

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА КОНЪЮНКТУРЫ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Галина Старкова

**Abstract:** В статье приводится анализ текущего состояния рынка электроэнергии Российской Федерации, рассматриваются ключевые моменты построения программного комплекса анализа конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности, предназначенного для операционного и долгосрочного прогнозирования потребления электроэнергии, а также для поддержки принятия инвестиционных решений по приобретению или продаже активов, по размещению объектов строительства на новых или на уже действующих электростанциях. Расширение числа внешних связей топливно-энергетического комплекса, переход от создания изолированных экономических и энергетических моделей, приводят к необходимости создания программных комплексов моделей, позволяющих отражать процесс энергопотребления в отдельных секторах экономики с различным уровнем детализации и агрегации моделируемых показателей, позволяющих также проводить многовариантные сценарные расчёты. Созданный программный комплекс анализа конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности содержит модули моделирования и прогнозирования конечного потребления электроэнергии, потерь электроэнергии в сетях, числа часов использования мощности, а также локальных максимумов потребления электроэнергии на среднесрочную и долгосрочную перспективу. Полученные результаты могут быть использованы для формирования рациональной стратегии развития энергетики как страны в целом, так и отдельных её субъектов в частности. Программный комплекс региональной модели конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности реализован на базе PROGNOZ Platform (интегрированная платформа для создания информационно-аналитических систем и систем поддержки принятия решений, объединяющая технологии построения хранилищ данных, средства формирования отчётности и оперативного анализа данных, инструменты моделирования и прогнозирования).

**Keywords:** конъюнктура оптового рынка электроэнергии и мощности РФ; моделирование электропотребления; эконометрическое моделирование; информационно-аналитические системы; системы поддержки принятия решений; хранилища данных.

**ACM Classification Keywords:** H. Information Systems. H.4 Information Systems Applications: H.4.2 Types of Systems – Decision support (e.g., MIS).

**Conference topic:** Business Informatics.

---

### Введение

Электроэнергия является одним из наиболее значимых продуктов, предназначенных для промежуточного потребления предприятиями, и составляет существенную долю в затратах многих видов экономической деятельности. Дефицит электроэнергии неизбежно влечёт к ограничению экономического роста. Кроме

того, недооценка ожидаемого потребления электроэнергии приводит к необходимости использования дорогих пиковых станций. 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 с целью оптимального развития инфраструктуры. Эффективность мероприятий по управлению потреблением электроэнергии, качество планирования и экономичность режимов работы энергосистемы определяются достоверностью прогноза. Повышение точности прогноза потребления электроэнергии способствует экономии энергоресурсов, увеличению эффективности работы и соответственно увеличению прибыли предприятий энергетики.

Таким образом, прогнозирование динамики электропотребления в стране приобретает особую актуальность. Прогнозирование электропотребления является многоэтапным и многоуровневым процессом, результаты которого могут использоваться для формирования рациональной стратегии развития энергетики как страны в целом, так и отдельных её субъектов в частности.

### Анализ российского рынка электроэнергетики

В экономике энергетической отрасли по-прежнему сохраняются долгосрочные тенденции. Эти тенденции проявляются в увеличении объёма потребляемой энергии, повышении производства и потребления энергии, а также растущей диверсификации её источников [1]. Наиболее мощными движущими силами спроса на энергию выступают рост численности населения и рост доходов населения. По данным компании BritishPetroleum «за последние 20 лет численность населения мира увеличилась на 1,6 млрд. человек и, как ожидается, возрастет на 1,4 млрд. человек в предстоящие 20 лет. Реальный доход в мире увеличился на 87% за прошедшие 20 лет и, скорее всего, возрастет на 100% в течение следующих 20 лет» [2].

