

РАЗДЕЛ I. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 332.13:621.38

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ КОНЬЮНКТУРЫ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Л. Андрианов, д. физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой информационных систем и математических методов в экономике

Электронный адрес: andrianov@econ.psu.ru

Г.С. Старкова, асп. кафедры информационных систем и математических методов в экономике

Электронный адрес: starkova@prognoz.ru

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

В статье рассматриваются ключевые аспекты, методы и особенности прогнозирования электропотребления, а также дается описание разработанного с участием авторов «Программного комплекса региональной модели конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности Российской Федерации». Научная новизна работы состоит в том, что разработанный программный комплекс моделей, реализованный с использованием Prognoz Platform 7, позволяет получать сценарные прогнозные оценки электропотребления в разрезе основных групп потребителей на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективу.

Ключевые слова: моделирование и прогнозирование потребления электроэнергии; программный комплекс; информационно-аналитические системы.

Электроэнергия является одним из наиболее значимых продуктов, предназначенных для промежуточного потребления, ей принадлежит существенная доля в затратах многих видов экономической деятельности. Дефицит электроэнергии неизбежно ведёт к ограничению экономического роста [3]. Завышенный прогноз потребления электроэнергии приводит к увеличению издержек на поддержание в рабочем состоянии излишних резервных мощностей. Производители электроэнергии заинтересованы в прогнозах электропотребления с целью оперативного реагирования на спрос и оптимального развития инфраструктуры оптового рынка электроэнергии и мощности. Прогнозирование электропотребления приобретает особую актуальность, поскольку полученные результаты могут использоваться для формирования рациональной стратегии развития энергетики страны или отдельных её субъектов.

На основе анализа существующих методов и моделей прогнозирования энергопотребления в целом и электропотребления в ча-

стности авторами были выделены следующие тенденции: расширение числа внешних связей топливно-энергетического комплекса, переход от создания изолированных экономических и энергетических моделей к их синтезу, создание комплексов моделей, позволяющих отражать процесс энергопотребления в отдельных секторах экономики с различным уровнем детализации и агрегации моделируемых показателей, а также позволяющих проводить многовариантные сценарные расчёты [1, с. 216].

Исследователи создают комплексы экономико-математических моделей, учитывающие сложные, меняющиеся взаимосвязи между объёмами энергопотребления, условиями и уровнем развития экономики и топливно-энергетическим комплексом в целом. Из зарубежных разработок в первую очередь следует отметить известную французскую модель MEDEE [9], модели VLEEM [11], PRIMES [10], получившие распространение в странах Западной Европы, американские модели INRAD, ISTUM, NEMS [2],

ORIM, PURHAPS, канадскую CREECEM [4] и многие другие.

Одним из примеров подобных программных комплексов может служить созданный с участием авторов «Программный комплекс региональной модели конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности Российской Федерации», реализованный на базе ВІ-платформы Prognoz Platform 7. Целями создания данного программного комплекса являются операционное и долгосрочное прогнозирование потребления электроэнергии, что позволит обосновывать необходимость принятия инвестиционных решений по приобретению или продаже активов на новых или уже действующих электростанциях.

Объектом моделирования выступает конъюнктура регионального рынка электроэнергии и мощности в части спроса на электроэнергию и мощность с учётом влияния конечных цен для основных групп потребителей: промышленных предприятий, домохозяйств, органов муниципального управления и предприятий, предоставляющих жилищно-

коммунальные услуги, и других групп конечных потребителей. В соответствии с Федеральным законом №35 от 23.03.2003 под оптовым рынком электроэнергии необходимо понимать сферу обращения особых товаров – электрической энергии и мощности в рамках Единой энергетической системы России в границах единого экономического пространства РФ с участием крупных производителей и крупных покупателей электрической энергии и мощности, а также иных лиц, получивших статус субъектов оптового рынка и действующих на основе правил оптового рынка [8].

Модель конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности РФ включает в себя 4 основных блока моделирования и прогнозирования (рис. 1).

В каждом блоке моделирования и прогнозирования показатели (см. рис. 1) рассчитываются не только для субъектов Российской Федерации, но и для Объединённых энергетических систем, а также для Российской Федерации в целом.

