

УДК 338.45:621.38

Г.С. СТАРКОВА, старший преподаватель кафедры информационных систем и математических методов в экономике
ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, ул. Букирева, 15
ведущий специалист
ЗАО «ПРОГНОЗ», г. Пермь, ул. Данщина, 5
Электронный адрес: starkova@prognoz.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ¹

В статье рассмотрены основные аспекты и этапы разработки программного комплекса региональных моделей потребления электроэнергии в Российской Федерации, позволяющего решать задачи среднесрочного и стратегического прогнозирования потребления электроэнергии, а также принимать инвестиционные решения, связанные с развитием инфраструктуры в области электроэнергетики.

Ключевые слова: региональный рынок электроэнергии; потребление электроэнергии; моделирование и сценарное прогнозирование; программный комплекс региональных моделей; хранилище данных; информационно-аналитические системы

Математическое моделирование объемов потребления электроэнергии в условиях современного развития оптового рынка электроэнергии и мощности приобретает особое значение. Производители электроэнергии заинтересованы в точных прогнозах электропотребления с целью оперативного реагирования на возникающие колебания спроса и дальнейшего развития инфраструктуры. Крупные энергопотребители также заинтересованы в составлении точных прогно-

зов потребления электроэнергии в силу возникновения штрафных санкций со стороны производителей электроэнергии при отклонении фактического потребления электроэнергии от заявленного ранее. Кроме того, технологическое единство и совпадение во времени процессов генерации, передачи, распределения и потребления электроэнергии приводит к жесткой зависимости режима и объема производства электроэнергии от объема ее потребления, обусловленной также невозможностью складирования электроэнергии [11].

Прогнозирование потребления электроэнергии – многоэтапный и многоуровневый процесс, результаты которого могут быть использованы при формировании стратегии развития энергетики страны в целом и отдельных ее субъектов в частности. Разработанный с участием автора программный комплекс

¹ Проект выполняется в рамках постановления Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

региональных моделей потребления электроэнергии в Российской Федерации внедрен в Группе «Интер РАО» – диверсифицированном энергетическом холдинге, управляющем активами в России, а также странах Европы и СНГ, в виде «Программного комплекса моделирования конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности в РФ».

Рассматриваемый программный комплекс региональных моделей является неотъемлемой частью интегрированной системы стратегического планирования для Группы «Интер РАО» (рис. 1). Объемы спроса на электроэнергию, рассчитанные с помощью региональных моделей, поступают на вход в модель оптового рынка электроэнергии и мощности и в интегрированную модель стоимости. С учетом фактических данных за отчетный период и плановых данных об операционной деятельности, а также полученных прогнозных оценок объемов спроса на электроэнергию по субъектам РФ, в результате расчета интегрированной модели стоимости формируются объемы продаж по регулируемым договорам купли-продажи электроэнергии (РД), свободным двусторонним договорам купли-продажи электроэнергии (СДД) и свободным договорам купли-продажи мощности (электроэнергии и мощности) (СДМ), рассчитываются постоянные затраты и инвестиционные проекты. Далее вся полученная информация, а также данные модели рынка первичных энергоносителей поступают на вход модели оптового рынка электроэнергии и мощности, в результате которой получаем объем и цену по рынку на сутки вперед (РСВ) и балансирующему рынку (БР), а также конкурентному отбору мощности (КОМ) и прогноз цен на первичные энергоносители.



Рис. 1. Интегрированная система стратегического планирования

Целью создания региональных моделей потребления электроэнергии является среднесрочное (горизонт планирования – 5 лет) и долгосрочное

стратегическое прогнозирование (горизонт – до 20 лет) спроса на электроэнергию. Объектом моделирования выступает конъюнктура регионального рынка электроэнергии в части спроса на электроэнергию и мощность с учетом влияния конечных цен для основных групп потребителей оптового рынка электроэнергии и мощности РФ. Под конъюнктурой рынка будем понимать «экономическую ситуацию, складывающуюся на рынке, характеризующуюся уровнями спроса и предложения, рыночной активностью, ценами, объемами продаж, а также динамикой производства и потребления» [8].

В соответствии со ст. 3 федерального закона № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», оптовый рынок электрической энергии и мощности – это сфера обращения особых товаров – электрической энергии и мощности в рамках Единой энергетической системы России в границах единого экономического пространства Российской Федерации с участием крупных производителей и крупных покупателей электрической энергии и мощности, а также иных лиц, получивших статус субъекта оптового рынка и действующих на основе правил оптового рынка [6].