В настоящий момент в составе Единой Энергетической Системы (ЕЭС) России функционируют 69 региональных энергосистем, которые, в свою очередь, образуют 7 Объединённых энергосистем (ОЭС): Средней Волги, Урала, Центра, Северо-Запада, Юга и Сибири. Развитие Единой энергетической системы России происходило путём поэтапного объединения и организации параллельной работы региональных энергетических систем, формирования межрегиональных объединённых энергосистем (ОЭС) и их последующего объединения в составе Единой энергетической системы. Переход к такой форме организации был обусловлен необходимостью более рационального использования энергетических ресурсов, повышения экономичности и надёжности электроснабжения страны. Фактическое потребление электроэнергии по ЕЭС России в 2011 г. составило 1 038 250 тыс. МВт·ч, что выше фактического значения в 2012 г. на 1,7% и выше значения в 2010 г. на 2,8% (рис. 1, [3]).

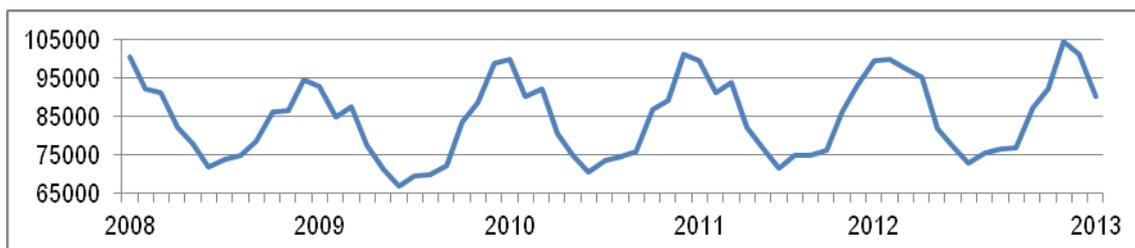


Рисунок 1. Объём потребления электроэнергии в РФ (тыс. МВт·ч/мес)

Потребление электроэнергии в России носит волатильный характер, тесно связанный с «утяжелённой» структурой экономики, которая характеризуется потреблением больших объёмов электроэнергии электроёмкими отраслями промышленности при относительно низкой диверсификации промышленности и незначительной доле неэлектроёмкой сферы услуг.

Динамика электропотребления РФ преимущественно зависит от динамики промышленного производства, что отражается в высокой эластичности электропотребления в промышленном производстве (табл. 1).

Таблица 1. Структура потребления электроэнергии в 2011 г. [4]

	млн.кВт.час	Доля, %
Добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды	567 909,3	54,5
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	15 525,1	1,5
Строительство	11 810,9	1,1
Транспорт и связь	90 354,9	8,7
Другие виды экономической деятельности	119 630,5	11,5
Население	130 889,3	12,6
Потери в электросетях	105 002,1	10,1
Всего	1 041 122,1	100,0

Современный электроэнергетический комплекс России насчитывает около 700 электростанций единичной мощностью свыше 5 МВт. Структура выработки электроэнергии по типам электростанций ЕЭС России представлена на (рис. 2, [5]).

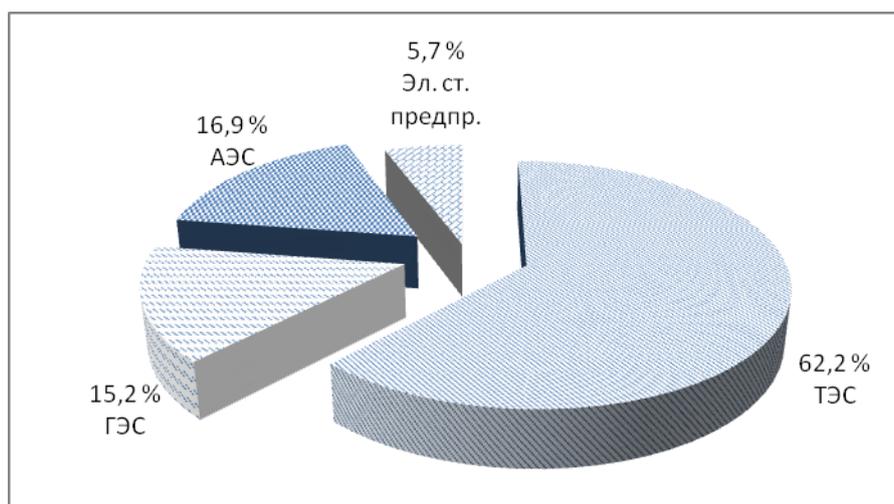


Рисунок 2. Структура выработки электроэнергии по типам электростанций ЕЭС России

Лидирующее положение тепловыработки является исторически сложившейся и экономически оправданной закономерностью развития российской энергетики. Наибольшее распространение получили тепловые электростанции общего пользования, работающие на органическом топливе (газ, уголь). Основной задачей развития тепловой генерации является обеспечение технического перевооружения и

