установки, транспорт) определяется на основе конкуренции энергоносителей и эффективности технологий производства продукции, то есть с учетом технологических, экологических и других потребительских свойств, обеспечивающих дополнительные преимущества отдельным энергоносителям.

Данный подход реализован в моделях энергоснабжения отдельных групп потребителей МИСС¹, входящих в комплекс моделей МЭСТЭК [7, с. 27–33]. В моделях энергоснабжения применяется метод оптимизации вместе с методом Монте-Карло. Метод оптимизации используется для выбора рациональной структуры энергоснабжения и позволяет определить наиболее эффективный вариант энергоснабжения данной группы потребителей для удовлетворения заданного спроса на ее продукцию в регионе в принятых перспективных условиях.

Заданная интервально потребность в производимой потребителем энергоресурсов продукции должна быть удовлетворена наиболее эффективным способом на основе конкуренции разных видов топлива и энергии и возможных технологий производства продукции. Критерием является минимум средней цены произведенной продукции при условии, что цены строятся на принципах самофинансирования:

$$F = \sum_i \sum_e R_{eij} X_{eij} \rightarrow \min,$$

где X_{eij} — производство продукции i с использованием топлива e , на установке j (искомая переменная), $R_{eij} = \sigma_1(c_{ei} b_{eij} + u_{eij}) + \sigma_2 \sigma k_{ei} / h_{eij}$ — цена продукции i , произведенной на энергоносителе (топливе) e , руб./единицу продукции на установке j ; c_{ei} — цена топлива e , поставляемого потребителю i , руб/т у. т.; b_{eij} — удельный расход топлива e на производство продукции i на установке j , т у. т. / единицу продукции; k_{eij} — удельные капиталовложения на

¹ Модель имитационная стохастическая статическая (МИСС).

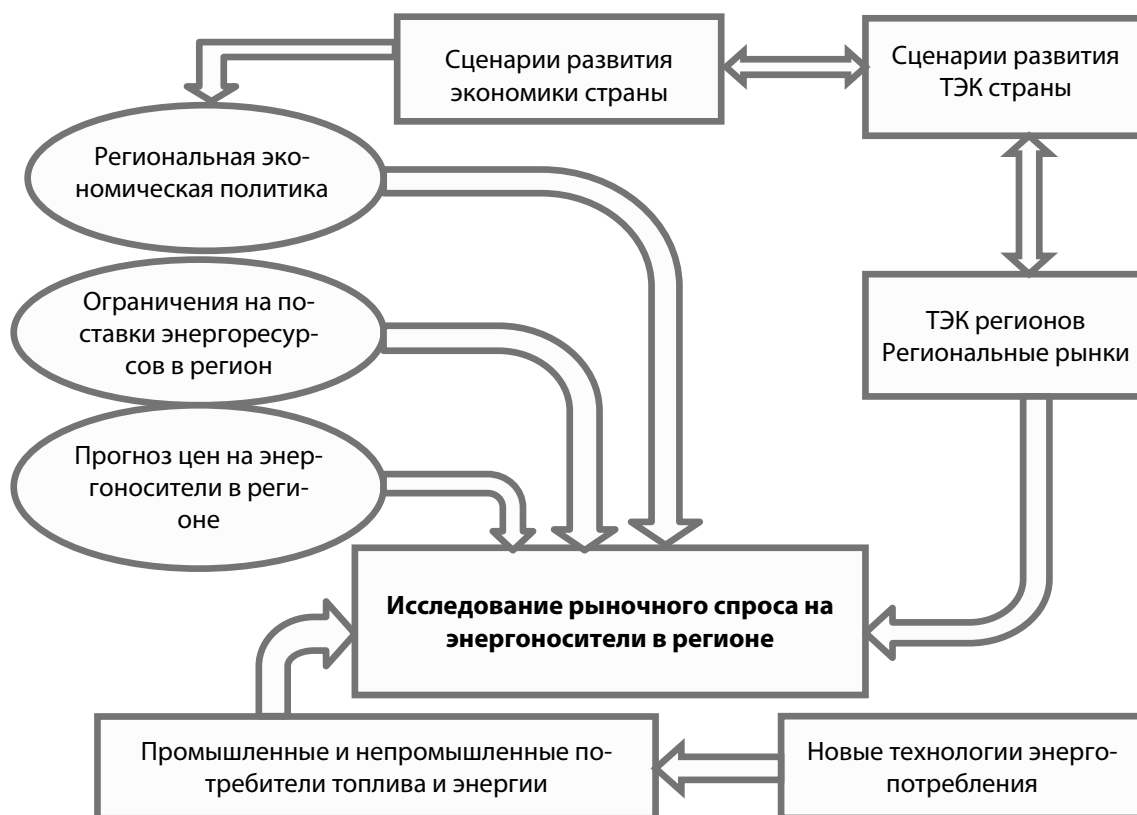


Рис. 1. Факторы и взаимосвязи, влияющие на оценку рыночного спроса на энергоносители в регионе

прирост мощности на производство продукции i на топливе e на установке j , руб/ед. мощности; u_{eij} — условно-постоянная часть себестоимости продукции i (без топливной составляющей) производимой с использованием топлива e на установке j , руб/ед. продукции; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma$ — коэффициенты корректировки себестоимости, эффективности капиталовложений, дисконтирования.