До разработки и внедрения программного комплекса специалисты Группы «Интер РАО» использовали официальные прогнозы Министерства экономического развития РФ. Отсутствие собственной модели прогнозирования спроса на электроэнергию в разбивке по регионам России и по видам экономической деятельности, необходимость в автоматизированной поддержке прогнозирования спроса на продукцию, а также управлении инвестиционными проектами стали предпосылками создания программного комплекса [3].

Комплексный подход к изучению конъюнктуры рынка предполагает использование различных взаимодополняющих источников информации, сформированных на основе единых методологических принципов, сочетании ретроспективного анализа с прогнозом рассматриваемых показателей, характеризующих конъюнктуру данного рынка, применении совокупности различных моделей и методов анализа и прогнозирования.

Для решения поставленной задачи прогнозирования потребления электроэнергии в рамках данной статьи рассматривается построение программного комплекса региональных моделей на основе эконометрических уравнений, отражающих различные аспекты электропотребления. Программный комплекс позволяет рассчитывать потребление электроэнергии не только в целом по стране, но и по объединенным энергетическим системам, по субъектам РФ, при этом учитывается потребление различными категориями потребителей. На текущий момент программный комплекс моделей включает в себя около 12 тыс. уравнений, из них порядка 130 уравнений эконометрического и балансового характера для каждой из 69 региональных энергосистем, а также для 2 городов федерального значения, для 7 Объединенных энергетических систем и для Единой энергетической системы в целом. В комплекс входят модели потребления электроэнергии в разрезе видов экономической деятельности (промышленность, сельское хозяйство, транспорт и связь, строительство, другие виды экономической

деятельности), модели потребления электроэнергии населением (городское и сельское население), модели потерь электроэнергии (коммерческие и технологические потери), модели потребления электроэнергии по 3 основным категориям, выделяемым Федеральной службой по тарифам РФ [10], модели, позволяющие рассчитывать число часов использования мощности и локальные максимумы потребления мощности.

Информационную базу программного комплекса региональных моделей образуют официальные данные Росстата, Федеральной службы по тарифам, некоммерческого партнерства «Совет рынка», Системного оператора Единой энергетической системы, метеорологических служб и ряда других официальных источников. В качестве экзогенных переменных при моделировании различных аспектов электропотребления выступают параметры сценарных условий социально-экономического развития регионов России, разрабатываемые Министерством экономического развития Российской Федерации, параметры денежно-кредитной и тарифной политики (рис. 2) [2].

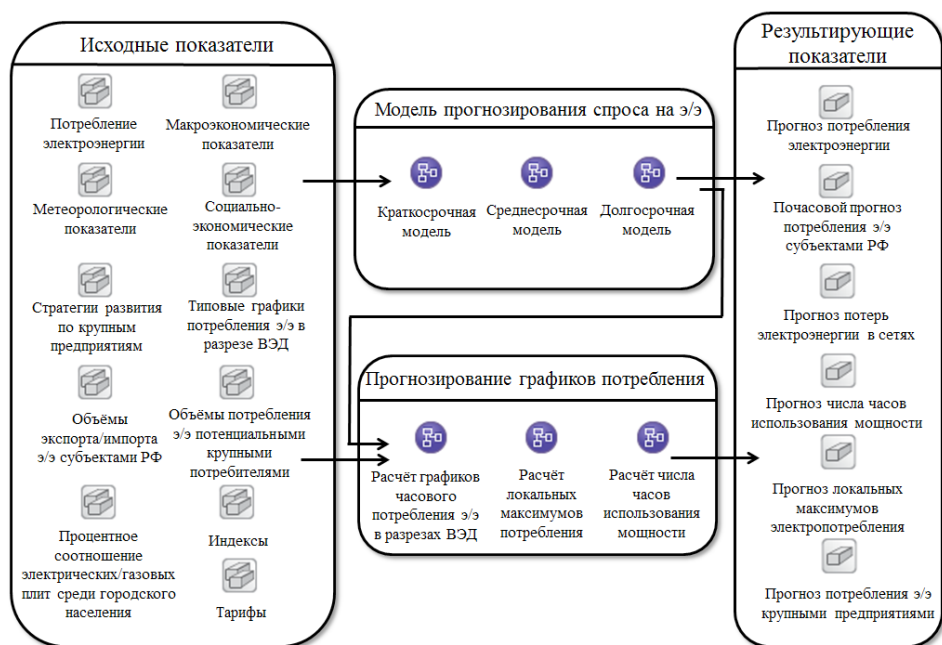


Рис. 2. Укрупненная схема прогнозирования на основе комплекса моделей [2]