---

реконструкции действующих электростанций, а также ввод новых генерирующих мощностей. Гидроэнергетика является ключевым элементом обеспечения системной надёжности Единой Энергосистемы страны, располагая более 90% резерва регулировочной мощности. ГЭС являются наиболее манёвренными и способны при необходимости быстро существенно увеличить объёмы выработки, покрывая пиковые нагрузки. В настоящий момент на территории РФ эксплуатируется 10 атомных станций, рассоложенных преимущественно в Европейской части России и на Северо-западе. В стадии строительства находятся ещё 5 атомных электростанций.

---

### **Программный комплекс анализа конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности**

---

Изучив существующие методы и модели прогнозирования энергопотребления в целом, и электропотребления в частности, были выявлены 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, позволяющих также проводить многовариантные сценарные расчёты.

Так возникла идея создания программного комплекса анализа конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности РФ. Целями создания данного программного комплекса является операционное и долгосрочное прогнозирование потребления электроэнергии, а также поддержка принятия инвестиционных решений по приобретению или продаже активов, по размещению объектов строительства на новых или на уже действующих электростанциях.

Объектом моделирования данного программного комплекса выступает конъюнктура регионального рынка электроэнергии 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. Согласно 3 статьи ФЗ № 35 от 23.03.2003 в редакции от 29.06.2012 под оптовым рынком электроэнергии будем 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 [6].

Программный комплекс анализа конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности включает в себя четыре основных блока:

1. Блок прогнозирования конечного потребления электроэнергии (рис. 3).
2. Блок прогнозирования потерь электроэнергии в сетях.
3. Блок прогнозирования числа часов использования мощности (ЧЧИМ).

## 4. Блок прогнозирования локальных максимумов потребления.

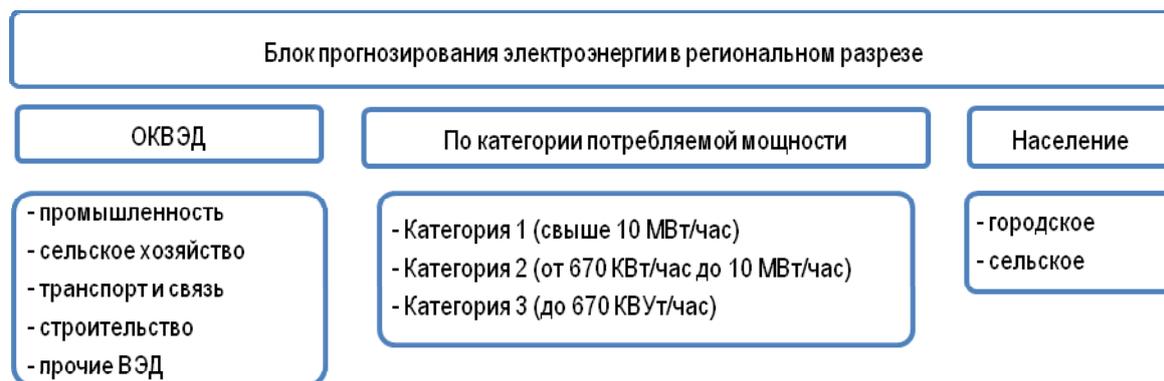


Рисунок 3. Классификация потребителей, для которых строятся прогнозы конечного электропотребления

Прогнозирование электропотребления на год вперёд в программном комплексе осуществляется в динамике по месяцам, на следующие 4 года – в квартальной динамике и на следующие 15 лет – в годовой динамике. Для решения поставленных задач было принято решение о моделировании электропотребления первые 5 лет в ежемесячной динамике с последующей её агрегацией до квартальной динамики, соответственно со 2 по 5 годы включительно.

