

УДК 519.86+332.14

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ «ЭНЕРГЕТИКА — ЭКОНОМИКА»: ОПЫТ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Н.Г. Захарченко, О.В. Дёмина

Захарченко Наталья Геннадьевна — кандидат экономических наук, научный сотрудник. Институт экономических исследований ДВО РАН, ул. Тихоокеанская, 153, Хабаровск, Россия, 680042. E-mail: zakharchenko@ecrin.ru.

Дёмина Ольга Валерьевна — кандидат экономических наук, заведующая сектором. Институт экономических исследований ДВО РАН, ул. Тихоокеанская, 153, Хабаровск, Россия, 680042. E-mail: demina@ecrin.ru.

В статье представлена эволюция моделей и модельных комплексов, используемых для исследования взаимосвязей экономики и энергетики; охарактеризованы модели, описывающие эти взаимосвязи в экзогенной форме (оптимизационные, имитационные модели) и в эндогенной форме (модели, интегрирующие эконометрические и балансовые оценки, модели экономических взаимодействий). Предложена модель экономических взаимодействий Дальнего Востока с детализированным блоком ТЭК. Проведена серия экспериментальных расчетов на базе модели. Оценены интервалы устойчивости региональных макропоказателей к изменениям цен на энергоресурсы; выявлено, что динамика ВРП и доходов более чувствительна к изменениям цен углеводородов, чем к изменениям цен электроэнергии и угля. Показано, что снижение цены угля по отношению к газу при существующих технологиях приводит к снижению темпов экономического роста в регионе. Установлено, что замещение ввозимой нефти ресурсом, добываемым в регионе, продуцирует спад в экономике региона, замещение ввозимого угля — продуцирует рост.

Модель экономических взаимодействий, региональная экономика, топливно-энергетический комплекс, структурные связи, топливно-энергетический баланс, Дальний Восток.

DOI: 10.14530/se.2015.1.062-090

ВВЕДЕНИЕ

Основные требования к моделям, конструируемым в целях оценки перспективных траекторий развития региональной экономической системы, фокусируются, с одной стороны, на необходимости детализированного опи-

© Захарченко Н.Г., Дёмина О.В., 2015

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН № 15-1-8-003 «Имитационное моделирование межотраслевых взаимодействий на Дальнем Востоке со встроенными механизмами согласования интересов экономических агентов».

сания структурных взаимосвязей системы, с другой стороны, на возможностях перестройки функциональных условий модели под цели планируемых вычислительных экспериментов. Баланс между управляемостью и разрешимостью соблюдается в моделях, описывающих взаимодействия элементов структурного ядра региональной системы — отраслей с потенциалом формирования мультипликативных эффектов выше среднего, и отдельных экономических агентов. Свойственная таким моделям «многослойность» позволяет уйти от выработки ограниченного количества точечных прогнозных оценок региональных показателей и получить непротиворечивое описание взаимных реакций экономического поведения в регионе.

Среди элементов структурного ядра экономики Дальнего Востока в целях настоящего исследования выделяется топливно-энергетический комплекс (ТЭК), в котором создается порядка 50% стоимости промышленной продукции региона и отрасли которого имеют сложные сети структурных связей, как между собой, так и с остальной экономикой региона.

К 2012 г. на Дальнем Востоке ТЭК сформировался как крупный экспортно ориентированный сектор, для которого характерны:

- увеличение масштабов производства энергоресурсов в 3 раза при относительно стабильном объеме регионального спроса;
- превышение после 2007 г. объемов вывоза энергоресурсов над объемами ввоза в 3,7 раза при доле экспорта в объеме производства энергоресурсов 80%;
- замещение угля природным газом, увеличение доли природного газа в структуре топливной корзины электростанций в 2,8 раза.

Скорость и масштабы изменений, происходящих в топливно-энергетическом комплексе, порождают множество вопросов относительно реакции экономической системы региона на эти изменения. В данной статье предпринимается попытка разработки модельного инструментария, отражающего многообразие связей ТЭК как элемента структурного ядра экономики Дальнего Востока, и получения на базе этого инструментария оценок экономических эффектов структурной трансформации энергетического потока в регионе, обусловленной взаимодействием мотивированных максимизацией ренты экономических агентов.

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОНОМИКИ

В общем случае оптимизация параметров функционирования отраслевого комплекса (как и отдельно взятых отраслей) в системе структурных экономических связей сопряжена с определением градиента, компоненты

которого можно разделить на два типа. Компоненты первого типа отвечают за скорость реакции экономической системы на изменение технологий, компоненты второго типа – за скорость реакции системы в ответ на трансформацию параметров внешних связей отраслевого комплекса. Для оценки выделенных компонент градиента применяются различные модели – компоненты первого типа определяются на основе оптимизационных и имитационных моделей (изолированное моделирование отраслевого комплекса), компоненты второго типа – на основе моделей, интегрирующих эконометрические и балансовые оценки, моделей экономических взаимодействий, а также модельных комплексов (системное моделирование).

Модели, широко используемые для исследования взаимосвязей энергетики и экономики, приведены в таблице.

Таблица

Опыт моделирования взаимосвязей энергетики и экономики

Год	Название модели, объект исследования	Организация-разработчик	Структура производственного блока модели	Цель моделирования
Оптимизационные модели				
1974	EFOM-ENV [21; 42]; страны Европы	Европейская комиссия	Более 500 технологий	Выбор энергетических технологий, минимизирующих приведенные затраты при заданном спросе на энергию; анализ технологических и экологических ограничений развития энергетики
1976	MARKAL [15, р. 512–513; 39, р. 285–310; 45; 62]; объект определяется пользователем (муниципалитет, регион, страна)	Международное энергетическое агентство	1000–4000 технологий	То же, что и для EFOM-ENV
1984	MESSAGE [48]; глобальная (11 регионов)	Международный институт прикладного системного анализа	Более 1500 технологий	То же, что и для EFOM-ENV, но с описанием потоков межрегиональной торговли энергоресурсами

2007	TIMES (MARKAL+ EFOM) [15, р. 512–513; 46]; объект определяется пользователем (муниципалитет, регион, страна)	Международное энергетическое агентство	Более 1000 технологий	То же, что и для EFOM-ENV, но с учетом возможностей выбора длины временного такта модели
------	--	--	-----------------------	--

Имитационные модели

1980	LEAP [15, р. 513–514; 44; 52]; объект определяется пользователем (муниципалитет, регион, страна, группа стран)	Стокгольмский институт окружающей среды, США	Более 1000 технологий	Анализ сценариев развития отраслей ТЭК с учетом макроэкономических, территориальных и программных факторов
------	--	--	-----------------------	--

Модели, интегрирующие эконометрические и балансовые оценки

1974	Межотраслевая модель роста с описанием энергетических технологий [38]; США	Гарвардский университет, США	9 отраслей, в т. ч. добыча угля, углеводородов, нефтепереработка, электроэнергетика, газоснабжение	Оценка эффективности налоговой политики с точки зрения стимулирования энергосбережения и повышения энергетической безопасности
------	--	------------------------------	--	--

Модели экономических взаимодействий

1995	GEM-E3 [27]; страны Евросоюза, глобальная (37 регионов)	Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии	26 отраслей, в т. ч. добыча угля, нефти и природного газа, электроэнергетика. Товарные рынки описаны в терминах моделей совершенной и монополистической конкуренции, олигополии Курно	Оценка эффектов экономической, энергетической и экологической политики
1996	MSG6 [22; 34]; Норвегия	Научно-исследовательский отдел Статистического управления, Норвегия	40 отраслей, в т. ч. добыча нефти и природного газа, нефтепереработка, электроэнергетика, трубопроводный транспорт. Рынки продукции добывающих отраслей — совершенная конкуренция; рынки продукции перерабатывающих отраслей — монополистическая конкуренция	То же, что и для GEM-E3

1998	ГТАР-Е [58; 63]; глобальная (80 регионов)	Универ- ситет Пердью, США	50 отраслей, в т. ч. добыча угля, нефти и природного газа, электроэнергетика, нефтепереработка. Все товарные рынки со- вершенно конкурентные	То же, что и для ГЕМ-Е3, но с описани- ем механизмов торговли квотами на выбросы
1999	ECOSMEC [30]; Дания	Мини- стерство торговли и промыш- ленности, Дания	34 отрасли, в т. ч. добы- ча нефти и природного газа, нефтепереработка, газообеспечение, тепло- и электроэнергетика; 4 технологии производства электроэнергии и тепла. Рынок тепла и электро- энергии – естественная монополия; остальные товарные рынки – совер- шенная конкуренция	Оценка эффектов от введения налогов на выбросы, снижения барьеров входа/выхо- да в отрасли тепло- и электроэнергетики
2006	IMACLIM-R [60]; глобальная (12 регионов)	Между- народный научно-ис- следова- тельский центр по охране окружаю- щей среде и развитию	12 отраслей, в т. ч. добыча угля, нефти и природного газа, нефтепе- реработка, электроэнер- гетика. Все товарные рынки со- вершенно конкурентные	То же, что и для ГЕМ-Е3, но с детализи- рованным представле- нием эффектов энерге- тической политики на микроуровне
2007	АТСЕМ-Е3 [56]; Австрия	Институт передовых исследо- ваний, Австрия	25 отраслей, в т. ч. добы- ча угля, добыча нефти и природного газа, нефтепе- реработка, электроэнер- гетика; 6 технологий про- изводства электроэнергии и тепла. Все товарные рынки со- вершенно конкурентные	Оценка эффектов от изменения структуры потребления первичных энергоресурсов, в т. ч. увеличения роли возоб- новляемых источников энергии. Идентифика- ция эффектов от прода- жи квот на выбросы
2010	CITE [19]; Швейцария	Центр эконо- мических исследо- ваний Швей- царской высшей техни- ческой школы, Швейца- рия	12 отраслей, в т. ч. элек- троэнергетика, добыча топливно-энергетических ресурсов; 7 технологий производства электроэнергии и тепла. Рынки промежуточных товаров – монополи- стическая конкуренция; рынки товаров конечного использования – совер- шенная конкуренция	Оценка эффектов от введения налогов на выбросы, свертывания атомной энергетики, замещения органиче- ского топлива возобнов- ляемыми источниками энергии