Одним из исходных условий надежности полученных прогнозных значений является многофакторность (рис. 3). В построенных моделях динамика потребления электроэнергии описывается во взаимосвязи с экономическим ростом и экономической эффективностью производства. Рассматриваемые модели являются равновесными, поскольку включают как прямые, так и обратные связи, что соответствует реальным моделируемым системам и обеспечивает внутреннюю сбалансированность построенных прогнозов [4].



Рис. 3. Укрупненная схема модели потребления электроэнергии населением

В структуре рассматриваемого программного комплекса региональных моделей можно выделить 3 вида моделей в зависимости от периода прогнозирования. В соответствии с поставленной задачей, это краткосрочные модели с периодом прогнозирования 1 год с динамикой по месяцам; среднесрочные модели квартальной динамики с периодом прогнозирования на 4 последующих года и долгосрочные модели годовой динамики с периодом прогнозирования на последующие 15 лет.

Для получения среднесрочных прогнозов в квартальной динамике предлагается построение моделей в ежемесячной динамике с последующей агрегацией полученных значений до квартальных. При построении краткосрочных и среднесрочных моделей необходимо учитывать сезонный характер потребления электроэнергии.

Процесс потребления электроэнергии в общем случае представляет собой сложный случайный нестационарный процесс, который может быть представлен несколькими составляющими [1]. На ретроспективном периоде анализ временных рядов, характеризующих потребление электроэнергии, позволил выявить изменчивую амплитуду сезонного фактора и отсутствие относительно постоянной сезонной вариации. Выявленные факты свидетельствуют о присутствии мультипликативных моделей сезонности:

$$X_t = TC_t \cdot S_t,$$

где X_t – значение временного ряда в момент времени t ;

TC_t – тренд-циклическая составляющая временного ряда;

S_t – сезонная составляющая временного ряда.

В качестве задач сезонной декомпозиции необходимо отметить прежде всего выявление тенденций и закономерностей в рассматриваемых временных рядах и своевременное обнаружение отклонений показателей, не связанных с сезонными колебаниями. Сезонная компонента отражает в первую очередь сезонные колебания с учетом нестабильных календарных эффектов в течение

года (количество рабочих, выходных и праздничных дней, признак високосного года). Тренд-циклическая компонента позволяет учитывать долговременные изменения, более продолжительные, чем период сезонности [9].

Сезонная декомпозиция была выполнена с помощью метода сезонной корректировки Census II, принятым Статистическим управлением США (US Bureau of the Census) [12]. Для целей дальнейшего моделирования была использована очищенная от сезонности тренд-циклическая составляющая, после получения соответствующих прогнозов искомые временные ряды были найдены при помощи обратных преобразований.

В процессе передачи электроэнергии возникает разность между объемом поставленной электроэнергии в сеть и объемом потребленной электроэнергии. Данная разность образует величину фактических (отчетных) потерь электроэнергии. Они могут быть вызваны различными причинами, но наиболее распространенные из них – погрешности измерений фактически отпущенной и полезно отпущенной электроэнергии для потребителей; занижение полезного отпуска вследствие технических потерь и неучтенные подключения потребителей [7].

В рамках программного комплекса региональных моделей потребления электроэнергии в РФ для прогнозирования фактических потерь электроэнергии в энергосетях регионов был введен вспомогательный показатель – коэффициент потерь. Коэффициент потерь на периоде идентификации моделей был рассчитан на основании данных электробалансов по всем субъектам РФ, на периоде прогнозирования определялся с помощью экстраполяционных моделей. После нахождения величин фактических потерь электроэнергии для всех регионов РФ на периоде прогнозирования возможна их классификация на технологические и коммерческие. Доли технологических потерь на периоде идентификации были определены на основании данных электросетевых компаний (например, ОАО «Россети»). Величина коммерческих потерь определялась как разность между величиной фактических и технологических потерь. Приводим прогнозные оценки отчетных потерь электроэнергии в сетях за 2015 г. по базовому сценарию (рис. 4).