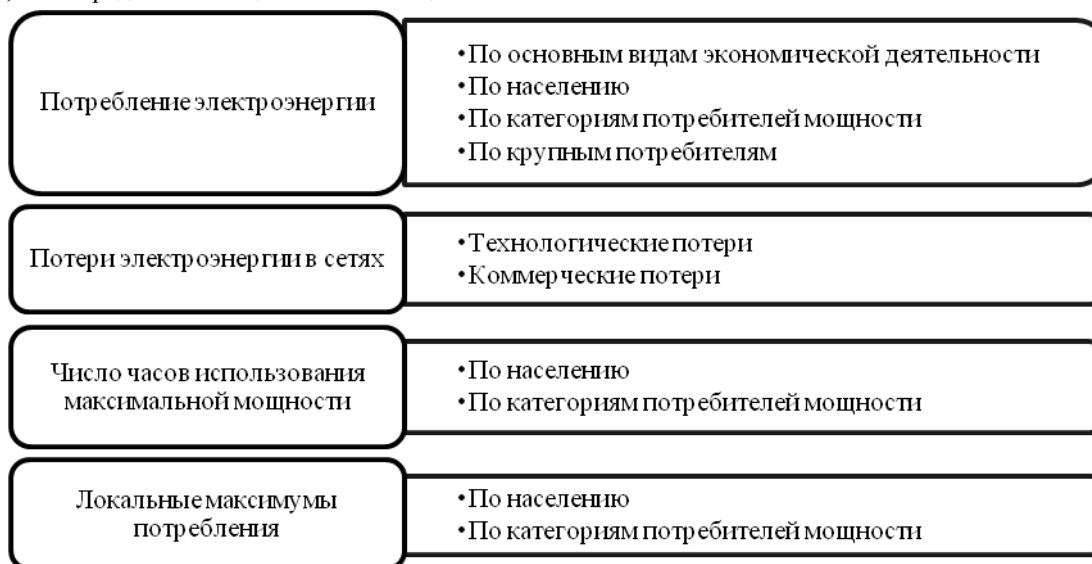


Рис. 1. Структура региональной модели конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности РФ

Для обеспечения программного комплекса актуальными данными, необходимыми для расчёта результирующих показателей, были использованы данные таких официальных источников, как Росстат, некоммерческое партнёрство «Совет рынка», Системный оператор Единой энергетической системы, Федеральная служба по тарифам, данные метеорологических служб, IEA – Electricity Information, IEA – World Energy Outlook, IEA – World Energy Statistics and Balances и других [7].

Ниже представлены ключевые аспекты построения моделей программного комплекса

«Региональной модели конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности РФ».

Трудности с получением длинных временных рядов потребления электроэнергии РФ в региональном разрезе связаны с изменениями в статистическом учёте (с 2005 г. электробалансы РФ и регионов стали формироваться в соответствии с Общероссийским классификатором видов экономической деятельности; с 2010 г. промышленность перешла с классификатора ОКП на классификатор ОКВЭД и другие), с неточностью сведений, получаемых от субъектов рынка электроэнергетики.

В настоящий момент основными источниками данных по потреблению электроэнергии являются Системный оператор Единой энергетической системы и Росстат. Однако есть определённые различия в этих данных. Системный оператор не учитывает потребление электроэнергии «внесистемной» электроэнергетикой (энергоустановки, не имеющие выход в электросеть «общего пользования»), а Росстат, в свою очередь, учитывает только полное потребление электроэнергии в регионе. Динамика электропотребления в регионах по данным Системного оператора ЕЭС ($V_{\text{сист.оператор ЕЭС}}$) более логична и отражает динамику изменений региональной экономики. Но данные Системного оператора не структурированы по видам экономической деятельности. Поэтому на основании данных Росстата были рассчитаны доли видов экономической деятельности в электробалансе регионов ($q_{\text{ВЭД}}$), после чего в силу относительной устойчивости полученных значений долей был произведён расчёт потребления электро-

энергии по ВЭД ($V_{\text{ВЭД расч.}}$) на основании данных Системного оператора:

$$V_{\text{ВЭД расч.}} = V_{\text{сист.оператор ЕЭС}} \cdot q_{\text{ВЭД}}$$

При построении комплекса моделей на первом этапе были построены модели для регионального потребления электроэнергии. Далее на основе данных Росстата о потреблении электроэнергии в экономической деятельности различных видов были рассчитаны доли электропотребления по отдельным категориям потребителей (табл. 1): категория 1 (потребление свыше 10 МВт/ч), категория 2 (потребление от 670 КВт/ч до 10 МВт/ч) и категория 3 (потребление менее 670 КВт/ч). Доли «пограничных» ВЭД определялись экспертно, согласно наличию на территории региона крупных и средних предприятий соответствующего вида деятельности. После умножения соответствующих долей на потребление электроэнергии будут найдены значения потребления электроэнергии для отдельных категорий потребителей в соответствии с выбранной классификацией.