2011	Многосекторная модель экономики Вьетнама [66]	Университет Сассекса, Великобритания	25 отраслей, в т. ч. добыча угля, нефти и природного газа, нефтепереработка, электроэнергетика. Все товарные рынки совершенно конкурентные	Оценка эффектов от сокращения субсидий на добычу полезных ископаемых и введения налогов на выбросы
Модельные комплексы				
1972	ИМПАКТ [3, с. 52–63, 87–95; 7, с. 133–137]; СССР/РФ	ИСЭМ СО РАН	25 отраслей, в т. ч. добыча и переработка угля, добыча газа, добыча и переработка нефти, электроэнергетика; 58 технологий производства энергии	Определение объемов ввода мощностей неэнергетических отраслей, требующихся для реализации планов по развитию ТЭК
1978	ETA-MACRO [4; 47]; США	Стэнфордский университет, США	9 технологий производства электрической энергии, 7 технологий производства «неэлектрической» энергии	Оценка экономических эффектов выбора «безатомной» энергетической стратегии
1970-е	PIES [31; 37]; США	Федеральное энергетическое управление, США	5 технологий производства первичных энергоресурсов, 2 технологии преобразования энергии, распределение энергии	Оценка эффектов энергетической политики (в т. ч. анализ перспективных направлений поставок природного газа Аляски)
1980-е	ОМММ-ТЭК [1, с. 184–187, 210–216; 9; 11, с. 29–34, 46–66]; межрегиональная, СССР/РФ	ИЭиОПП СО РАН	28 отраслей, в т. ч. добыча нефти и газового конденсата, добыча природного и попутного газа, добыча твердого топлива, переработка угля, производство темных нефтепродуктов, производство светлых нефтепродуктов, выработка электроэнергии, выработка тепла. <i>Примечание:</i> номенклатура отраслей модели, использовавшейся в 1980-е гг.	Оценка влияния условий развития ТЭК и его подсистем на экономику (в т. ч. оценка эффективности развития в южных районах Сибири энергоемких производств по глубокой переработке сибирских сырьевых ресурсов, моделирование вариантов развития атомной энергетики, оценка долгосрочных стратегий в области ТЭК)
2000-е	Модельно-информационный комплекс SCANNER [10; 12]; глобальная (от 8 до 145 регионов)	ИНЭИ РАН	29 отраслей, в т. ч. добыча сырой нефти, добыча и транспортировка газа, добыча угля и торфа, производство кокса и нефтепродуктов, электроэнергетика. <i>Примечание:</i> номенклатура отраслей модели МЭНЭК – элемента комплекса SCANNER, отвечающего за формализацию взаимосвязей энергетики и экономики	Прогнозирование развития российской и зарубежной энергетики

Источник: составлено авторами.

В оптимизационных и имитационных моделях, делающих ставку на детализированное описание внутренних связей ТЭК, его функциональных элементов, экономическая компонента как таковая учитывается в экзогенной форме, ее роль заключается в генерации входных сигналов, преобразующих одно состояние ТЭК в другое. Формализация процессов преобразования состояний ТЭК осуществляется на базе принципов построения ориентированных графов, в случае оптимизационных моделей — графов с замкнутыми контурами, в случае имитационных — графов без замкнутых контуров¹. Состояние комплекса, определяемое по результатам решения оптимизационных и имитационных моделей, характеризуется множеством энергетических технологий, являющихся в условиях экзогенно заданных экономических параметров либо оптимальными, либо наиболее вероятными. Соответственно, исследование параметров взаимообусловленного развития экономики и энергетики на базе данных моделей не ограничивается единичным актом реализации моделей, а предполагает проведение последовательных вариантных приближений.

Проблемы априорного определения направлений связей энергетики и экономики, последовательного, а не одновременного поиска траекторий их развития частично решаются в моделях, интегрирующих эконометрические и балансовые оценки. Эконометрическая составляющая в названных моделях отвечает за описание макроэкономической динамики, балансовая составляющая — за описание воспроизводственных параметров экономики. Данные модели, опирающиеся на идею структурного равновесия и рассматривающие ТЭК в системе с другими отраслями, предлагают в сравнении с оптимизационными и имитационными моделями ТЭК более широкие возможности анализа механизмов межотраслевых взаимодействий. Среди таких возможностей следует выделить оценку «нагрузки» на отрасли, обеспечивающие развитие ТЭК, учет альтернативных направлений использования энергоресурсов, определение приоритетов в распределении последних между энергетикой и экономикой. Вместе с тем и модели, интегрирующие эконометрические и балансовые оценки, не являются универсальными, поскольку, в сущности, позволяют решать лишь один класс исследовательских задач, хотя и очень важный, — определение в рамках заданной макроэкономической концепции роста пропорций энергетики, согласованных с условиями развития смежных подсистем экономики.

Максимальное число степеней свободы в формализации связей энергетики и экономики предусмотрено в моделях экономических взаимодействий, конструируемых по блочному принципу. Балансировка спроса и предложения в этих моделях, как и в моделях, интегрирующих эконометрические и балансовые оценки, осуществляется на базе учета взаимозаменяемости в

¹ В графах с замкнутыми контурами прямые и обратные связи внутри ТЭК совпадают во времени, в графах без замкнутых контуров — не совпадают.

пределах структурных ограничений ресурсов товаров и услуг, в ряду которых и различные виды энергоресурсов. Абсолютное преимущество моделей экономических взаимодействий связано с описанием в явной форме поведения экономических агентов на отраслевых рынках и механизмов формирования интегрированных (макроэкономических) результатов этого поведения. Широкое распространение в практике исследований связей энергетики и экономики модели экономических взаимодействий получили благодаря гибкости структуры и возможностям согласованной формализации микро- и макроуровней балансировки спроса и предложения.

Все рассмотренные модели могут использоваться как самостоятельно, так и в составе модельных комплексов, отражающих логическую последовательность исследований взаимосвязей энергетики и экономики. Совмещение в интерактивном режиме различных методов экономического анализа, программных модулей и информационных массивов является оправданным в случаях, когда необходимо проведение сложных экспериментальных расчетов с иерархически организованными связями.

В рамках данного исследования выбор сделан в пользу модели экономических взаимодействий, которая при приемлемом уровне структурной сложности характеризуется сравнительно высоким потенциалом вариативности формализуемых взаимосвязей энергетики и экономики.

МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА С ДЕТАЛИЗИРОВАННЫМ БЛОКОМ ТЭК

Разработка модели

С привлечением существующего опыта создания моделей экономических взаимодействий [4; 14; 19; 22; 26; 27; 30; 32; 34; 47; 51; 56; 58; 59; 61; 63; 65–67] была разработана модель для Дальнего Востока. Построение модели осуществлялось в 6 этапов (*рис. 1*). Три из них были посвящены итеративным оценкам балансовых моделей: матрицы социальных счетов с отдельными счетами производства и использования товаров и услуг; топливно-энергетического баланса в стоимостном выражении; модифицированной матрицы социальных счетов с детализированным описанием всех стадий энергетического потока. На базе балансовых оценок был получен прототип региональной модели экономических взаимодействий с конкурентными рынками. Затем с привлечением информации микроуровня осуществлялось сегментирование неконкурентных рынков энергоресурсов (отраслей ТЭК) и описание этих рынков в терминах микромоделей предполагаемых вариаций.

Оценки параметров модели Дальнего Востока были получены для условий 2012 г.



Рис. 1. Алгоритм разработки модели экономических взаимодействий Дальнего Востока с детализированным блоком ТЭК

Источник: здесь и далее составлено авторами.

Среди ключевых характеристик построенной модели Дальнего Востока можно выделить следующие.

1. Модель состоит из четырех взаимосвязанных блоков, описывающих множество состояний региональной экономической системы: блоков производства, цен, доходов и потребления (рис. 2). В них определяются желаемые планы отраслей и экономических агентов региона – домашних хозяйств, фирм и регионального правительства. Согласование этих планов осуществляется через координирующий блок, где происходит корректировка желаемых планов с учетом необходимости получения сбалансированного решения и общей направленности искомых решений. Основными условиями модели являются: 1) балансы производства и потребления продукции с включением эндогенно определяемых заданий на вывоз и ввоз продукции, 2) балансы трудовых ресурсов и капитальных вложений, учитывающие условия межрегиональной мобильности факторов. Критерий выбора сбалансированных вариантов – максимизация ВРП.

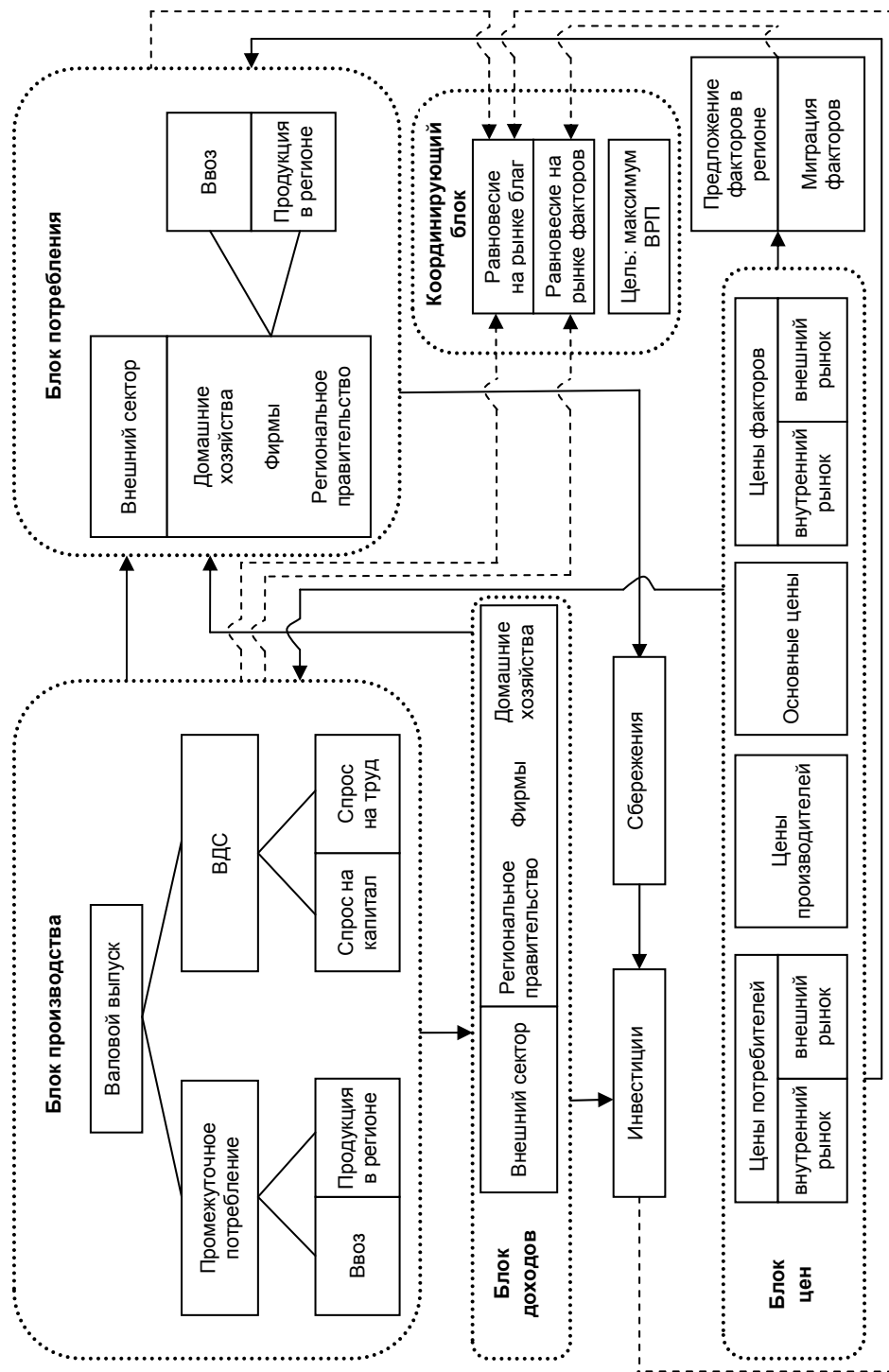


Рис 2. Структура модели экономических взаимодействий Дальнего Востока

2. Внешние связи региона описаны в блоках производства и потребления в части механизмов движения благ и факторов производства, а также в блоке доходов в части механизмов взаимодействий регионального и федерального правительства. В частности, в блоках производства и потребления использована гибкая двухуровневая схема описания взаимосвязей. На первом уровне для каждого элемента региональной системы определяются совокупный спрос и предложение, исходя из достигнутого состояния системы и экзогенно заданной структуры потоков. На втором уровне спрос моделируется как функция с постоянной эластичностью замещения ввозимых благ производимыми в регионе, предложение – как функция трансформации произведенных благ в вывозимые.