Важным является формирование исходных технико-экономических, ценовых показателей и ограничений на них в виде интервалов их перспективных значений с возможностью задания разного характера распределения вероятности внутри этих интервалов неопределенности в соответствии с представлениями об условиях развития регионов. Характер распределения вероятности оценивается и задается экспертно (то есть равномерное, нормальное, логнормальное, показательное и т. д.). Интервальная неопределенность показателя определяется заданным интервалом его возможных значений от минимума до максимума без вероятностных характеристик их будущих значений [35, 36].

Метод Монте-Карло позволяет учесть неопределенность будущих условий и формировать множество вариантов для оптимизации энергоснабжения потребителей в регионе.

Процесс имитационного исследования включает следующие основные этапы:

1. *Разработка сценариев (вариантов) энергоснабжения региона.* Формулируются цели исследования, например, оценка влияния ценовой политики и учет ограничений на поставки отдельных энергоресурсов в регион на объемы и структуру потребления ТЭР и т. п. Определяется период прогнозирования от 5 до 15 лет, при этом базовым годом, как правило, является последний доступный отчетный год. Формируются крупные группы потребителей энергоресурсов в регионе (электростанции, котельные, промышленность, транспорт и т. д.) и набор существующих и перспективных технологий производства их продукции. Учитывается возможность замещения традиционных энергоносителей (газ, мазут, уголь, электроэнергия) альтернативными. Оценивается потребность региона в продукции выбранных групп потребителей, которая должна быть удовлетворена наиболее эффективным способом топливо- и энергоснабжения. На данном этапе выбираются предпочтительные варианты энергоснабжения региона с оценкой экспорта и импорта продукции и возможных ограничений.

2. *Выбор исходных показателей и определение диапазонов их возможных значений.* На втором

этапе формируются основные технико-экономические показатели (прогноз цен на топливо и энергию, удельные капиталовложения, параметры изменения технологий и др.) и диапазоны их возможных значений (от минимального до максимального) для разных сценариев, а также характер распределения их вероятных значений внутри заданных диапазонов. Для определения нижней границы диапазона проводится статистический анализ существующего состояния экономики и энергопотребления (структура производства и потребления промышленной продукции, технологические особенности потребителей, обеспеченность региона собственными энергоресурсами и др.). Установление верхней границы диапазона исходных величин осуществляется на основе анализа перспективной региональной экономической политики: долгосрочных программ социально-экономического развития регионов, стратегий инновационного и научно-технологического развития, прогнозов развития ТЭК, перспективных схем региональных энергетических систем и межрегиональных энергетических связей, будущей динамики цен на энергоносители и т. п. Экспертным методом определяется характер распределения вероятности технико-экономических показателей. Величина интервала неопределенности и характер распределения вероятности зависят от достоверности используемой информации, заданной перспективы и могут отличаться по регионам. Сформированные таким образом диапазоны требуемых показателей являются исходными данными для расчетов на моделях МИСС.

3. *Проведение расчетов на основе модельного эксперимента.* В соответствии с идеологией метода Монте-Карло проводится серия из нескольких сотен модельных экспериментов с разной комбинацией исходных данных, имитирующей поведение рассматриваемого потребителя. В каждом эксперименте формируется возможный набор показателей и условий с их вероятностными характеристиками и корреляцией между переменными в модели. Из множества полученных таким образом оптимальных решений автоматически отбираются наиболее устойчивые к изменению условий (цен, спроса, технологий и др.), и на их основе формируется основной вариант, обеспечивающий минимальную цену производимой продукции потребителя в рассматриваемых условиях.

4. *Обработка и анализ полученных результатов.* На последнем этапе результаты имитаци-

онных расчетов (прогнозы спроса на природный газ, уголь, мазут, электроэнергию, мощностей новых установок на разных видах ТЭР) агрегируются и строятся зависимости искомым показателей от изменения условий энергоснабжения. Основным результатом исследования является оценка ценовой эластичности спроса на энергоресурсы для разных потребителей в условиях неопределенности. Обобщение проведенных расчетов позволяет определить суммарный спрос на отдельные виды топлива и энергии, оценить перспективную ценовую эластичность спроса для данного региона, а при необходимости — скорректировать динамику потребности в энергоресурсах страны (например, при исследовании вариантов долгосрочного развития ТЭК в зависимости от изменения ценовой политики).

Результаты исследования

Ниже представлена количественная оценка влияния характера неопределенности исходных данных на изменение спроса на природный газ у отдельных промышленных потребителей в регионах (на примере котельных установок и цементной отрасли) на перспективу 2025–2030 гг. Значимость подобного рода оценок особенно важна для восточных регионов страны в связи с реализацией государственных программ ускоренного развития этих регионов и их газификацией¹.

В проведенных расчетах рассматривались крупные макрорегионы страны — Европейская часть, Урал, Восточная Сибирь и Дальний Восток. Интервальные значения технико-экономических показателей (исходных данных) принимались на основе перспективных оценок вариантов развития и топливоснабжения этих макрорегионов, а возможные диапазоны цен на конкурирующие виды топлива и энергии — из прогнозов цен, представленных в [21, с.148–151, 157].