Таблица 1

Сопоставление категорий потребителей электроэнергии и ОКВЭД

ОКВЭД		Категория потребителей электроэнергии
A	Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	3
CA	Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых	1
CB	Добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических	1
DA	Производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака	3
DB	Текстильное и швейное производство	2
DC	Производство кожи, изделий из кожи и производство обуви	2
DD	Обработка древесины и производство изделий из дерева	1, 2
DE	Целлюлозно-бумажное производство; издательская и полиграфическая деятельность	1, 2
DF	Производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов	1
DG	Химическое производство	1
DH	Производство резиновых и пластмассовых изделий	1, 2
DI	Производство прочих неметаллических минеральных продуктов	2
DJ	Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	1
DK	Производство машин и оборудования	1, 2
DL	Производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	2
DM	Производство транспортных средств и оборудования	1, 2
DN	Прочие производства	3
E	Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	2
F	Строительство	2, 3
I	Транспорт и связь	2, 3
O	Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	3
-	Прочие виды деятельности	3

Показатель «Потребление электроэнергии населением» рассчитывался на первом этапе

моделирования в разрезе субъектов РФ. Далее на основе данных Росстата о потреблении элек-

троэнергии различными группами населения в ежегодной динамике по региону рассчитывались соответствующие доли городского и сельского населения в потреблении электроэнергии. Потребление электроэнергии городским и сельским населением рассчитывалось путём умножения соответствующих долей на общее потребление электроэнергии населением.

Для прогнозирования потерь электроэнергии в энергосетях регионов в программном комплексе вводится вспомогательный показатель – коэффициент потерь, рассчитываемый с помощью экстраполяционной модели.

В рамках построенного программного комплекса количество часов использования мощности определяется для трёх категорий потребителей, а также для городского и сельского населения. Количество часов использования мощности (ЧЧИМ) представляет собой отношение суммарного заявленного годового электропотребления соответствующей категорией потребителей по каждому региону ($W_{\text{заяв.год}}$) к фактической максимальной мощности категории потребителей в часы максимальных нагрузок по каждому региону (P_{max}):

$$\text{ЧЧИМ} = W_{\text{заяв.год}} / P_{\text{max}}$$

При построении комплекса моделей внимание уделялось не только качеству построенных моделей, но и возможности экономической интерпретации полученных результатов. Между построенными моделями существуют взаимосвязи, обеспечивающие информационное, логическое, математическое и алгоритмическое единство. В построенный комплекс моделей входит около 11 тысяч уравнений, включая расчёт вспомогательных и результирующих показателей, детерминированные уравнения, балансовые соотношения, линейные парные и множественные регрессии, модели с учётом авторегрессоров и скользящих средних, модели, учитывающие сезонные колебания и др.

На основе Prognoz Platform 7 построен единый комплекс моделей, связывающий переменные различных моделей информационными каналами. Эндогенные переменные одних моделей являются экзогенными для других. Кроме того, переменные, описывающие внешнюю сре-

ду, задаются единожды и учитываются во всех моделях.

Для учёта разнообразия и комплексности изменений внешней среды было принято решение об использовании сценарного прогнозирования, позволяющего получить ответ на вопрос: «Что будет, если ..?». Иными словами, полученные прогнозные значения зависят от экзогенно заданных сценарных параметров модели. В разработанном программном комплексе все расчёты были проведены по трём основным сценариям: базовому, оптимистическому и пессимистическому. Между собой сценарии различаются внешнеэкономической конъюнктурой и параметрами государственной политики.

Построенный программный комплекс позволяет получать прогнозы электропотребления в разрезе перечисленных ранее потребителей в динамике по месяцам на год вперёд, в квартальной динамике – на последующие 4 года, в годовой динамике – на последующие 15 лет. Отличительной особенностью построения факторных моделей в годовой динамике и динамике по месяцам является предварительная очистка данных в динамике по месяцам от сезонных колебаний, осуществляемой с помощью процедуры Census II, которая позволяет разложить исходный ряд на тренд-циклическую и сезонную составляющие [5]. В связи с обнаруженным изменением амплитуды колебания сезонного фактора и отсутствием относительно постоянной сезонной вариации применялась мультипликативная модель. При этом исходный ряд можно получить с помощью обратных преобразований после моделирования тренд-циклической составляющей временного ряда.

После построения всех моделей был проведен бэкстестинг региональных моделей конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности РФ на периоде идентификации 1993-2011 гг. и прогнозным периодом – 2012 г., результатом которого стало выявление ряда регионов, потребление электроэнергии в которых довольно сильно отклоняется от фактических данных. Одной из причин значительных погрешностей являются инерционные факторы, заложенные в моделях. Для более полного анализа все авторегрессоры из моделей были удалены, после чего бэкстестинг был проведен повторно. Его результаты по ряду регионов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Анализ результатов бэкстестинга моделей различных спецификаций

Регион	Отклонение от факта за 2012 г., %	
	Модели с учетом авторегрессоров	Факторные модели без учета авторегрессоров
Белгородская область	6,46	1,81
Республика Бурятия	10,76	0,80
Волгоградская область	6,34	4,58