3. В модели отрасли сегментированы по двум критериям: 1) принадлежность к ТЭК и 2) принадлежность к неконкурентной среде (*рис. 3*). С учетом количества игроков и высоты барьеров входа на рынках энергоресурсов в модели рынок угля описан как рынок с конкурентными условиями, рынок электроэнергии – как естественная монополия, рынки углеводородов – как олигополии.

4. При описании рынков несовершенной конкуренции использована концепция возрастающей отдачи от масштаба. Модельная реализация данной концепции подразумевает деление затрат фирм на постоянные и переменные. Величина постоянных затрат оценивается в модели, исходя из трех условий: 1) постоянные затраты на единицу выпуска соответствуют марже, 2) последняя определяется на базе индекса рыночной власти Лернера, 3) фирмы в отрасли являются симметричными. В рамках этих условий для постоянных затрат определяющими являются два параметра – эластичность спроса по цене и количество фирм в отрасли. При этом следует отметить, что по результатам модельных расчетов переменные затраты, оцениваемые в базовых равновесных условиях по остаточному принципу, в тепло- и электроэнергетике оказались величиной отрицательной, что указывает на факт субсидирования отрасли. В этой связи в модели была принята предпосылка о покрытии постоянных затрат данной отрасли внешними трансфертами.

5. В блоке производства для описания технологий преобразования энергии реализован принцип «вложенных» производственных функций. В общей сложности выделено 5 уровней производственного процесса (*рис. 4*). На первом уровне на базе функции Леонтьева для отраслей определяются промежуточное потребление нефти, неэнергетических товаров и услуг, а также спрос на композитный фактор (труд, капитал, энергия).

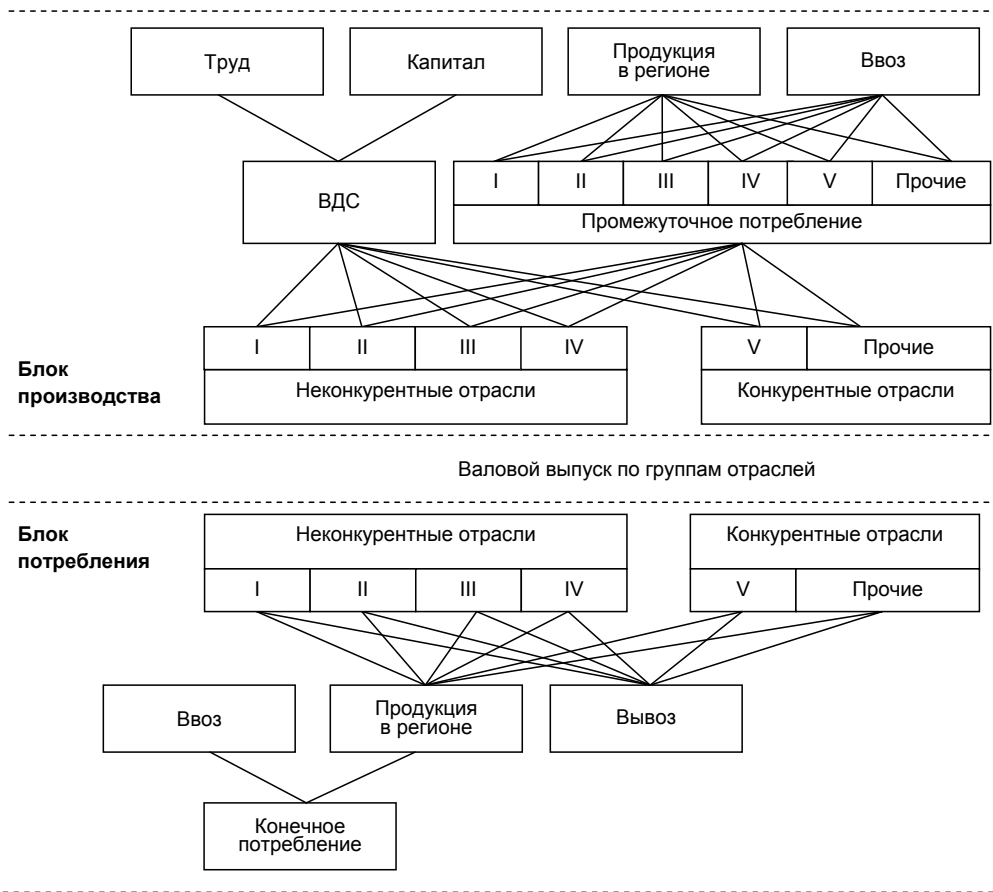


Рис. 3. Блоки производства и потребления модели экономических взаимодействий Дальнего Востока:
I – газ, II – нефть, III – нефтепродукты, IV – электроэнергия, V – уголь

На последующих уровнях используются функции с постоянной эластичностью замещения факторов. Так, на втором уровне спрос на композитный фактор разбивается на три составляющие. На третьем – определяется спрос на электроэнергию и топливо. На четвертом – спрос на электроэнергию в Северной и Южной зонах, спрос на нефтепродукты и прочее топливо. На пятом – спрос на уголь и газ.

6. Модель содержит 460 уравнений; среди наиболее важных эндогенно определяемых переменных можно выделить: выпуск отраслей, спрос на факторы, цены торгуемых благ и доходы экономических агентов региона.

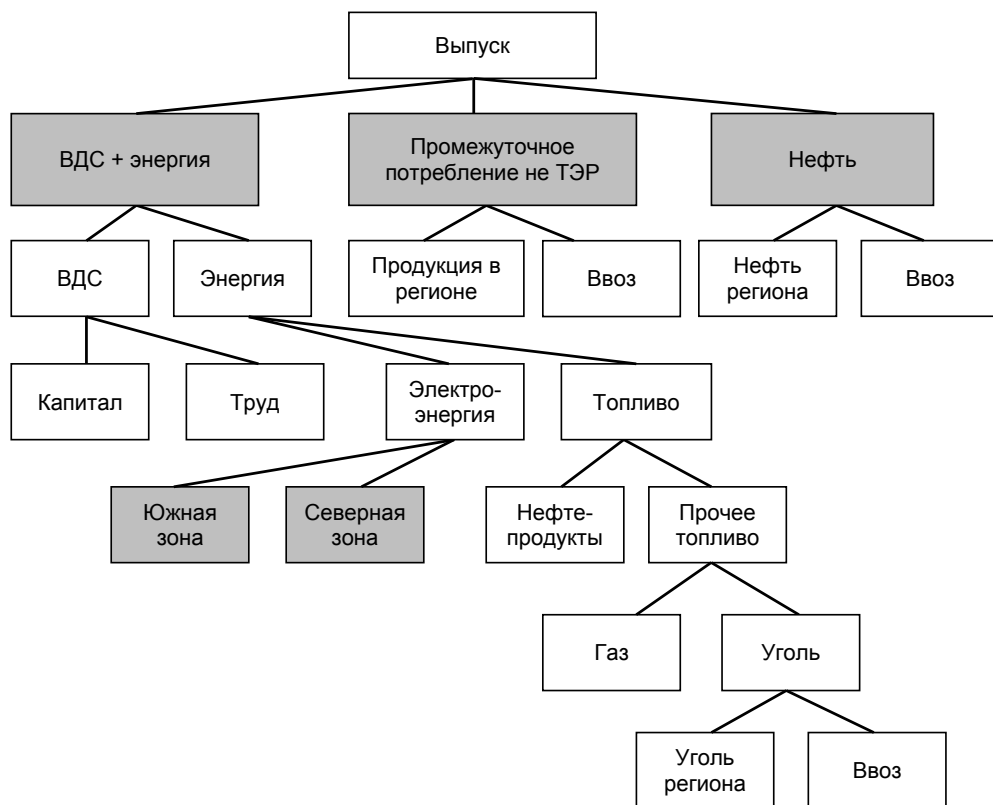


Рис. 4. Структура блока производства: уровни производственного процесса

Примечание: – производственная функция Леонтьева; – производственная функция с постоянной эластичностью замещения факторов производства.

Функциональное описание блоков модели экономических взаимодействий Дальнего Востока

В блоках производства и потребления модели экономических взаимодействий Дальнего Востока формализуются функции, аппроксимирующие спрос и предложение на рынках благ и факторов производства, в блоках доходов и цен – функции, отражающие институциональные отношения в экономике, а также правила и регулирующие параметры рыночного механизма.

Во всех блоках модели используются следующие обозначения: N – множество всех отраслей, параметризованных индексами $i, j \in N$; $B_1 \subset N$ – множество конкурентных отраслей; $B_2 \subset N$ – множество неконкурентных отраслей; $P = (\bar{p}, p, \hat{p}, p^K, \hat{p}^K, p^L, \hat{p}^L)$ – вектор цен, компонентами которого являются: $\bar{p} = \{\bar{p}_i\}_{i \in N}$ – вектор цен продукции, ввезенной в регион; $p = \{p_i\}_{i \in N}$, $\hat{p} = \{\hat{p}_i\}_{i \in N}$ –

векторы цен продукции, произведенной в регионе, на внутреннем и внешнем рынках соответственно; $p^K = \{p_i^K\}_{i \in N}$ — вектор цен капитала на внутреннем рынке (в долгосрочном периоде $p_i^K = p_j^K \forall i, j$); \hat{p}^K — цена капитала на внешнем рынке; p^L, \hat{p}^L — цены труда на внутреннем и внешнем рынках соответственно.