Предполагалось, что в цементной промышленности прирост мощностей будет осуществляться на новых технологиях производства

¹ Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года. Утв. Правительством РФ. 28 дек. 2009 г. № 2094-р [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/info/12092/> (дата обращения 28.03.2016). Программа создания в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке единой системы добычи, транспортировки газа и газоснабжения с учетом возможного экспорта газа на рынки Китая и других стран АТР. Утв. Правительством РФ. 2007 г. № 340 / Министерство промышленности и энергетики РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/east-program/> (дата обращения 28.03.2016).

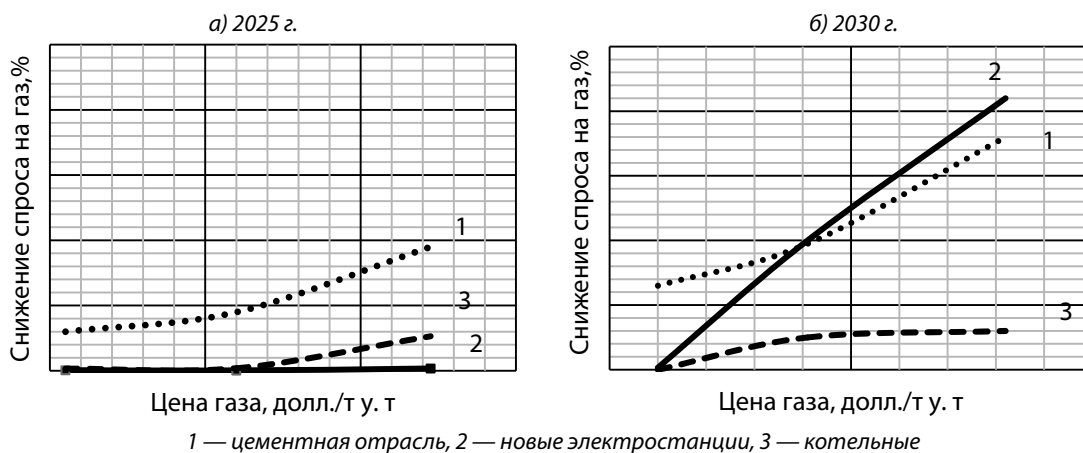


Рис. 2. Возможное снижение спроса на газ некоторыми промышленными потребителями при принятом ценовом диапазоне для ожидаемых условий развития Европейской части страны (источники: [19] и расчеты авторов)

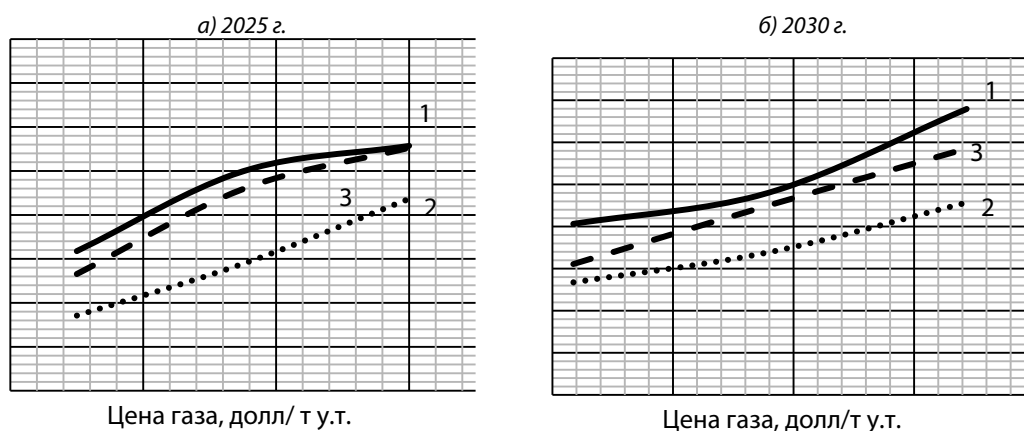


Рис. 3. Возможное изменение средней стоимости производства цемента в зависимости от изменения цены газа и характера неопределенности исходных данных для ожидаемых условий развития южной части Дальнего Востока, % (источник: расчеты авторов)

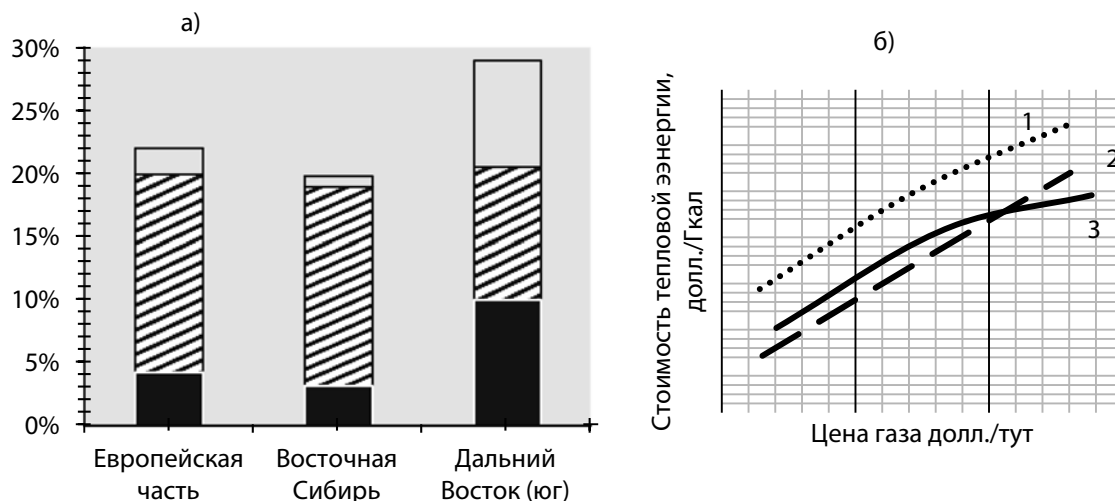
цемента сухим или комбинированным (полусухим) способами. Сравнивались действующие и перспективные типы котельных установок с разными технико-экономическими показателями и эффективностью использования конкурирующих видов топлива и электроэнергии. Учитывался характер вероятностного распределения значений этих показателей внутри заданных диапазонов: интервальная или полная неопределенность (равновероятное распределение), нормальное распределение, детерминированное (однозначное) задание. Ограничения на поставки топлива в макрорегионы не накладывались.