Окончание табл. 2

Регион	Отклонение от факта за 2012 г., %	
	Модели с учетом авторегрессоров	Факторные модели без учета авторегрессоров
Санкт-Петербург	10,03	1,12
Республика Хакасия	18,82	3,14
Самарская область	10,95	3,62
Пермский край	0,382	0,375
Иркутская область	5,59	4,07
Нижегородская область	5,38	3,29
Республика Марий Эл	6,74	5,31
Воронежская область	7,91	6,25

Факторные и авторегрессионные модели имеют свои преимущества и недостатки. Так, факторные модели более чувствительны к внешним факторам и, как следствие, способны в период посткризисного восстановления экономики более адекватно описывать реальность.

В свою очередь модели с авторегрессорами способны уловить долгосрочные тенденции, которые складываются с 1993 г. При увеличении периода идентификации (например, до 2012 г. – см. табл. 3) и удалении от кризисного периода данные модели способны более адекватно описывать реальность.

Таблица 3

Анализ полученных результатов прогнозирования

Регион	Отклонение от факта за 1 пол. 2013 г., %
Белгородская область	-1,18
Республика Бурятия	-2,70
Волгоградская область	+3,64
Санкт-Петербург	-0,77
Республика Хакасия	-1,32
Самарская область	+1,78
Пермский край	+0,58
Иркутская область	-0,01
Нижегородская область	+1,28
Республика Марий Эл	+0,39
Воронежская область	+2,06

По результатам проведенных расчетов количество регионов с существенным отклонением от фактических данных оказалось незначительным, а отклонение по всей Российской Федерации – не превышающим 5%.

Одной из особенностей построенных региональных моделей является реализация комплексного подхода к моделированию внутренних и внешних связей региональной системы электропотребления, при котором динамика потребления электроэнергии описывается в тесной взаимосвязи с экономическим развитием региона.

Использование подобных моделей и реализованных на их основе программных комплексов позволяет прогнозировать развитие и функционирование электроэнергетики, что во многом определяет энергетическую безопасность страны в целом. В сочетании со сценарным подходом и использованием современных информационных технологий они представляют эффективный инструментарий для поддержки принятия управленческих решений на государ-

ственном уровне в сфере энергетики. Результаты прогнозирования электропотребления могут быть использованы для формирования рациональной стратегии развития энергетики как страны в целом, так и отдельных её субъектов [6].

Список литературы

1. Андрианов Д.Л., Науменко Д.О., Старкова Г.С. Анализ методов и моделей энергопотребления на макроуровне // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Экономические науки. 2012. Вып. 4. С. 215-219.
2. Коган Ю.М. Современные проблемы прогнозирования потребности в электроэнергии // Открытый семинар «Экономические проблемы энергетического комплекса» / ИНП РАН. М., 2006. 34 с.
3. Максимов В.П., Чадов А.Л. Краевые задачи экономической динамики с приближенным выполнением краевых условий. Конструктивное исследование. // Вестник

Пермского университета. Сер. Экономика. 2012. Вып. 3. С. 12-17.

4. *Методы и модели прогнозных взаимосвязей энергетики и экономики* / Ю.Д. Кононов, Е.В. Гальперова, Д.Ю. Кононов и др. Новосибирск: Наука, 2009. 178 с.

5. *Симонов П.М.* Об одном методе исследования динамических моделей микроэкономики // Вестник Пермского университета. Сер. Экономика. 2012. Спец. выпуск. С. 50-57.

6. *Старкова Г.С.* Программный комплекс анализа конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности // Information Models and Analyses. 2013. Vol. 2, №3. P. 292-299.

7. *Старкова Г.С.* Создание региональной модели конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности Российской Федерации: сб. матер. науч.-практ. конф. «Междисциплинарные исследования» (Пермь, 9–11 апреля 2013 г.) / гл. ред. Ю.А. Шарапов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2013. Т. 1. С. 145-148.

8. *Федеральный закон РФ «Об электроэнергетике»* от 23.03.2003 г. № 35-ФЗ (в ред. от 23.08.2012) [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

9. *Cheatue B., Lapillone B.* The MEDEE Approach: Analysis and Long-Term Forecasting of Final Energy Demand of Country France, 1978. 93 p.

10. *The PRIMES Energy System Model Summary Description* / National Technical University of Athens. European Commission Joule-III Programme. URL: <http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/PRIMsd.pdf> (дата обращения: 23.08.2013).

11. *VLEEM – Very Long Term Energy Environmental Modelling: Final Report.* URL: <http://www.vleem.org/PDF/annex1-demande-model.pdf> (дата обращения: 23.08.2013).