Блок производства

Блок производства включает задачи условной минимизации производственных затрат, связи между которыми организованы в соответствии с рисунком 4. По результатам решения данных задач функции спроса на факторы производства формируются таким образом, что средние переменные затраты в отраслях оказываются функциями, не зависящими от объемов выпуска: $avc_i = f_i(P)$. Определяя частные производные функций средних переменных затрат по компонентам ценового вектора, получаем следующий вид коэффициентов прямых затрат продукции, произведенной в регионе:

$$a_{ij} = \frac{\delta_i \cdot \lambda_i \cdot p_i^{\rho_i - 1} \cdot avc_j}{\delta_i \cdot p_i^{\rho_i} + (1 - \delta_i) \cdot \bar{p}_i^{\rho_i - 1}},$$

где δ_i — доля произведенной в регионе продукции отрасли i в объеме производства отрасли j ; λ_i — эластичность средних переменных затрат отрасли j по цене продукции отрасли i ; $\sigma_i = 1/(1 - \rho_i)$ — эластичность замещения произведенной в регионе продукции отрасли i ввозом этой продукции.

Блок доходов

В блоке доходов в иерархической последовательности строятся уравнения, описывающие, во-первых, условия формирования доходов факторов производства региональной системы, во-вторых, условия формирования располагаемых доходов экономических агентов.

Особенностью моделей экономических взаимодействий регионального уровня является учет мобильности труда и капитала. Взаимосвязи на рынках указанных факторов производства формализуются с разграничением двух временных периодов — краткосрочного и долгосрочного. В краткосрочном периоде допускается межотраслевая и межрегиональная мобильность исключительно трудовых ресурсов, в долгосрочном — мобильность и трудовых, и капитальных ресурсов. Эффект чистой миграции факторов определяется соотношением цен факторов в регионе и национальной экономической системе:

$$L^{mig} = LS \cdot \ln(p^L / \hat{p}^L)^{\sigma^L},$$

$$K^{mig} = \begin{cases} 0 & \text{в краткосрочном периоде} \\ \sum_i ks_i \cdot \ln(p^K / \hat{p}^K)^{\sigma^K} & \text{в долгосрочном периоде,} \end{cases}$$

где L^{mig} – миграционный прирост; K^{mig} – чистый приток капитала; LS – численность трудовых ресурсов в регионе; ks_i – запасы капитала в регионе в отрасли i ; σ^L , σ^K – эластичности миграционных потоков факторов по относительным ценам факторов.

Совокупный доход экономических агентов региона определяется соотношением:

$$Y = Y^K + Y^L + \sum_{i \in B_2} \psi_i \cdot \pi_i + T,$$

где Y^K , Y^L , – первичные доходы соответственно от труда и капитала с поправкой на чистый факторный доход; ψ_i – доля региональной собственности в отрасли i ; $\pi_i = [p_i \cdot \eta_i + \hat{p}_i \cdot (1 - \eta_i) - avc_i] \cdot x_i - fc_i$ – прибыль в отрасли i ; $\eta_i = g_i(P)$ – доля продаж на внутреннем рынке в выпуске отрасли i ; fc_i – постоянные затраты в отрасли i ; T – экзогенные трансферты экономическим агентам региона.

Блок потребления

В блоке потребления формализуются оптимизационные задачи, решением которых являются функции потребления домашних хозяйств и вывоза. Государственные расходы регионального и федерального уровней, инвестиции реального сектора определяются на базе информации матрицы социальных счетов и, соответственно, в представленной версии модели экономических взаимодействий являются экзогенными.

Функция потребления домашних хозяйств строится на основе задачи двухуровневой условной оптимизации. На первом уровне максимизируется полезность от потребления блага, являющегося композицией двух благ-субститутов – производимого и ввозимого. На втором уровне минимизируются затраты домашних хозяйств на приобретение продуктовых аналогов (ввозимой и производимой в регионе продукции).

Для спецификации функции вывоза вводится предпосылка о постоянной эластичности трансформации блага, реализуемого в регионе, в благо, реализуемое на внешнем рынке. Соответственно функции вывоза определяются по результатам решения задач максимизации выручки производителя, ограничением в которых являются функции продуктовой трансформации.

Блок цен

В блоке цен рассчитываются основные цены, цены производителей и покупателей. Формулы всех этих цен в качестве базового элемента включают цену региональной продукции на внутреннем рынке, которая определяется в зависимости от того, является ли рынок конкурентным или нет:

$$p_i = \begin{cases} avc_i, & \text{если } i \in B_1 \\ m_i \cdot avc_i, & \text{если } i \in B_2 \end{cases}$$

где $m_i = \frac{n_i \cdot \varepsilon_{p_i}^d}{n_i \cdot \varepsilon_{p_i}^d - 1}$ — маржа в отрасли i ; n_i — количество фирм в отрасли i ;
 $\varepsilon_{p_i}^d = \sigma_i + (1 - \sigma_i) \cdot \eta_i$ — эластичность спроса по цене в отрасли i .

Координирующий блок

Координирующий блок включает условия равновесия на рынках благ и факторов производства, а также скалярную функцию, определяющую направление поиска равновесной траектории региональной системы. Как говорилось выше, в модели экономических взаимодействий Дальнего Востока роль такой функции выполняет ВРП.

Балансовые соотношения модели имеют вид:

$$1) X = [I - A]^{-1} [Z + Q],$$

где $X = \{x_i\}_{i \in N}$ — вектор выпуска; I — единичная матрица; $Z = \{z_i(P, Y, S)\}_{i \in N}$,
 $Q = \{q_i(P)\}_{i \in N}$ — вектор-функции эндогенного и экзогенного конечного спроса соответственно; $S = \{s_i\}_{i \in B_2}$ — вектор параметров, характеризующих структуру отраслевых рынков, $s_i = (n_i, m_i)$; $A = \{a_{ij}\}_{i,j \in N}$ — матрица коэффициентов прямых затрат;

$$2) L \cdot e = LS + L^{mig},$$

$$K \cdot e = KS \cdot e + K^{mig} \text{ или } K = KS,$$

где $L = \{l_j\}_{i \in N}$ — вектор затрат труда; $K = \{k_i\}_{i \in N}$ — вектор затрат капитала; $KS = \{ks_i\}_{i \in N}$ — вектор запасов капитала; e — вектор из единиц.

Вычислительные эксперименты

На базе построенной модели были реализованы следующие типы экспериментов по оценке эффектов трансформации энергетического потока региона.

Первый тип экспериментов — изменение цен на внешних рынках энергоресурсов; цель — определение порогов чувствительности региональных макропоказателей к изменениям внешних цен на энергоносители.

Второй тип экспериментов — усиление межтопливной конкуренции; цель — оценка последствий изменения структуры потребления энергоресурсов в регионе.

Третий тип экспериментов — введение ограничений для производителей энергоресурсов по приоритетному обеспечению регионального спроса; цель — оценка последствий «замыкания» энергетического потока в рамках региональной системы.

По результатам экспериментов первого типа установлено, что региональные макропоказатели более чувствительны к изменениям цен нефти, газа

и нефтепродуктов, чем к изменениям цен электроэнергии и угля (рис. 5, б). Полученный результат объясняется долей экспорта в структуре производства энергоресурсов (доля экспорта в объеме добычи нефти – 98%, в объеме добычи газа – 80%, в объеме производства нефтепродуктов – 52%).



Рис. 5. Темп прироста ВРП при изменении цен энергоресурсов на внешних рынках, %

Источник: здесь и далее расчеты авторов.

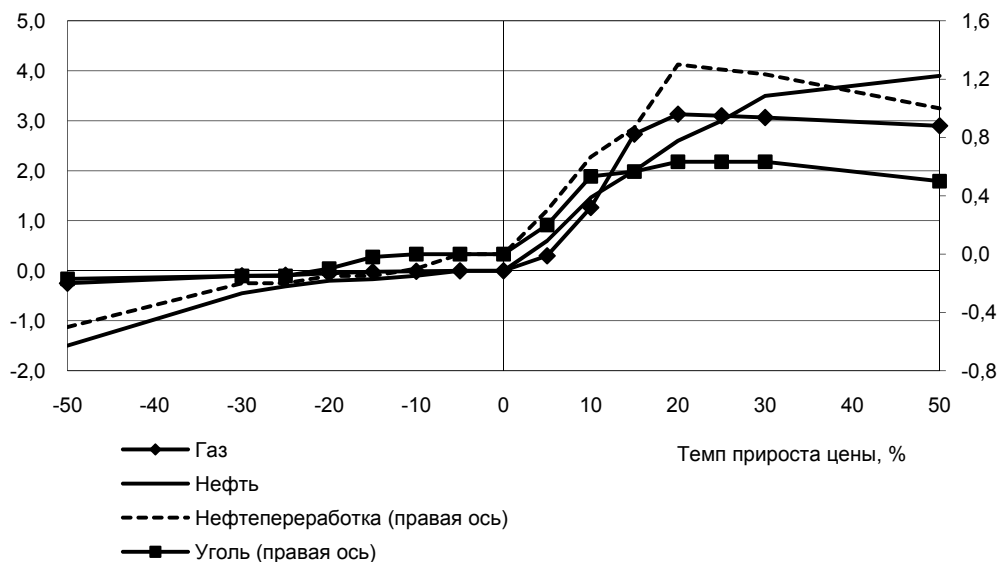


Рис. 6. Темп прироста доходов в регионе при изменении цен энергоресурсов на внешних рынках, %

На базе проведенных расчетов построены интервалы устойчивости региональных макропоказателей к изменениям цен на энергоресурсы: ВРП остается в пределах $\pm 2\%$ при вариации цен от -15% до 10% , доходы — в пределах $\pm 0,5\%$ при вариации цен от -30% до 3% . Максимальный рост ВРП достигается при увеличении цен на газ до 25% , цен на нефтепродукты до 20% , цен на нефть до 200% . Для определения точек перегиба функций реакции региональных макропоказателей на изменение внешних цен энергоносителей значимыми являются ограничения по обязательному обеспечению энергоресурсами региональных отраслей и агентов, степень загруженности существующих мощностей и степень влияния внешних цен на стоимость энергоресурсов, потребляемых внутри региона.

Второй тип экспериментов подразумевал установление относительной цены газа и угля на уровне, обеспечивающем конкурентоспособность твердого топлива. На рисунке 7 представлены результаты вариантных расчетов, в которых относительная цена фиксировалась на уровне 2 к 1. Эффект от подобного ценового шока при существующих технологиях отрицательный — ВРП сокращается на $1,5\%$, доходы — на $0,2\%$. Вместе с тем установлено, что полученные оценки являются чувствительными к изменениям эластичности замещения энергоресурсов. Необходимым условием получения положительного эффекта является увеличение нормы технологической эквивалентности угля и газа до значения, в $1,5$ раза превышающего текущий уровень.