Проведенное исследование показало, что изменение спроса на топливо в условиях неоднозначности ожидаемых условий зависит от особенностей потребителей и рассматриваемой перспективы (рис. 2). Например, в Европейской части страны цементная отрасль в сравнении с другими производственными потребителями сильнее реагирует на повыше-

ние цены газа в краткосрочной перспективе (рис. 2а), однако с увеличением горизонта прогнозирования ситуация меняется в пользу других потребителей топлива (рис. 2б).

Неопределенность в объемах и видах используемого топлива обуславливает возможный диапазон изменения стоимости производства продукции, которая может существенно отличаться при разном распределении вероятности исходных данных и зависеть от рассматриваемого периода. На рисунке 3 показано, что стоимость производства цемента на Дальнем Востоке в этом случае может различаться на 10–20 %.

На котельных установках с ростом цены газа в исходном диапазоне его значений спрос на него снижается от 4–10 % при детерминированном задании исходной информации до 20–30 % в условиях полной неопределенности (рис. 4а). При этом величина этих изменений различается по макрорегионам. Из представленных территорий больше всех реаги-



1 — равномерное распределение вероятности, 2 — нормальное распределение вероятности, 3 — детерминированное (однозначное) задание

Рис. 4. Изменение спроса на природный газ на новых котельных установках в отдельных макрорегионах России (а) и стоимости производства тепловой энергии в Восточной Сибири (б) в зависимости от изменения цены газа и характера неопределенности исходных данных для условий 2025–2030 гг. (источник: расчеты авторов)

рует южная часть Дальнего Востока с наибольшим диапазоном прогнозных значений цен на топливо. Снижение спроса на газ свидетельствует об изменении структуры топливоснабжения котельных в сторону увеличения эффективности использования угля для удовлетворения заданной потребности в тепловой энергии. Неопределенность в объемах и видах используемого топлива на котельных обуславливает возможный диапазон изменения прогнозной стоимости производства тепловой энергии, которая может отличаться на 7–10 % при разном распределении вероятности в принятых вариантах топливоснабжения Восточной Сибири (рис. 4б).

Важным итогом расчетов на моделях МИСС является оценка долгосрочной региональной ценовой эластичности суммарного спроса на природный газ в предполагаемых условиях (таб.).

Расчетная ценовая эластичность суммарного спроса на газ зависит от характера неопределенности используемой информации, различается по регионам и возрастает по мере увеличения горизонта прогнозирования. Спрос на газ на Урале и в Европейской части менее эластичен по сравнению с восточными регионами страны. Это обусловлено отличиями в пространственной структуре экономики (существующей и перспективной) и разными прогнозными условиями конкуренции энергоносителей на региональных рынках. Высокая эластичность спроса на газ в Восточной Сибири объясняется, в первую очередь, наличием больших запасов дешевых углей, высокой прогнозной ценой на газ, а также значительной неоднозначностью возможности реализации крупных инвестиционных проектов в газохимии.

Таблица

Прогноз региональной ценовой эластичности спроса на природный газ с учетом характера неопределенности исходных данных*

| Регион | 2025 г. | | 2030 г. | |
|---------------------|--------------------------|--|--------------------------|--|
| | Нормальное распределение | Интервальная (полная) неопределенность | Нормальное распределение | Интервальная (полная) неопределенность |
| Европейская часть | -0,04 | -0,10 | -0,50 | -0,61 |
| Урал | -0,12 | -0,18 | -0,31 | -0,44 |
| Западная Сибирь | -0,47 | -0,48 | -0,48 | -0,60 |
| Восточная Сибирь | -1,26 | -1,29 | -1,25 | -1,28 |
| Дальний Восток (юг) | -0,74 | -0,78 | -0,74 | -0,88 |

Источник: расчеты авторов.

* Суммарный перспективный спрос на газ в регионах определялся по основным группам потребителей (включая электростанции [37]) и в предположении о сохранении структуры потребления газа в регионе на уровне 2013 г. (структура рассчитана по данным Росстат, форма 11-ТЭР за 2013 г.).