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.

Трудности, связанные 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 ОКПЭД и другие), с неточностью сведений, получаемых от субъектов рынка электроэнергетики.

В настоящий момент основные источники данных по потреблению электроэнергии – Системный оператор Единой Энергетической системы и Росстат. Однако существуют 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 полное потребление электроэнергии в регионе. Динамика электропотребления в регионах по данным Системного оператора 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, после чего, в силу относительной устойчивости полученных значений долей, был произведён расчёт потребления электроэнергии по ВЭД на основании данных Системного оператора:

$$\begin{aligned} \text{Потребление электроэнергии ВЭД}_{\text{расч}} &= \\ &= \text{Потребление электроэнергии регионом всего}_{\text{Сист.оператор ЭЭС}} \times \\ &\times \text{Доля потребления электроэнергии ВЭД}_{\text{Росстат}} \end{aligned}$$

Для моделирования показателей потребления электроэнергии использовались преимущественно два класса моделей: экстраполяционные и факторные. Согласно проведённому исследованию, приемлемую точность в прогнозировании электропотребления на год вперёд дают экстраполяционные модели. Предпосылкой экстраполяционных моделей является то, что исходный модельный ряд содержит всю необходимую информацию для построения прогноза по выбранному показателю.

Для построения среднесрочных и долгосрочных прогнозов необходимо учитывать влияние внешних факторов, например изменение объёмов промышленного производства. Таким образом, среднесрочное и долгосрочное моделирование опираются на факторные модели.

В свою очередь, построение факторных моделей подразумевает:

- наличие длинных временных рядов моделируемых и объясняющих показателей, на основе которых можно идентифицировать модели;
- наличие значений сценарных показателей на периоде прогнозирования для построения прогнозов моделируемых переменных.

Отличительной особенностью построения факторных моделей в годовой динамике и динамике по месяцам является предварительная очистка данных в динамике по месяцам от сезонных колебаний, которая осуществлялась с помощью процедуры Census II. Данная процедура позволяет разложить исходный ряд на две составляющие: тренд-циклическую и сезонную. В силу изменения амплитуды колебания сезонного фактора и отсутствия относительно постоянной сезонной вариации, применялась мультипликативная модель. При этом исходный ряд рассчитывается с помощью обратных преобразований после моделирования тренд-циклической составляющей временного ряда.

На основе данных Росстата (с 2005 по 2007 гг.) о потреблении электроэнергии различными ВЭД в ежегодной динамике по региону были рассчитаны доли электропотребления по отдельным категориям потребителей: категория-1 (потребление свыше 10 МВт/час); категория-2 (потребление от 670 КВт/час до 10 МВт/час) и категория-3 (потребление менее 670 КВт/час). Доли «пограничных» ВЭД определялись экспертно, согласно наличию на территории региона крупных и средних предприятий соответствующего вида деятельности. После умножения соответствующих долей на потребление электроэнергии были найдены значения потребления электроэнергии для отдельных категорий потребителей в соответствии с выбранной классификацией (см. рисунок 3).

После получения всех модельных значений, был проведён бэкстестинг с периодом идентификации 1993-2010 гг. В итоге было показано, что количество регионов с существенным отклонением от фактических данных незначительно, а отклонение по всей России не превышает 5%. Таким образом, было принято решение не изменять методику расчёта, кроме того, при расширении обучающей выборки (до 2011 г. включительно) удаётся корректнее учитывать фактор инерционности и погрешности по «критическим» регионам.

В блоке *прогнозирования потерь электроэнергии в сетях* был введён вспомогательный показатель – коэффициент потерь, значения которого моделировались с помощью применения экстраполяционной модели ARIMA  $(p,q,d)$ . При этом итоговая величина потерь определяется по формуле:

$$\begin{aligned} & \text{Потери электроэнергии в сетях} = \\ & = \text{Коэффициент потерь} \times \\ & \times (\text{Потребление электроэнергии населением} + \text{Потребление электроэнергии ВЭД}) \end{aligned}$$

Помимо расчёта значений абсолютных потерь программный комплекс даёт возможность разделения потерь электроэнергии в сетях на две группы: технологические и коммерческие потери, с учётом соответствующих долей.