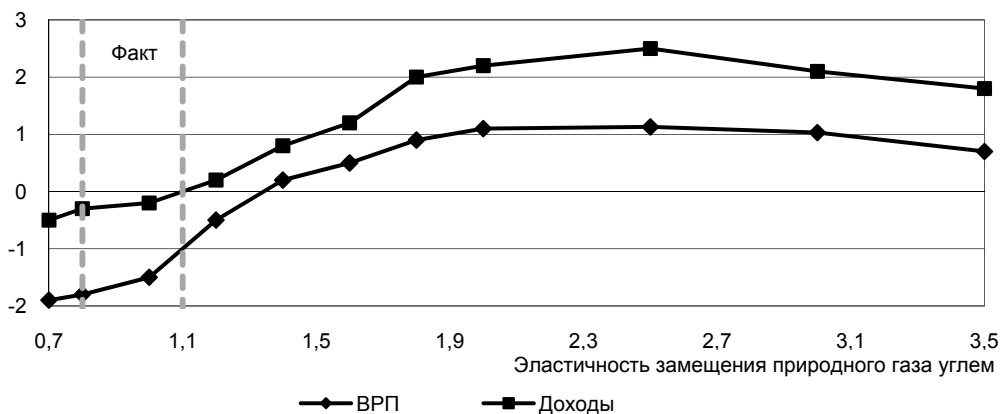


Рис. 7. Темпы прироста ВРП и доходов при изменении эластичности замещения газа углем (эксперимент: относительная цена уголь/газ — 1:2), %

Результаты экспериментов третьего типа позволяют сделать выводы о целесообразности перехода на полное самообеспечение региона углем и нецелесообразности подобных действий в отношении нефтяных ресурсов (рис. 8, 9). В эксперименте с углем получение положительного прироста ВРП обеспечено не столько ростом выработки электроэнергии, сколько наращиванием

объемов добычи угля. В эксперименте с нефтью получение отрицательного прироста ВРП обусловлено перекрытием роста объемов нефтепереработки снижением объемов добычи нефти. Следует отметить, что потенциальная возможность нивелирования отрицательных эффектов за счет развития в регионе производств с более широкими межотраслевыми связями в данном случае нереализуема в силу существующих ограничений по резервным мощностям НПЗ и емкости рынка нефтепродуктов.

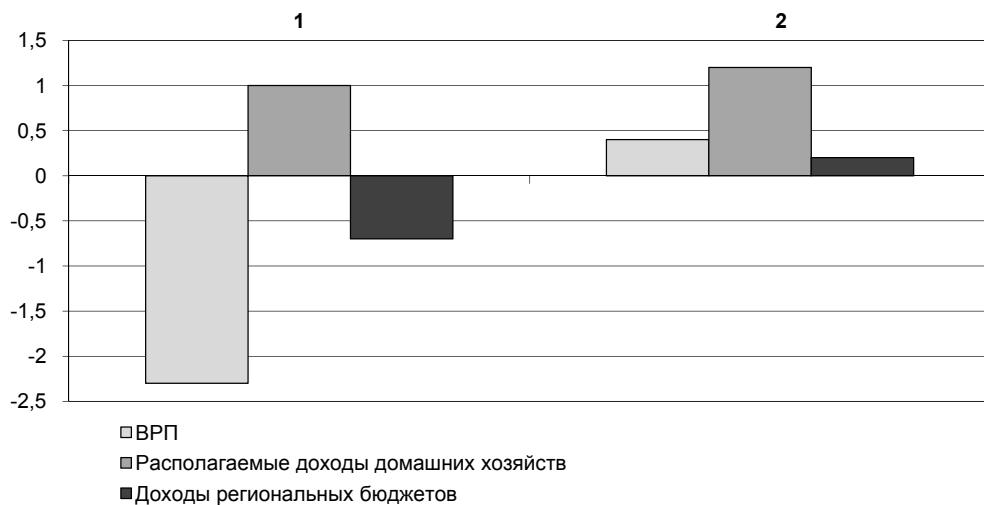


Рис. 8. Темпы прироста ВРП и доходов при «замыкании» потоков нефти и угля, %

Примечание: 1 – эксперимент с нефтью, 2 – эксперимент с углем.

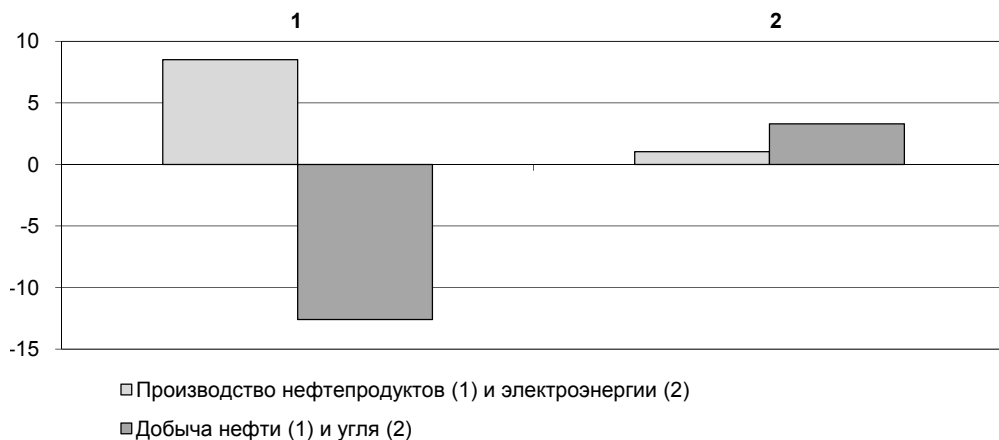


Рис. 9. Темпы прироста объемов производства энергоресурсов при «замыкании» потоков нефти и угля, %

Примечание: 1 – эксперимент с нефтью, 2 – эксперимент с углем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эволюция моделей, описывающих взаимосвязи экономики и энергетики, сопряжена с переходом от использования отдельных экономических и энергетических моделей к их синтезу. Примером воплощения идеи такого синтеза являются модели экономических взаимодействий.

В рамках проведенного исследования построена модель экономических взаимодействий Дальнего Востока с детализированным блоком ТЭК, позволяющая получать системные оценки влияния проектируемых изменений объемов производства и экспорта энергоресурсов на параметры функционирования экономики региона. Отличительной особенностью разработанной модели является учет характеристик отраслевых рынков энергоресурсов, что повышает степень адекватности анализа взаимосвязей энергетики и экономики и расширяет спектр возможностей такого анализа.

По результатам экспериментальных расчетов, выполненных на базе модели: 1) определены интервалы вариации внешних цен на энергоносители, различающиеся эластичностью реакции региональных макропоказателей к ценовым шокам; 2) показано, что снижение цены угля по отношению к газу при существующих технологиях приводит к снижению темпов экономического роста в регионе; 3) установлено, что замещение ввозимого угля ресурсом, добываемым в регионе, продуцирует рост в экономике региона, замещение ввозимой нефти — не продуцирует рост.

Среди основных направлений усовершенствования разработанной модели можно выделить, во-первых, подключение к ТЭК остальных элементов структурного ядра экономической системы региона и описание связей между ними, во-вторых, формализацию механизмов изменения структуры отраслевых рынков и правил распределения экономической ренты в условиях таких изменений, в-третьих, введение продуктовой дифференциации в терминах модели монополистической конкуренции Диксита — Стиглица.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранберг А.Г., Суспицын С.А. Введение в системное моделирование народного хозяйства. Новосибирск: Наука, 1988. 304 с.
2. Захарин А.Г., Браилов В.П., Денисов В.И. Методы экономического сравнения вариантов в энергетике по принципу минимума приведенных затрат. М.: Наука, 1971. 172 с.
3. Кононов Ю.Д. Энергетика и экономика (проблемы перехода к новым источникам энергии). М.: Наука, 1981. 188 с.
4. Манн А.С. ЭТА-МАКРО: модель взаимодействия энергетики и экономики // Экономика и математические методы. 1978. № 5. С. 867–886.
5. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития. М.: Наука, 1983. 456 с.

6. Методы и модели для исследования оптимальных направлений долгосрочного развития топливно-энергетического комплекса / отв. ред. А.А. Макаров. Иркутск, 1977. 91 с.
7. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики / отв. ред. Н.И. Воропай, Ю.Д. Кононов. Новосибирск: Наука, 2009. 178 с.
8. Методы исследования и управления системами энергетики / отв. ред. А.П. Меренков, Ю.А. Руденко. Новосибирск: Наука, 1987. 376 с.
9. Моделирование взаимосвязей в системе «народное хозяйство – энергетический комплекс» / под ред. Г.М. Мкртчяна, А.А. Чернышова. Новосибирск: ИЭиОПП СО АН СССР, 1989. 150 с.
10. Модельно-информационный комплекс SCANNER. М.: Институт энергетических исследований РАН, 2011. 72 с. URL: http://www.eriras.ru/files/skaner_light.pdf (дата обращения: 24.12.2014).
11. Суслов Н.И. Анализ взаимодействий экономики и энергетики в период рыночных преобразований. Новосибирск: ИЭиОПП СО РАН, 2002. 270 с.
12. Шапот Д.В., Бельский В.З., Лукацкий А.М. Методы исследования взаимосвязей экономики и энергетики // Известия Академии наук. Энергетика. 1995. № 6. С. 13–23.
13. Beeck N. Classification of Energy Models / Tilburg University & Eindhoven University of Technology. FEW 777. 1999. 25 p. URL: <https://pure.uvt.nl/portal/files/532108/777.pdf> (дата обращения: 20.01.2015).
14. Bernat A.G., Hanson K.Jr. Regional Impacts of Farm Programs: A Top-Down CGE Analysis // The Review of Regional Studies. 1995. Vol. 25. No. 3.
15. Bhattacharyya S., Timilsina C.R. A Review of Energy System Models // International Journal of Energy Sector Management. 2010. Vol. 4. No. 4. Pp. 494–518. DOI: 10.1108/17506221011092742.
16. Biberacher M. Modelling and Optimization of Future Energy Systems Using Spatial and Temporal Methods. Dissertation for the Degree of a Doctor of Natural Science / University of Augsburg. 2004. 130 p. URL: <http://www.vleem.org/PDF/thesis.pdf> (дата обращения: 01.02.2015).
17. Boccanfuso D., Joanis M., Richard P., Savard L. A Comparative Analysis of Funding Schemes for Public Infrastructure Spending in Quebec / Groupe de Recherche en Économie et Développement International. Working Paper No. 12–10. 2012. URL: <http://gredi.recherche.usherbrooke.ca/wpapers/GREDI-1210.pdf> (дата обращения: 05.12.2014).
18. Bonanno G. General Equilibrium Theory with Imperfect Competition // Journal of Economic Surveys. Vol. 4. No. 4. Pp. 297–328. DOI: 10.1111/j.1467-6419.1990.tb00091.x.
19. Bretschger L., Ramer R., Schwark F. Impact of Energy Conservation Policy Measures on Innovation, Investment and Long-term Development of the Swiss Economy. Results from the Computable Induced Technical Change and Energy (CITE) Model / Swiss Federal Office of Energy. 2010. 153 p. URL: http://www.bfe.admin.ch/forschungewg/02544/02803/index.html?lang=de&dossier_id=04774 (дата обращения: 10.12.2014).
20. Broadstock D.C. Non-Linear Technological Progress and the Substitutability of Energy for Capital: An Application Using the Translog Cost Function / Department of Economics, University of Surrey. Discussion Paper No. 120. 2008. URL: <http://www.seec.surrey.ac.uk/research/SEEDS/SEEDS120.pdf> (дата обращения: 29.01.2015).
21. Broek M., Oostvoorn F., Harmelen T., Akel W. The EC Energy and Environment Model EFOM-ENV Specified in GAMS. The Case of Netherlands / The Commission of European Communities. ECN-C-92-003. 1992. 79 p. URL: <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/1992/c92003.pdf> (дата обращения: 05.01.2015).
22. Bye B. Macroeconomic Modelling for Energy and Environmental Analysis. Inte-

grated Economy – Energy – Environment Models as Efficient Tools / Statistics Norway, Research Department. 2008. URL: http://www.ssb.no/a/english/publikasjoner/pdf/doc_200814_en/doc_200814_en.pdf (дата обращения: 15.01.2015).