Заключение

Развитие рыночных отношений в экономике и энергетике России и ее регионов изменяет и усложняет их взаимосвязи и увеличивают неоднозначность перспективных оценок спроса на топливо и энергию. Прогнозные исследования продемонстрировали значительное влияние роста неоднозначности экономических параметров при оценке рыночного спроса на топливо в регионах. Результаты экспериментальных расчетов, в частности, показали нелинейную зависимость спроса на природный газ от изменения цен, региональных особенностей, горизонта прогнозирования и

характера неопределенности будущих условий. Полученные количественные оценки, несмотря на определенную условность, способствуют более глубокому пониманию взаимосвязей цен и спроса в неоднозначных условиях энергоснабжения регионов. Они дают основу для дальнейшего совершенствования методического подхода к прогнозированию конъюнктуры на региональных энергетических рынках и способствуют повышению качества и обоснованности долгосрочных прогнозов развития топливно-энергетического комплекса страны и регионов.

Благодарность

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-06-00230-а, 17-06-00102-а).

Список источников

1. Voss A. MESAP-III. A Tool for Energy Planning and Environmental Management: History and New Developments [Electronic resource]. URL: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2013/8529/pdf/vos280.pdf>. (date of access: 16.02.2015).
2. Wade S. Price. Responsiveness in the AEO2003 NEMS Residential and Commercial Buildings Sector Models [Electronic resource]. URL: <http://www.eia.gov/oiaf/analysispaper/elasticity/> (date of access: 11.12.2015).
3. Кононов Ю. Д. Поэтапный подход к повышению обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК и к оценке стратегических угроз // Известия РАН. Энергетика. — 2014. — № 2. — С. 61–69.
4. Кононов Ю. Д. Пути повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК. — Новосибирск: Наука, 2015. — 147 с.
5. Протасов А. С. Соотношение понятий «регион» и «региональная экономика» с позиций системного подхода // Вестник Челябинского университета. — 2009. — № 1. — С. 53–56. — (139. Экономика)
6. Севек В. К. Чульдун А. Э. Понятия «регион» и «региональная социально-экономическая система» // Региональная экономика. Теория и практика. — 2012. — № 26. — С. 10–14.
7. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики / Кононов Ю. Д., Гальперова Е. В., Мазурова О. В. и др. — Новосибирск: Наука, 2009. — 178 с.
8. Институту энергетических исследований РАН — 25 лет / Под редакцией А.А. Макарова. — М.: ИНЭИ РАН, 2010. — 160 с.
9. Инструментальные средства для количественного исследования взаимосвязей энергетики и экономики / Макаров В. А., Шапот Д. В. и др. // Экономика и математические методы. — 2002. — № 1. — С. 45–56.
10. Методы и модели разработки региональных энергетических программ / Санеев Б. Г., Соколов А. Д. и др. — Новосибирск: Наука, 2003. — 140 с.
11. Almon C. The INFORUM Approach to Interindustry Modeling // Economic Systems Research, 1991. — Vol. 3. — No 1. — P. 1–7.
12. West G. Comparison of Input-Output, Input-Output + Econometric and Computable General Equilibrium Impact Models at the Regional Level // Economic Systems Research, 1995. — No 7. — P. 209–227.
13. Hudson E. A., Jorgenson D. W. U.S. Energy Policy and Economic Growth // Economics, 1974. — Vol. 5. — No 2. — P. 461–514.
14. Hogan W. W. Project Independence Evaluation System: Structure and Algorithms // Proceedings of Symposia in Applied Mathematics of the American Mathematical Society. Providence: American mathematical society, 1977. — Vol. 21. — P. 121–137.
15. Bhattacharyya S., Timilsina C. R. A Review of Energy System Models // International Journal of Energy Sector Management, 2010. — Vol. 4. — No. 4. — P. 512–513. DOI: 10.1108/17506221011092742.
16. Messner S. User's Guide for the Matrix Generator of Message II. Parts I and II: Model Description and Implementation Guide, and Appendices / International Institute for Applied System Analyses. Working Paper WP-84-71. — 1984. — 186 p.
17. The National Energy Modeling Systems: An Overview. Energy Information Administration. — Washington, Dc. — 2009. — 77 p. [Electronic resource]. URL: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/nems/overview/pdf/0581%282009%29.pdf> (date of access: 5.05.2016).
18. Mantzos L. The PRIMES. Version 2. Energy System Model: Design and features / Economics, Energy and Environment, 1999. — Vol. 5. — P. 155–200.