Рис. 4. Прогнозные оценки отчетных потерь электроэнергии в сетях по базовому сценарию за 2015 г.

Программный комплекс региональных моделей потребления электроэнергии в РФ создан на базе Prognoz Platform 7 – BI-платформы для создания и разработки настольных, web и мобильных приложений, объединяющей современные технологии хранилищ данных, визуализации, оперативного анализа данных (OLAP), формирования отчетности, а также моделирования и прогнозирования бизнес-процессов [3]. Prognoz Platform разработана с использованием языка Microsoft Visual C++. Взаимодействие компонентов платформы осуществляется с помощью COM-технологии (Microsoft Component Object Model), часть механизмов взаимодействия реализована с использованием web-сервисов.

Структурно Prognoz Platform 7 содержит 3 функциональных блока:

1. Единая инфраструктура ведения метаданных:
 - модуль администрирования и информационной безопасности;
 - модуль управления метаданными;
 - BI-сервер и web-сервисы.
2. Средства разработки и интеграционные компоненты:
 - конструктор хранилища данных;
 - модуль управления нормативно-справочной информацией;
 - извлечение, обработка и загрузка данных;
 - среда разработки приложений;
 - компоненты деловой графики;
 - интеграция с порталами и социальными сетями.
3. Инструменты аналитической обработки и представления информации:
 - аналитические панели;
 - конструктор отчетов;
 - экспресс-анализ;
 - анализ временных рядов;
 - моделирование и прогнозирование;
 - карты показателей.

Программный комплекс региональных моделей потребления электроэнергии в РФ, разработанный и реализованный с участием автора, включает в себя следующие ключевые модули: модуль интеграции с существующими системами, единое хранилище данных, модуль моделирования, оперативная база данных, модуль визуализации данных и формирования отчетов и модуль прогнозирования социально-экономического развития.

Полученные прогнозные оценки потребления электроэнергии при расчете комплекса моделей по базовому сценарию 7 Объединенными энергетическими системами на период с 2013 по 2017 гг. приведены на рис. 5.

Для получения прогнозных оценок регионального потребления электроэнергии в сценарных расчетах преимущественно использовались значения экзогенных переменных, полученные в результате применения информационно-аналитической системы мониторинга, анализа и прогнозирования социально-экономического развития субъектов РФ [5]. Данная информационно-аналитическая система внедрена в Министерстве экономического развития РФ и позволяет проводить многовариантные сценарные расчеты по ключевым социально-экономическим и финансовым показателям развития России и ее субъектов.

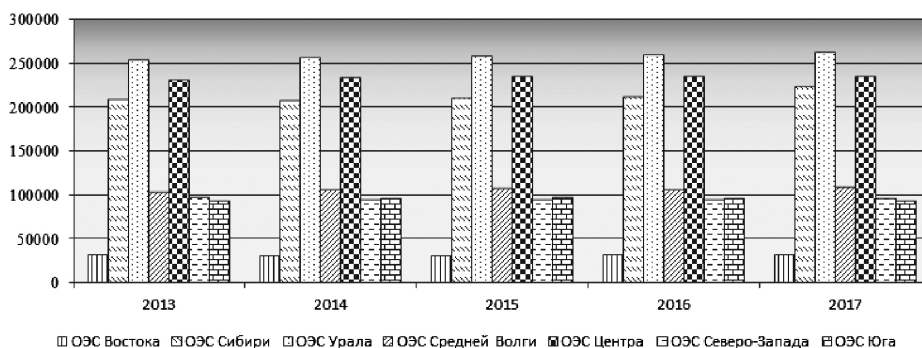


Рис.5. Прогноз потребления электроэнергии Объединенными энергетическими системами на 2013-2017 гг. по базовому сценарию

В качестве примера рассмотрим базовый сценарий, предполагающий среднегодовой рост ВВП порядка 3%, среднегодовой темп роста индекса потребительских цен в размере 4,33%, среднегодовой темп роста номинальной начисленной заработной платы 7,8% и ряд других показателей.

Благодаря удобному и интуитивно понятному пользовательскому интерфейсу существует возможность настройки следующих параметров расчета:

- период идентификации моделей;
- период прогнозирования;
- сценарий расчета;
- субъект РФ.