23. *Capros P.* Integrated Economy – Energy – Environment Models / National Technical University of Athens. 1995. URL: <http://www.e3mlab.ntua.gr/papers/envP1.pdf> (дата обращения: 08.12.2014).

24. *Francois J.F.* Scale Economies and Imperfect Competition in the GTAP Model / GTAP. Technical Paper No. 14. 1998. 22 p. URL: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=317 (дата обращения: 11.01.2015).

25. *Francois J.F., Manchin M., Martin W.* Market Structure in Multisector General Equilibrium Models of Open Economies // Handbook of Computable General Equilibrium Modeling / Edited by P. Dixon, D. Jorgenson. Oxford: North-Holland, 2013. Pp. 1571–1600.

26. *Garbaccio R.F., Ho M.S., Jorgenson D.W.* A Dynamic Economy Energy Environment Model of China / Kennedy School of Government, Harvard University. Cambridge, 2000. URL: <http://www.ksg.harvard.edu/m-rcbg/ptep/model4.pdf> (дата обращения: 18.01.2015).

27. General Equilibrium Model for Economy – Energy – Environment / Model Manual / Institute of Computers and Communications Systems. 179 p. URL: <http://147.102.23.135/e3mlab/GEM%20-%20E3%20Manual/Manual%20of%20GEM-E3.pdf> (дата обращения: 21.12.2014).

28. *Ghadimi H.* An Optimal Depletion CGE Model: A Systematic Framework for Energy – Economy Analysis in Resource-Based Economies / Regional Research Institute, West Virginia University. Research Paper 2006-11. 2006. 33 p.

29. *Giesecke J.A.* Development of a Large-Scale Single U.S. Region CGE Model Using IMPLAN Data: A Los Angeles County Example with a Productivity Shock Application / Centre of Policy Studies. IMPACT Centre Working Papers No. G-187. 2009. URL: <http://www.corsmodels.com/ftp/workpap/g-187.pdf> (дата обращения: 12.01.2015).

30. *Gortz M., Hansen J.V.* Regulation of Danish Energy Markets with Imperfect Competition / Danish Economic Council. 1999. URL: <http://www.dors.dk/graphics/Synkron-Library/Publikationer/Arbejdsrapirer/ARBPAPIR99.02.PDF> (дата обращения: 17.01.2015).

31. *Greenberg H.J.* Analyzing Alaskan Gas Distribution Options // Energy Policy Modeling: United States and Canadian Experiences: Volume II Integrative Energy Policy Models / Edited by W.T. Ziemba, S.L. Schwartz. Boston: Springer, 1980. Pp. 318–329. URL: <http://math.ucdenver.edu/~hgreenbe/papers/Greenberg80Alaskan.pdf> (дата обращения: 22.12.2014).

32. *Haddad E.A., Hewings G.J.D.* Market Imperfections in a Spatial Economy: Some Experimental Results // The Quarterly Review of Economics and Finance. 2005. Vol. 45. No. 2–3. Pp. 476–496. DOI: 10.1016/j.qref.2004.12.016.

33. *Haynes P., Linder S., Sewell M.V.* Modelling Energy – Environment – Economy Interdependencies: A Comparative Analysis of Ten E3 Models / University of London, Cambridge University. 2011. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1839649 (дата обращения: 27.01.2015).

34. *Heide K.M., Holmoy E., Lerskau L., Solli I.F.* Macroeconomic Properties of the Norwegian Applied General Equilibrium Model MSG6 / Statistics Norway. Reports 2004/18. 2004. 55 p. URL: http://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/rapp_200418/rapp_200418.pdf (дата обращения: 03.01.2015).

35. *Herbst A., Toro F., Reitze F., Jochem E.* Introduction to Energy Systems Modelling // Swiss Society of Economics and Statistics. 2012. Vol. 148 (2). Pp. 111–135.

36. *Hoffman K., Jorgenson D.W.* Economic and Technological Models for Evaluation of Energy Policy // *Bell Journal of Economics and Management Science*. 1977. Vol. 8. No. 2. Pp. 444–466.
37. *Hogan W.W.* Energy Policy Models for Project Independence // *Computers and Operations Research*. 1975. Vol. 2. No. 3–4. Pp. 251–271. DOI: 10.1016/0305-0548(75)90008-8.
38. *Hudson E.A., Jorgenson D.W.* U.S. Energy Policy and Economic Growth, 1975–2000 // *Bell Journal of Economics and Management Science*. 1974. Vol. 5. No. 2. Pp. 461–514.
39. *International Handbook on Economics of Energy* / Edited by J. Evans, L.C. Hunt. Cheltenham. UK: Edward Elgar Publishing Ltd, 2009. 831 p.
40. *Koh Y., Schreiner D.F., Shin H.* Comparisons of Regional Fixed Price and General Equilibrium Models // *Journal of Regional Analysis and Policy*. 1993. Vol. 23. No. 1. Pp. 33–80.
41. *Kopsakangas-Savolainen M.* Quantity Versus Price Competition in the Deregulated Finnish Electricity Markets // *Finnish Economic Papers*. 2003. Vol. 16. No. 2. Pp. 51–60.
42. *Kruijk H.* The EU Energy and Environmental Model EFOM-ENV Specified in GAMS. Model Description and User's Guide / The Commission of European Communities. ECN-C-94-021. 1994. 87 p. URL: <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/1994/c94021.pdf> (дата обращения: 04.01.2015).
43. *Kumar K.S.K.* Energy, Economy and Environment Models / Centre of Excellence in Environmental Economics. Dissemination Paper No. 28. 2014. URL: <http://coe.mse.ac.in/dp/DP-28.pdf> (дата обращения: 15.01.2015).
44. LEAP 2014 User Guide / Stockholm Environment Institute. 2014. URL: <http://www.energycommunity.org/WebHelpPro/LEAP.htm> (дата обращения: 09.12.2014).
45. *Loulou R., Goldstein G., Noble K.* Documentation for the MARKAL Family of Models / Energy Technology Systems Analysis Programme. 2004. 32 p. URL: http://www.iea-etsap.org/web/MrklDoc-I_StdMARKAL.pdf (дата обращения: 16.01.2015).
46. *Loulou R., Remne U., Kanudia A., Lehtila A., Goldstein G.* Documentation for the TIMES Model-PART I / Energy Technology Systems Analysis Programme. 2005. 78 p. URL: <http://www.etsap.org/Docs/TIMESDoc-Intro.pdf> (дата обращения: 29.01.2015).
47. *Manne A.S.* ETA: A Model for Energy Technology Assessment // *Bell Journal of Economics and Management Science*. 1976. Vol. 7. No. 2. Pp. 379–406.
48. *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. URL: http://www.iiasa.ac.at/publication/more_WP-84-071.php (дата обращения: 03.01.2015).
49. *Noureddine K.A.* Simultaneous Equations Model for World Crude Oil and Natural Gas Markets / IMF. Working Paper WP/05/32. 2005. URL: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2005/wp0532.pdf> (дата обращения: 05.12.2014).
50. *Olivera C., Antunes C.H.* A Multiple Objective Model to Deal with Economy – Energy – Environment Interactions // *European Journal of Operational Research*. 2004. Vol. 153. No. 2. Pp. 370–385. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00159-0.
51. *Partridge M.D., Rickman D.S.* CGE Modeling for Regional Economic Development Analysis // *Regional Studies*. 2010. Vol. 44. No. 10. Pp. 1311–1328. DOI: 10.1080/00343400701654236.
52. *Phdungsilp A.* Energy – Environment Modelling / Royal Institute of Technology Stockholm. 2006. URL: <http://www.energy.kth.se/courses/4A1613/EE2006-LEAPmodelling-notes.pdf> (дата обращения: 07.01.2015).
53. *Pindyck R.S.* Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An

International Comparison // Review of Economics and Statistics. 1979. Vol. 61. No. 2. Pp. 169–179.

54. *Pratten C.* A Survey of the Economies of Scale // Economic Papers. 1988. No. 67. URL: <http://aei.pitt.edu/36974> (дата обращения: 13.12.2014).

55. *Proença S.A., Aubyn M.S.* A Hybrid Top-Down/Bottom-up Model for Energy Policy Analysis in a Small Open Economy – the Portuguese Case / Polytechnic Institute of Coimbra, Technical University of Lisbon. Discussion Paper No. 52. 2009. 25 p. URL: http://www4.fe.uc.pt/ceue/working_papers/sara_miguel_52.pdf (дата обращения: 26.12.2015).

56. *Revesz T., Balabanov T.* A Guide to ATCEM-E3: Austrian Computable Equilibrium Model for Energy – Economy – Environment Interactions / Corvinus University, The Austrian National Bank. 2007. URL: https://www.ihs.ac.at/publications/eco/recent_publications/atcem-e3moddescr09.pdf (дата обращения: 04.01.2015).

57. *Ross M.T.* Structure of the Dynamic Integrated Economy – Energy – Emissions Model: Electricity Component, DIEM Electricity / Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. Working Paper No. NI WP 14-11. 2014. URL: https://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/ni_wp_14-12_final.pdf (дата обращения: 27.12.2014).

58. *Rutherford T.F., Paltsev S.V.* GTAP-Energy in GAMS: The Dataset and Static Model / Department of Economics, University of Colorado at Boulder. Working Paper No. 00-02. 2000. 42 p. URL: <http://www.colorado.edu/economics/papers/papers00/wp00-2.pdf> (дата обращения: 30.01.2015).

59. *Santis R.A.* A Computable General Equilibrium Model for Open Economies with Imperfect Competition and Product Differentiation // Journal of Economic Integration. 2002. Vol. 17. No. 2. Pp. 311–338. DOI: 10.11130/jei.2002.17.2.311.