19. Voss A., Schlenzig Ch., Reuter A. MESAP-III: A Tool for Energy Planning and Environmental Management. Overview brochure, University of Stuttgart, 1994. — № 5. — С. 155–200.
20. Мазурова О. В. Оценка ценовой эластичности спроса на моторное топливо в транспортном комплексе // *Пространственная экономика*. — 2015. — № 1. — С. 109–122. DOI 10.14530/se.2015.1.109–122.
21. Обоснование развития электроэнергетических систем. Методология, модели, методы, их использование / Н. И. Воропай, С. В. Подковальников и др. — Новосибирск: Наука, 2015. — 448 с.
22. Welsch H. The Reliability of Aggregate Energy Demand Functions // *Energy Economics*, 1989. — Vol. 11. — No. 4. — P. 285–292. DOI: 10.1016/0140–9883(89)90044–3.
23. Kim B. C., Labys W. C. Application of translog model of energy substitution to developing countries // *Energy Economics*, 1988. — Vol. 10. — No. 4. — P. 313–323.
24. Yi F. Dynamic energy-demand models: a comparison // *Energy Economics*, 2000. — Vol. 22. — No 2. — P. 285–297.
25. Mahmud S. The energy demand in the manufacturing sector in Pakistan: some further results // *Energy Economics*, 2000. — Vol. 22. — No. 6. — P. 641–648.
26. Longva S. O. Olsen and S. Strom. Total elasticity of energy demand analyses within a general equilibrium model // *Energy Economics*, 1988. — Vol.10. — No 4. — P. 298–308.
27. Башмаков И. Опыт оценки параметров ценовой эластичности спроса на энергию [Электронный ресурс] URL: http://www.cenef.ru/art_11212_119_node2.html (дата обращения: 15.03.2014).
28. Филиппов С. П. Прогнозирование энергопотребления с использованием комплекса адаптивных имитационных моделей // *Известия РАН*. — 2010. — № 4. — С. 41–55. — (Энергетика)
29. Башмаков И. Оценка параметров ценовой эластичности спроса на электроэнергию по отдельным группам потребителей и по субъектам РФ. Т. 1. — М.: ЦЕНЭФ, 2007. — 82 с.
30. Узяков М. Н. Влияние цен на энергетические ресурсы и на динамику экономики России // *Регионы и федерация. Вопросы регулирования ТЭК*. — 2004. — № 1. — С. 14–21.
31. Мишура А. В. Оценка эластичности спроса на электроэнергию основных групп производственных потребителей в России // *Регион. Экономика и социология*. — 2009. — № 2. — С. 110–124.
32. Мишура А. В. Оценка эластичности спроса на электроэнергию со стороны населения России // *Вестник НГУ*. — 2011. — Т. 11. — Вып. 2. — С. 92–101. — (Социально-экономические науки).
33. Ellis J. The Effects of fossil fuel subsidy reforms: a review of modeling and empirical studies / International Institute for Sustainable Development. March 2010. — 48 p. [Electronic resource]. URL: http://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/effects_ffs.pdf. (date of access: 7.04.2016).
34. Гальперова Е. В., Кононов Ю. Д., Мазурова О. В. Прогнозирование спроса на энергоносители в регионе с учетом их стоимости // *Регион. Экономика и социология*. — 2008. — № 3. — С. 207 — 219.
35. Гальперова Е. В., Кононов Д. Ю., Тыртышный В. Н. Комплекс моделей для долгосрочного прогнозирования конъюнктуры региональных энергетических рынков // *Информационные и математические технологии в науке и управлении. XIX Байкальская Всерос. конф., Иркутск. Россия. 28 июня — 7 июля 2014 г. Ч. I*. — С. 14–21.
36. Локтионов В. И. Оценка эффективности инвестиционных проектов в энергетике с учетом предельных цен на энергоносители // *Экономический анализ. Теория и практика*. — 2014. — № 33 (384). — С. 17–22.
37. Гальперова Е. В., Кононов Д. Ю., Мазурова О. В. Оценка конкурентоспособности вариантов энергоснабжения крупных потребителей в условиях неопределенности // *Энергетическая политика*. — 2015. — № 2. — С. 37–45.

Информация об авторах

Мазурова Ольга Васильевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (Российская Федерация, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, 342; e-mail: ol.mazurova@yandex.ru).

Гальперова Елена Васильевна — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (Российская Федерация, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, 342; e-mail: galper@isem.irk.ru).

For citation: Mazurova O. V. & Galperova E. V. (2017). The Impact of Economic Parameter Uncertainty Growth on Regional Energy Demand Assessment. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 13(2), 465–476

O. V. Mazurova, E. V. Galperova

Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of RAS (Irkutsk, Russian Federation; e-mail: ol.mazurova@yandex.ru)

The Impact of Economic Parameter Uncertainty Growth on Regional Energy Demand Assessment

The article deals with the forecasting studies based on the energy demand and prices in the region in terms of the complex interconnections between economy (and energy) and the growth of uncertainty of the future development of the country and territories. The authors propose a methodological approach, which combines the assessment of the price elasticity of energy demand with the optimization of energy and fuel regional supply. In this case, the price elasticity of demand is determined taking into account the comparison of cost-effectiveness of using different types of fuel and energy by different consumers. The originality of the proposed approach consists in simulating the behaviour of suppliers' (energy companies) and large customers' (power

plants, boiler rooms, industry, transport, population) depending on energy price changes, the existing and new technologies, energy-saving activities and restrictions on fuel supplies. To take into account the uncertainty of future economic and energy conditions, some parameters such as prospective technical and economic parameters, price, technological parameters are set as the intervals of possible values with different probability levels. This approach allows making multivariate studies with different combinations of the expected conditions and receiving as a result the range of the projected values of studied indicators. The multivariate calculations show that the fuel demand has a nonlinear dependence on the consumer characteristics, pricing, projection horizon, and the nature of the future conditions uncertainty. The authors have shown that this effect can be significant and should be considered in the forecasts of the development of fuel and energy sector. The methodological approach and quantitative evaluation can be used to improve the economic and energy development strategies of the country and regions.

Keywords: forecasting, uncertainty, energy resources, prices, competitiveness, regions of Russia, regional markets, demand, fuel and energy sector, elasticity, macro-region

Acknowledgments

The article has been prepared with the support of the Russian Foundation for Basic Research (projects No. № 16–06–00230-a, 17–06–00102-a).