Программный комплекс анализа конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности позволяет прогнозировать число часов использования мощности для трёх категорий потребителей, а также для городского и сельского населения. Число часов использования мощности – отношение суммарного заявленного годового электропотребления каждой категорией потребителей в региональном разрезе к фактической потребляемой максимальной мощности по каждой категории потребителей в часы максимальных нагрузок по каждому региону.

Программный комплекс региональной модели конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности реализован на базе PROGNOZ Platform (рис. 4), созданной ведущим российским разработчиком систем бизнес-анализа компанией «Прогноз». PROGNOZ Platform – интегрированная платформа для создания информационно-аналитических систем и систем поддержки принятия решений, объединяющая современные технологии построения хранилищ данных, средства формирования отчётности и оперативного анализа данных, инструменты моделирования и прогнозирования [7].

#### Инструменты аналитической обработки и предоставления информации



#### Средства разработки и интеграционные компоненты



#### Единая инфраструктура метаданных

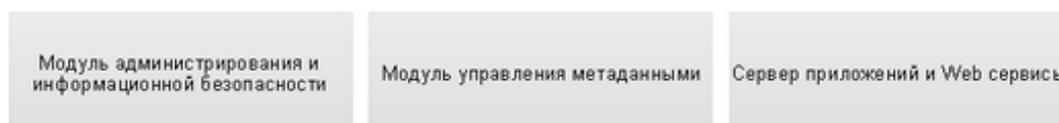


Рисунок 4. Структура PROGNOZ Platform

---

## Заключение

---

Использование подобных моделей и реализованных на их основе программных комплексов позволяет осуществлять прогнозирование развития и функционирования 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 государственном 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 в частности.

---

## Библиографический список

---

1. Андрианов Д.Л., Науменко Д.О., Старкова Г.С. Анализ методов и моделей энергопотребления на макроуровне // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2012. № 4. С. 215 - 219.
2. BP: прогноз развития мировой энергетики до 2030 г. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/russia/bp\\_russia\\_russian/STAGING/local\\_assets/downloads\\_pdfs/s/bp\\_energy\\_outlook\\_2030\\_rus.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/russia/bp_russia_russian/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/s/bp_energy_outlook_2030_rus.pdf) (дата обращения 25.03.2013).
3. Автоматизированная информационная система «Рынки электроэнергии и мощности» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ais.np-sr.ru/information/IASE\\_0V\\_R0\\_CONSUMPTION#0/0/CONSUMPTION](http://www.ais.np-sr.ru/information/IASE_0V_R0_CONSUMPTION#0/0/CONSUMPTION) (дата обращения 25.03.2013).
4. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 25.03.2013).
5. Официальный сайт Системного оператора Единой энергетической системы России [Электронный ресурс]. URL: [http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2012/ues\\_rep2011.pdf](http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2012/ues_rep2011.pdf) (дата обращения 25.03.2013).
6. Федеральный закон РФ «Об электроэнергетике» от 23.03.2003г. № 35-ФЗ (в редакции от 29.06.2012г.).
7. Официальный сайт компании Прогноз [Электронный ресурс]. URL: [http://www.prognoz.ru/ru/prognoz\\_platform.php](http://www.prognoz.ru/ru/prognoz_platform.php) (дата обращения 25.03.2013).

---

## Сведения об авторах

---



**Галина Старкова** – Пермский государственный национальный исследовательский университет, аспирант, ассистент кафедры информационных систем и математических методов в экономике; Россия, г. Пермь, 614990, ул. Букирева, д. 15; e-mail: [Starkova@prognoz.ru](mailto:Starkova@prognoz.ru).

*Major Fields of Scientific Research: математические и инструментальные методы экономики; информационно-аналитические системы и системы поддержки принятия решений.*