60. *Sassi O., Crassous R., Hourcade J.-C., Gitz V., Waisman H., Guivarch C.* Imaclim-R: A Modelling Framework to Simulate Sustainable Development Pathways / The International Research Center on Environment and Development. 2010. 32 p. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00566290> (дата обращения: 20.01.2015).

61. *Seung C.K., Kraybill D.S.* The Effects of Infrastructure Investment: A Two-Sector Dynamic Computable General Equilibrium Analysis for Ohio // International Regional Science Review. 2001. Vol. 24. No. 2. Pp. 261–281. DOI: 10.1177/016001701761013150.

62. *Shay C., Carolis J., Loughlin D., Gage C.* EPA U.S. National MARKAL Database / U.S. Environmental Protection Agency. Database Documentation EPA-600/R-06/057. 2006. 130 p. URL: http://www.epa.gov/nrmrl/appcd/pubs_reports.html#2006 (дата обращения: 08.12.2014).

63. *Truong T.P., Kemfert C., Bumiaux J.-M.* GTAP-E: An Energy – Environmental Version of the GTAP Model with Emission Trading / German Institute for Economic Research. Discussion Papers No. 668. Berlin, 2007. 71 p. URL: <http://www.diw.de/documents/publikationen/73/55787/dp668.pdf> (дата обращения: 18.01.2015).

64. *Wang W., Zeng W., Yao B.* An Energy – Economy – Environment Model for Simulating the Impacts of Socioeconomic Development on Energy and Environment // The Scientific World Journal. Vol. 2014. Article ID 353602. 14 p. DOI: 10.1155/2014/353602.

65. *Willenbockel D.* The Price Normalization Problem in General Equilibrium Models with Oligopoly Power: An Attempt at Perspective / Middlesex University Business School. Discussion Paper, Series: Economics. 2005. URL: <http://128.118.178.162/eps/ge/papers/0505/0505002.pdf> (дата обращения: 10.12.2014).

66. *Willenbockel D., Hoa H.C., Noi H.* Fossil Fuel Prices and Taxes: Effects on Economic Development and Income Distribution in Vietnam / Institute of Development Studies at the University of Sussex, Central Institute for Economic Management. 2011. URL: <http://www.vn.undp.org/content/dam/vietnam/docs/Publications/VN%20CGE%20analysis%20>

fossil%20fuel%20subsidy%20tax%20-%20paper2%20-%20final.pdf (дата обращения: 14.01.2015).

67. Willis D.B., Holland D.W. Natural Resource Supply Constraints and Regional Economic Analysis: A Computable General Equilibrium Approach / The Southern Agricultural Economics Association. Alabama, 2003. 26 p.

MODELLING ENERGY – ECONOMY INTERACTIONS (THE FAR EAST EXPERIENCE)

N.G. Zakharchenko, O.V. Dyomina

Zakharchenko Natalia Gennadyevna – Ph. D. in Economics, Research Fellow. Economic Research Institute FEB RAS, 153 Tikhookeanskaya Street, Khabarovsk, Russia, 680042. E-mail: zakharchenko@ecrin.ru.

Dyomina Olga Valeryevna – Ph. D. in Economics, Section Head. Economic Research Institute FEB RAS, 153 Tikhookeanskaya Street, Khabarovsk, Russia, 680042. E-mail: demina@ecrin.ru.

The article presents the evolution of models and model complexes used to study the relationship between economy and energy sector; the authors characterize models that describe these relationships in exogenous form (optimization and simulation models) and endogenous form (integrated econometric and input-output models and models of economic interactions (general equilibrium models)). The researchers also develop a model of economic interactions of the Far East with a detailed energy sector and propose a series of experimental calculations based on this model. The paper includes estimation of intervals sustainability of regional macro-indicators to changes in energy and fuel prices; the authors find that the dynamics of GRP and income are more sensitive to changes in hydrocarbon prices than to changes in prices of electricity and coal. It is shown that in existing technologies the reduction in the price of coal relative to natural gas leads to lower economic growth in the region. It is established that the substitution of imported oil for that produced in the region leads to the downturn in the region's economy, whereas in the case of coal it produces growth.

Keywords: model of economic interactions (general equilibrium model), regional economy, fuel and energy complex, structural linkages, fuel and energy balance, the Far East.

REFERENCES

1. Granberg A.G., Suspitsin S.A. *Introduction to System Modeling the National Economy*. Novosibirsk, 1988, 304 p. (In Russian).
2. Zakharin A.G., Brailov V.P., Denisov V.I. *Methods of Economic Comparison of the Options in the Energy Sector on the Principle of Minimum of Reduced Cost*. Moscow, 1971, 172 p. (In Russian).
3. Kononov Yu.D. *Energy and the Economy (Problems of Transition to New Energy Sources)*. Moscow, 1981, 188 p. (In Russian).
4. Mann A.S. ETA-MACRO: the Interaction Model Between Energy and the Economy. *Ekonomika i Matematicheskie Metody* [Economics and Mathematical Methods], 1978, no. 5, pp. 867–886. (In Russian).
5. Melentiev L.A. *Systematic Studies in the Energy Sector. Elements of the Theory, Directions of Development*. Moscow, 1983, 456 p. (In Russian).

The work was supported by the FEB RAS grant No. 15-I-8-003 «Simulation of inter-sectoral interactions in the Russian Far East with built-in mechanisms of coordination of economic agents' interests».

6. *Methods and Models for the Study of Optimal Long-Term Development of the Fuel and Energy Complex*. Edited by A.A. Makarov. Irkutsk, 1977, 91 p. (In Russian).
7. *Methods and Models of Forecasting Studies in Energy and the Economy*. Edited by N.I. Voropai, Yu.D. Kononov. Novosibirsk, 2009, 178 p. (In Russian).
8. *Methods of Research and Management of Energy Systems*. Edited by A.P. Merenkov, Yu.A. Rudenko. Novosibirsk, 1987, 376 p. (In Russian).
9. *Modeling Relationships in the System of «National Economy – Energy Complex»*. Edited by G.M. Mkrtchyan, A.A. Chernyshov. Novosibirsk: Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR, 1989, 150 p. (In Russian).
10. *Model-Information Complex SCANNER*. Moscow: The Energy Research Institute of the RAS, 2011, 72 p. Available at: http://www.eriras.ru/files/skaner_light.pdf (accessed 24 December 2014). (In Russian).
11. Suslov N.I. *Analysis of the Interactions of the Economy and Energy Sector in the Period of Market Transformations*. Novosibirsk: Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the RAS, 2002, 270 p. (In Russian).
12. Shapot D.V., Belenkiy V.Z., Lukatskiy A.M. Methods of Investigation of the Relationship of Economics and Energy. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Energetika* [News of the Russian Academy of Sciences. Energy], 1995, no. 6, pp. 13–23. (In Russian).
13. Beeck N. *Classification of Energy Models*. Tilburg University & Eindhoven University of Technology. FEW 777, 1999, 25 p. Available at: <https://pure.uvt.nl/portal/files/532108/777.pdf> (accessed 20 January 2015).
14. Bernat A.G., Hanson K.Jr. Regional Impacts of Farm Programs: A Top-Down CGE Analysis. *The Review of Regional Studies*, 1995, vol. 25, no. 3.
15. Bhattacharyya S., Timilsina C.R. A Review of Energy System Models. *International Journal of Energy Sector Management*, 2010, vol. 4, no. 4, pp. 494–518. DOI: 10.1108/17506221011092742.
16. Biberacher M. Modelling and Optimization of Future Energy Systems Using Spatial and Temporal Methods. Dissertation for the Degree of a Doctor of Natural Science. *University of Augsburg*, 2004, 130 p. Available at: <http://www.vleem.org/PDF/thesis.pdf> (accessed 01 February 2015).
17. Boccanfuso D., Joanis M., Richard P., Savard L. *A Comparative Analysis of Funding Schemes for Public Infrastructure Spending in Quebec*. Groupe de Recherche en Économie et Développement International. Working Paper No. 12–10, 2012. Available at: <http://gredi.recherche.usherbrooke.ca/wpapers/GREDI-1210.pdf> (accessed 05 December 2014).
18. Bonanno G. General Equilibrium Theory with Imperfect Competition. *Journal of Economic Surveys*, vol. 4, no. 4, pp. 297–328. DOI: 10.1111/j.1467-6419.1990.tb00091.x.
19. Bretschger L., Ramer R., Schwark F. *Impact of Energy Conservation Policy Measures on Innovation, Investment and Long-term Development of the Swiss Economy. Results from the Computable Induced Technical Change and Energy (CITE) Model*. Swiss Federal Office of Energy, 2010, 153 p. Available at: http://www.bfe.admin.ch/forschungewg/02544/02803/index.html?lang=de&dossier_id=04774 (accessed 10 December 2014).
20. Broadstock D.C. *Non-Linear Technological Progress and the Substitutability of Energy for Capital: An Application Using the Translog Cost Function*. Department of Economics, University of Surrey. Discussion Paper No. 120, 2008. Available at: <http://www.seec.surrey.ac.uk/research/SEEDS/SEEDS120.pdf> (accessed 29 January 2015).
21. Broek M., Oostvoorn F., Harmelen T., Akel W. *The EC Energy and Environment Model EFOM-ENV Specified in GAMS. The Case of Netherlands*. The Commission of European Communities. ECN-C-92-003, 1992, 79 p. Available at: <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/1992/c92003.pdf> (accessed 05 January 2015).