References

1. Voss, A., Schlenzig, C. & Reuter, A. *MESAP- III. A Tool for Energy Planning and Environmental Management: History and New Developments*. Retrieved from: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2013/8529/pdf/vos280.pdf>.
2. Wade, S. *Price Responsiveness in the AEO2003 NEMS Residential and Commercial Buildings Sector Models*. Retrieved from: <http://www.eia.gov/oiaf/analysispaper/elasticity/>.
3. Kononov, Yu. D. (2014). Poetapnyy podkhod k povysheniyu obosnovannosti dolgrosrochnykh prognozov razvitiya TEK i k otsenke strategicheskikh ugroz [Step-by-step approach to the improvement in the validity of long-term energy development forecasts and the assessment of strategic threats]. *Izvestiya RAN [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering]*, 2, 61–69. (Energy). (In Russ.)
4. Kononov, Yu. D. (2015). *Puti povysheniya obosnovannosti dolgrosrochnykh prognozov razvitiya TEK [Ways to improving the validity of long-term forecasts of energy complex]*. Novosibirsk: Nauka Publ, 147. (In Russ.)
5. Protasov, A. S. (2009). Sootnoshenie ponyatiya “region” i regionalnaya ekonomika s pozitsiy sistemnogo podkhoda. [Correlation of concepts “region” and regional economy from the standpoint of system approach]. *Vestnik Chelyabinskogo universiteta [CSU bulletin]*, 1, 53–56. (Economics). (In Russ.)
6. Sevek, V. K. & Chuldum, A. E. (2012). Ponyatie “region” i “regionalnaya sotsialno-ekonomicheskaya sistema” [The concept of “region” and “regional socio-economic system”]. *Regionalnaya ekonomika. Teoriya i praktika Regional economy: theory and practice [Regional Economics: Theory and Practice]*, 26, 10–14. (In Russ.)
7. Kononov, Yu. D., Galperova, E. V. & Mazurova, O. V. et al. (2009). *Metody i modeli prognoznykh issledovaniy vzaimosvyazey energetiki i ekonomiki [Methods and models for forecasting studies of the relationship between the energy sector and the economy]*. Novosibirsk: Nauka Publ., 178. (In Russ.)
8. Makarov, A. A. (Ed.) (2010). *Institutu energeticheskikh issledovaniy RAN — 25 let [The Energy Research Institute — 25 years]*. Moscow: ERI RAN Publ., 160. (In Russ.)
9. Makarov, V. A. & Shapot, D. V. et al. (2002). Instrumentalnyye sredstva dlya kolichestvennogo issledovaniya vzaimosvyazey energetiki i ekonomiki [Tools for quantitative studies of the relationship of energy and economy]. *Ekonomika i matematicheskie metody [Economics and mathematical methods]*, 1, 45–56. (In Russ.)
10. Saneev, B. G., Sokolov, A. D. et al. (2003). *Metody i modeli razrabotki regionalnykh energeticheskikh program [Methods and models for developing regional energy programs]*. Novosibirsk: Nauka Publ., 140. (In Russ.)
11. Almon, C. (1991). The INFORUM Approach to Interindustry Modeling. *Economic Systems Research*, 3(1), 1–7.
12. West, G. (1995). Comparison of Input-Output, Input-Output + Econometric and Computable General Equilibrium Impact Models at the Regional Level. *Economic Systems Research*, 7, 209–227.
13. Hudson, E. A. & Jorgenson, D. W. (1974). U.S. Energy Policy and Economic Growth. *Economics*, 5(2), 461–514.
14. Hogan, W. W. (1977). Project Independence Evaluation System: Structure and Algorithms. *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics of the American Mathematical Society. Providence: American mathematical society*, 21, 121–137.
15. Bhattacharyya, S. & Timilsina, C. R. (2010). A Review of Energy System Models. *International Journal of Energy Sector Management*, 4(4), 512–513. DOI: 10.1108/17506221011092742.
16. Messner, S. (1984). User’s Guide for the Matrix Generator of Message II. Parts I and II: Model Description and Implementation Guide, and Appendices. *International Institute for Applied System Analyses. Working Paper WP-84–71*, 186.
17. *The National Energy Modeling Systems: An Overview* (2009). Energy Information Administration, Washington Dc., 77. Retrieved from: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/nems/overview/pdf/0581%282009%29.pdf>.
18. Mantzos, L. (1999). The PRIMES. Version 2. Energy System Model: Design and features. *Economics, Energy and Environment*, 5, 155–200.
19. Voss, A., Schlenzig, Ch. & Reuter, A. (1994). MESAP-III: A Tool for Energy Planning and Environmental Management. *Overview brochure, University of Stuttgart*, 5, 155–200.