Соответственно, пользователь самостоятельно настраивает параметры расчета, что позволяет значительно экономить время расчета всего комплекса моделей. Существует возможность отдельно проводить расчет для краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных моделей для каждого субъекта РФ в отдельности и в целом для страны по одному или нескольким выбранным сценариям.

Пример разработанной отчетной формы визуализации полученных результатов сценарного моделирования и прогнозирования потребления электроэнергии Российской Федерации по трем сценариям (базовый, оптимистический и пессимистический) приведен на рис. 6.

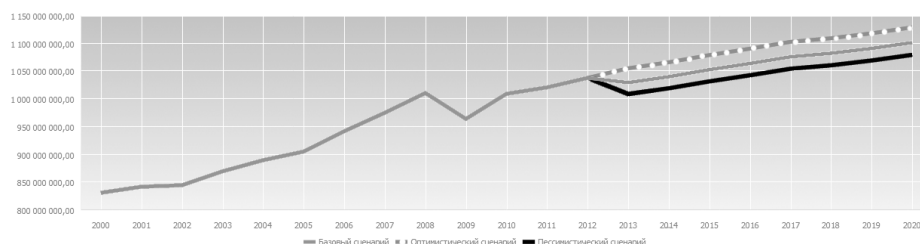


Рис. 6. Пример разработанной отчетной формы визуализации полученных результатов сценарного моделирования и прогнозирования потребления электроэнергии РФ

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что потребление электроэнергии в России имеет тенденцию к ежегодному увеличению в размере порядка 2-6% на периоде прогнозирования с 2013 по 2033 г. Увеличение потребления электроэнергии наблюдается во всех секторах экономики, однако рост не везде однороден. Данный факт связан с неравномерным развитием секторов экономики и различным уровнем электроемкостей видов экономической деятельности. Кроме того, наблюдается неравномерное социально-экономическое развитие регионов России.

В настоящий момент работа над созданием и усовершенствованием программного комплекса региональных моделей потребления электроэнергии в РФ продолжается. После публикации официальной статистической информации за 2013 г., необходимой для идентификации построенных моделей, будет осуществлена переоценка параметров построенных моделей, а также будет осуществлен сдвиг периода прогнозирования до 2034 г. соответственно. В случае необходимости также возможно расширение функциональных возможностей модуля консенсус-прогнозов и средств визуализации данных. Кроме того, в ближайшее время планируется усовершенствование модуля моделирования числа часов использования мощности и локальных максимумов потребления электроэнергии с большей степенью детализации полученных результатов, а также учет экспортно-импортных операций.

Список литературы

1. АИС РЭМ НП «Совет Рынка» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ais.np-sr.ru> (дата обращения: 14.07.2014).
2. Андрианов Д.Л., Старкова Г.С. Разработка программного комплекса региональных моделей конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности в части спроса на электроэнергию в Российской Федерации [Электронный ресурс] // Управление экон. системами: электрон. науч. журн. 2013. № 12. URL: <http://uecs.ru/instrumentalnii-metody-ekonomiki/item/2639-2013-12-19-08-29-59> (дата обращения: 18.07.2014).
3. ЗАО «ПРОГНОЗ» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.prognoz.ru> (дата обращения: 16.07.2014).
4. Кокищаров В.А. Методический подход к формированию прогнозных энергетических балансов промышленности региона // Вестн. Челяб. гос. ун-та. Сер.: Экономика. 2011. Вып. 31, № 6 (221). С. 91-96.
5. Министерство экономического развития Российской Федерации: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.economy.gov.ru/minec/main> (дата обращения: 16.07.2014).
6. Об электроэнергетике [Электронный ресурс]: федер. закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172907/ (дата обращения: 12.07.2014).
7. ООО НПЦ «Энерком-Сервис» [Электронный ресурс]. URL: <http://enercomserv.ru> (дата обращения: 14.07.2014).
8. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь: 5-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2006. 494 с.

9. *Федеральная служба государственной статистики*: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 16.07.2014).
10. *Федеральная служба по тарифам России*: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fstrf.ru> (дата обращения: 14.07.2014).
11. *BP Global* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bp.com> (дата обращения: 14.07.2014).
12. *Findley D.F., Monsell B.C., Shulman H.B., Pugh M.G.* Sliding Spans Diagnostics for Seasonal and Related Adjustments: Statistical Research Division Report No. CENSUS/SRD/RR-86/18, Bureau of the Census, 1988.