22. Bye B. *Macroeconomic Modelling for Energy and Environmental Analysis. Integrated Economy – Energy – Environment Models as Efficient Tools*. Statistics Norway, Research Department, 2008. Available at: http://www.ssb.no/a/english/publikasjoner/pdf/doc_200814_en/doc_200814_en.pdf (accessed 15 January 2015).
23. Capros P. *Integrated Economy – Energy – Environment Models*. National Technical University of Athens, 1995. Available at: <http://www.e3mlab.ntua.gr/papers/envP1.pdf> (accessed 08 December 2014).
24. Francois J.F. *Scale Economies and Imperfect Competition in the GTAP Model*. GTAP. Technical Paper No. 14, 1998, 22 p. Available at: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=317 (accessed 11 January 2015).
25. Francois J.F., Manchin M., Martin W. Market Structure in Multisector General Equilibrium Models of Open Economies. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. Edited by P. Dixon, D. Jorgenson. Oxford: North-Holland, 2013, pp. 1571–1600.
26. Garbaccio R.F., Ho M.S., Jorgenson D.W. *A Dynamic Economy Energy Environment Model of China*. Kennedy School of Government, Harvard University. Cambridge, 2000. Available at: <http://www.ksg.harvard.edu/m-rcbg/ptep/model4.pdf> (accessed 18 January 2015).
27. General Equilibrium Model for Economy – Energy – Environment. *Model Manual*. Institute of Computers and Communications Systems, 179 p. Available at: <http://147.102.23.135/e3mlab/GEM%20-%20E3%20Manual/Manual%20of%20GEM-E3.pdf> (accessed 21 December 2014).
28. Ghadimi H. *An Optimal Depletion CGE Model: A Systematic Framework for Energy – Economy Analysis in Resource-Based Economies*. Regional Research Institute, West Virginia University. Research Paper 2006-11, 2006, 33 p.
29. Giesecke J.A. *Development of a Large-Scale Single U.S. Region CGE Model Using IMPLAN Data: A Los Angeles County Example with a Productivity Shock Application*. Centre of Policy Studies. IMPACT Centre Working Papers No. G-187, 2009. Available at: <http://www.copsmodels.com/ftp/workpapr/g-187.pdf> (accessed 12 January 2015).
30. Gortz M., Hansen J.V. *Regulation of Danish Energy Markets with Imperfect Competition*. Danish Economic Council, 1999. Available at: <http://www.dors.dk/graphics/Synkron-Library/Publikationer/Arbejdsrapporter/ARBPAPIR99.02.PDF> (accessed 17 January 2015).
31. Greenberg H.J. Analyzing Alaskan Gas Distribution Options. *Energy Policy Modeling: United States and Canadian Experiences: Volume II Integrative Energy Policy Models*. Edited by W.T. Ziemba, S.L. Schwartz. Boston: Springer, 1980, pp. 318–329. Available at: <http://math.ucdenver.edu/~hgreenbe/papers/Greenberg80Alaskan.pdf> (accessed 22 December 2014).
32. Haddad E.A., Hewings G.J.D. Market Imperfections in a Spatial Economy: Some Experimental Results. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 2005, vol. 45, no. 2–3, pp. 476–496. DOI: 10.1016/j.qref.2004.12.016.
33. Haynes P., Linder S., Sewell M.V. *Modelling Energy – Environment – Economy Interdependencies: A Comparative Analysis of Ten E3 Models*. University of London, Cambridge University, 2011. Available at: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1839649 (accessed 27 January 2015).
34. Heide K.M., Holmoy E., Lerskau L., Solli I.F. *Macroeconomic Properties of the Norwegian Applied General Equilibrium Model MSG6*. Statistics Norway. Reports 2004/18, 2004, 55 p. Available at: http://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/rapp_200418/rapp_200418.pdf (accessed 03 January 2015).
35. Herbst A., Toro F., Reitze F., Jochem E. Introduction to Energy Systems Modelling. *Swiss Society of Economics and Statistics*, 2012, vol. 148 (2), pp. 111–135.
36. Hoffman K., Jorgenson D.W. Economic and Technological Models for Evaluation

- of Energy Policy. *Bell Journal of Economics and Management Science*, 1977, vol. 8, no. 2, pp. 444–466.
37. Hogan W.W. Energy Policy Models for Project Independence. *Computers and Operations Research*, 1975, vol. 2, no. 3–4, pp. 251–271. DOI: 10.1016/0305-0548(75)90008-8.
38. Hudson E.A., Jorgenson D.W. U.S. Energy Policy and Economic Growth, 1975–2000. *Bell Journal of Economics and Management Science*, 1974, vol. 5, no. 2, pp. 461–514.
39. *International Handbook on Economics of Energy*. Edited by J. Evans, L.C. Hunt. Cheltenham. UK: Edward Elgar Publishing Ltd, 2009, 831 p.
40. Koh Y., Schreiner D.F., Shin H. Comparisons of Regional Fixed Price and General Equilibrium Models. *Journal of Regional Analysis and Policy*, 1993, vol. 23, no. 1, pp. 33–80.
41. Kopsakangas-Savolainen M. Quantity Versus Price Competition in the Deregulated Finnish Electricity Markets. *Finnish Economic Papers*, 2003, vol. 16, no. 2, pp. 51–60.
42. Kruijk H. *The EU Energy and Environmental Model EFOM-ENV Specified in GAMS. Model Description and User's Guide*. The Commission of European Communities. ECN-C-94-021, 1994, 87 p. Available at: <http://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/1994/c94021.pdf> (accessed 04 January 2015).
43. Kumar K.S.K. *Energy, Economy and Environment Models*. Centre of Excellence in Environmental Economics. Dissemination Paper No. 28, 2014. Available at: <http://coe.mse.ac.in/dp/DP-28.pdf> (accessed 15 January 2015).
44. *LEAP 2014 User Guide*. Stockholm Environment Institute, 2014. Available at: <http://www.energycommunity.org/WebHelpPro/LEAP.htm> (accessed 09 December 2014).
45. Loulou R., Goldstein G., Noble K. *Documentation for the MARKAL Family of Models*. Energy Technology Systems Analysis Programme, 2004, 32 p. Available at: http://www.iea-etsap.org/web/MrklDoc-I_StdMARKAL.pdf (accessed 16 January 2015).
46. Loulou R., Remne U., Kanudia A., Lehtila A., Goldstein G. *Documentation for the TIMES Model-PART I*. Energy Technology Systems Analysis Programme, 2005, 78 p. Available at: <http://www.etsap.org/Docs/TIMESDoc-Intro.pdf> (accessed 29 January 2015).
47. Manne A.S. ETA: A Model for Energy Technology Assessment. *Bell Journal of Economics and Management Science*, 1976, vol. 7, no. 2, pp. 379–406.
48. 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. Available at: http://www.iiasa.ac.at/publication/more_WP-84-071.php (accessed 03 January 2015).
49. Nouredine K.A. *Simultaneous Equations Model for World Crude Oil and Natural Gas Markets*. IMF. Working Paper WP/05/32, 2005. Available at: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2005/wp0532.pdf> (accessed 05 December 2014).
50. Olivera C., Antunes C.H. A Multiple Objective Model to Deal with Economy – Energy – Environment Interactions. *European Journal of Operational Research*, 2004, vol. 153, no. 2, pp. 370–385. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00159-0.
51. Partridge M.D., Rickman D.S. CGE Modeling for Regional Economic Development Analysis. *Regional Studies*, 2010, vol. 44, no. 10, pp. 1311–1328. DOI: 10.1080/00343400701654236.
52. Phdungsilp A. *Energy – Environment Modelling*. Royal Institute of Technology Stockholm, 2006. Available at: <http://www.energy.kth.se/courses/4A1613/EE2006-LEAP-modelling-notes.pdf> (accessed 07 January 2015).
53. Pindyck R.S. Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison. *Review of Economics and Statistics*, 1979, vol. 61, no. 2, pp. 169–179.
54. Pratten C. A Survey of the Economies of Scale. *Economic Papers*, no. 67, 1988. Available at: <http://aei.pitt.edu/36974> (accessed 13 December 2014).

55. Proença S.A., Aubyn M.S. *A Hybrid Top-Down/Bottom-up Model for Energy Policy Analysis in a Small Open Economy – the Portuguese Case*. Polytechnic Institute of Coimbra, Technical University of Lisbon. Discussion Paper No. 52, 2009, 25 p. Available at: http://www4.fe.uc.pt/ceue/working_papers/sara_miguel_52.pdf (accessed 26 December 2015).
56. Revesz T., Balabanov T. *A Guide to ATCEM-E3: Austrian Computable Equilibrium Model for Energy – Economy – Environment Interactions*. Corvinus University, The Austrian National Bank, 2007. Available at: https://www.ihs.ac.at/publications/eco/recent_publications/atcem-e3moddescr09.pdf (accessed 04 January 2015).
57. Ross M.T. *Structure of the Dynamic Integrated Economy – Energy – Emissions Model: Electricity Component, DIEM Electricity*. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. Working Paper No. NI WP 14-11, 2014. Available at: https://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/ni_wp_14-12_final.pdf (accessed 27 December 2014).
58. Rutherford T.F., Paltsev S.V. *GTAP-Energy in GAMS: The Dataset and Static Model*. Department of Economics, University of Colorado at Boulder. Working Paper No. 00-02, 2000, 42 p. Available at: <http://www.colorado.edu/economics/papers/papers00/wp00-2.pdf> (accessed 30 January 2015).
59. Santis R.A. A Computable General Equilibrium Model for Open Economies with Imperfect Competition and Product Differentiation. *Journal of Economic Integration*, 2002, vol. 17, no. 2. Pp. 311–338. DOI: 10.11130/jei.2002.17.2.311.
60. Sassi O., Crassous R., Hourcade J.-C., Gitz V., Waisman H., Guivarch C. *Imaclim-R: A Modelling Framework to Simulate Sustainable Development Pathways*. The International Research Center on Environment and Development, 2010, 32 p. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00566290> (accessed 20 January 2015).
61. Seung C.K., Kraybill D.S. The Effects of Infrastructure Investment: A Two-Sector Dynamic Computable General Equilibrium Analysis for Ohio. *International Regional Science Review*, 2001, vol. 24, no. 2, pp. 261–281. DOI: 10.1177/016001701761013150.
62. Shay C., Carolis J., Loughlin D, Gage C. *EPA U.S. National MARKAL Database*. U.S. Environmental Protection Agency. Database Documentation EPA-600/R-06/057, 2006, 130 p. Available at: http://www.epa.gov/nrmrl/appcd/pubs_reports.html#2006 (accessed 08 December 2014).
63. Truong T.P., Kemfert C., Bumiaux J.-M. *GTAP-E: An Energy – Environmental Version of the GTAP Model with Emission Trading*. German Institute for Economic Research. Discussion Papers No. 668. Berlin, 2007, 71 p. Available at: <http://www.diw.de/documents/publikationen/73/55787/dp668.pdf> (accessed 18 January 2015).
64. Wang W., Zeng W., Yao B. An Energy – Economy – Environment Model for Simulating the Impacts of Socioeconomic Development on Energy and Environment. *The Scientific World Journal*, vol. 2014, article ID 353602, 14 p. DOI: 10.1155/2014/353602.
65. Willenbockel D. *The Price Normalization Problem in General Equilibrium Models with Oligopoly Power: An Attempt at Perspective*. Middlesex University Business School. Discussion Paper, Series: Economics, 2005. Available at: <http://128.118.178.162/eps/ge/papers/0505/0505002.pdf> (accessed 10 December 2014).
66. Willenbockel D., Hoa H.C., Noi H. *Fossil Fuel Prices and Taxes: Effects on Economic Development and Income Distribution in Vietnam*. Institute of Development Studies at the University of Sussex, Central Institute for Economic Management, 2011. Available at: <http://www.vn.undp.org/content/dam/vietnam/docs/Publications/VN%20CGE%20analysis%20fossil%20fuel%20subsidy%20tax%20-%20paper%20-%20final.pdf> (accessed 14 January 2015).
67. Willis D. B., Holland D.W. *Natural Resource Supply Constraints and Regional Economic Analysis: A Computable General Equilibrium Approach*. The Southern Agricultural Economics Association. Alabama, 2003, 26 p.