20. Mazurova, O. V. (2015). Otsenka tsenovoy elastichnosti sprosa na motornoye toplivo v transportnom komplekse [Estimating price elasticity of demand for motor fuel in the transport sector]. *Prostranstvennaya ekonomika [Spatial Economics]*, 1, 109–122. DOI 10.14530/se.2015.1.109–122. (In Russ.)
21. Voropay N. I., Podkoyalnikov, S. V. et al. (2015). *Obosnovanie razvitiya elektroenergeticheskikh sistem: metodologiya, modeli, metody, ikh ispolzovanie [Substantiation of development of electric power systems: methodology, models, methods, their use]*. Novosibirsk: Nauka Publ., 448. (In Russ.)
22. Welsch, H. (1989). The Reliability of Aggregate Energy Demand Functions. *Energy Economics*, 11(4), 285–292. DOI: 10.1016/0140-9883(89)90044-3.
23. Kim, B. C. & Labys, W. C. (1988). Application of translog model of energy substitution to developing countries. *Energy Economics*, 10(4), 313–323.
24. Yi, F. (2000). Dynamic energy-demand models: a comparison. *Energy Economics*, 22(2), 285–297.
25. Mahmud, S. (2000). The energy demand in the manufacturing sector in Pakistan: some further results. *Energy Economics*, 22(6), 641–648.
26. Longva, S., Olsen, O. & Strom, S. (1988). Total elasticity of energy demand analyses within a general equilibrium model. *Energy Economics*, 10(4), 298–308.
27. Bashmakov, I. *Opyt otsenki parametrov tsenovoy elastichnosti sprosa na energiyu [The parameter estimation experience of energy demand price elasticity]*. Retrieved from: http://www.cenef.ru/art_11212_119_node2.html (In Russ.)
28. Filippov, S. P. (2010). Prognozirovaniye energopotrebleniya s ispolzovaniem kompleksa adaptivnykh imitatsionnykh modeley [Energy demand forecasting using adaptive simulation models]. *Izvestiya RAN [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering Bulletin of RAS]*, 4, 41–55. (In Russ.)
29. Bashmakov, I. (2007). *Opyt otsenki parametrov tsenovoy elastichnosti sprosa na elektroenergiyu po otdelnym gruppam potrebiteley i po subektam RF [Parameter estimation of electricity demand price elasticity of individual consumer groups and the subjects of the Russian Federation]*. Moscow: CENEF Publ., 1, 82. (In Russ.)
30. Uzyakov, M. N. (2004). Vliyaniye tsen na energeticheskie resursy i na dinamiku ekonomiki Rossii [The impact of prices on energy resources and on the dynamics of the economy of Russia]. *Regiony i federatsiya. Voprosy regulirovaniya TEK [The regions and the Federation: Regulatory issues of the energy industry]*, 1, 14–21. (In Russ.)
31. Mishura, A. V. (2009). Otsenka elastichnosti sprosa na elektroenergiyu osnovnykh grupp proizvodstvennykh potrebiteley v Rossii [Assessing energy demand elasticity of major industrial producers in Russia]. *Region. Ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and sociology]*, 2, 110–124. (In Russ.)
32. Mishura, A. V. (2011). Otsenka elastichnosti sprosa na elektroenergiyu so storony naseleniya Rossii [Estimation of households' electricity demand elasticity in Russia]. *Vestnik NGU. [Vestnik NSU. Series: Social and Economics Sciences]*, 11(2), 92–101 (Socio-economic Sciences). (In Russ.)
33. Ellis, J. (2010). *The Effects of fossil fuel subsidy reforms: a review of modeling and empirical studies*. Retrieved from: http://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/effects_ffs.pdf.
34. Galperova, E. V., Kononov, Yu. D. & Mazurova, O. V. (2008). Prognozirovaniye sprosa na energonositeli v regione s uchetom ikh stoimosti [Forecasting the demand for energy sources in balance with their prices]. *Region. Ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology]*, 3, 207–219. (In Russ.)
35. Galperova, E. V., Kononov, D. Yu. & Tyrtshnyy, V. N. (2014). *Kompleks modeley dlya dolgosrochnogo prognozirovaniya konunktury regionalnykh energeticheskikh rynkov [Complex models for long-term forecasting of the opportunities of regional energy markets]*. Informatsionnyye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. XIX Baykalskaya Vseros. konf., Irkutsk, Rossiya. 28 iyunya — 7 iyulya, Ch. I. [XIX Baikal Russian conference “Information and mathematical technology in science and management” Irkutsk, Russia, June 28 — July 7, Pt. 1], 14–21. (In Russ.)
36. Loktionov, V. I. (2014). Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov v energetike s uchetom predelnykh tsen na energonositeli [Assessing investment projects efficiency in energy sector based on energy prices ceiling]. *Ekonomicheskyy analiz. Teoriya i praktika [Economic analysis: theory and practice]*, 33, 17–22. (In Russ.)
37. Galperova, E. V., Kononov, D. Yu. & Mazurova, O. V. (2015). Otsenka konkurentosposobnosti variantov energosnabzheniya krupnykh potrebiteley v usloviyakh neopredelennosti [Assessment of competitiveness of energy supply options to major consumers in the face of uncertainty]. *Energeticheskaya politika [Energy policy]*, 2, 37–45. (In Russ.)

Authors

Olga Vasilyevna Mazurova — PhD in Technical Sciences, Senior Research Associate, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of RAS (130, Lermontova St., Irkutsk, 664033, Russian Federation; e-mail: ol.mazurova@yandex.ru).

Elena Vasilyevna Galperova — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Senior Research Associate, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of RAS (130, Lermontova St., Irkutsk, 664033, Russian Federation; e-mail: galper@isem.irk.ru).