

УДК 519.2

И. К. Будникова, Е. В. Приймак

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

*Ключевые слова:* прогнозирование, временной, динамический ряд, модель авторегрессии, идентификация и оценивание модели.

*Рассматриваются возможности применения моделей АРПСС в качестве инструмента прогнозирования траектории изменения оперативных показателей оптового рынка электрической энергии и мощности. Комплексный анализ показателей статистической значимости, адекватности и качества модели выполнен в пакете Statistica.*

*Keywords:* forecasting, time, dynamic range, autoregressive model, identification and evaluation of models.

*Discusses possibilities of application of models ARIMA as a tool for forecasting the trajectory changes of operational indicators of the wholesale market of electric energy and power. A comprehensive analysis of the indicators of statistical significance, the adequacy and quality of the model is made in Statistica.*

Прогнозирование является одной из основных целей и задач большого числа специалистов, занимающихся анализом данных. Современные методы статистического прогнозирования позволяют с высокой точностью прогнозировать практически все возможные показатели.

Прогнозирование является весьма полезным инструментом поддержки принятия решений для участников оптового рынка электрической энергии и мощности (ОРЭМ).

Задача прогнозирования состоит в том, чтобы по значениям наблюдений, собранных в данный момент времени, определить значения в следующий момент. Не существует универсальных методик прогнозирования на все случаи жизни. Выбор метода прогнозирования и его эффективность зависят от многих условий, и в частности от требуемой длины или времени прогнозирования.

По времени упреждения экономические прогнозы делятся на:

- оперативные (с периодом упреждения до одного месяца);
- краткосрочные (период упреждения - от одного, нескольких месяцев до года);
- среднесрочные (период упреждения более 1 года, но не превышает 5 лет);
- долгосрочные (с периодом упреждения более 5 лет).

Наибольший практический интерес, безусловно, представляют краткосрочные и оперативные прогнозы.

Статистическое описание развития экономических процессов во времени осуществляется с помощью временных рядов.

Временным рядом (рядом динамики, динамическим рядом) называется последовательность значений показателя (признака), упорядоченная в хронологическом порядке, т.е. в порядке возрастания временного параметра. Отдельные наблюдения временного ряда называются уровнями этого ряда.

На стадии проведения графического анализа можно исследовать компонентный состав временных рядов, а также сделать первые шаги к выбору модели для описания их динамики и последующего прогнозирования.

В теории временных рядов разработаны различные методы исследования: корреляционный и спектральный анализы, методы экспоненциального сглаживания и фильтрации, модели авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС - ARIMA), которые позволяют отслеживать качество прогноза в зависимости от срока прогноза.

В анализе временных рядов, как и в большинстве статистических методов, предполагается, что исходные данные содержат детерминированную и случайную составляющие.

В общем случае детерминированная составляющая может быть представлена в виде комбинации следующих компонент:

- тренд представляет собой общую систематическую линейную или нелинейную компоненту, которая может изменяться во времени;
- цикл – более или менее регулярные колебания относительно тренда;
- сезонная составляющая – это периодически повторяющаяся компонента.

При различных сочетаниях этих компонент в изучаемом процессе или явлении зависимость уровней ряда от времени может принимать различные формы.

Во-первых, большинство временных рядов экономических показателей имеют тенденцию, характеризующую долговременное совокупное воздействие множества факторов на динамику изучаемого показателя. Очевидно, что эти компоненты, взятые в отдельности, могут оказывать разнонаправленное влияние на исследуемый показатель. Однако в совокупности они формируют его возрастающую или убывающую тенденцию.

Во-вторых, изучаемый показатель может быть подвержен циклическим колебаниям. Эти ко-

лебания могут носить сезонный характер, поскольку деятельность ряда отраслей экономики зависит от времени года.

Временной ряд может быть представлен различными математическими моделями.

Аддитивная модель записывается в виде:

$$y_t = u_t + W_t + S_t + a_t$$

Мультипликативная модель имеет вид:

$$y_t = u_t W_t S_t a_t$$

где  $u_t$  – тренд,  $W_t, S_t, a_t$  – соответственно циклическая, сезонная и случайная остаточная составляющие.

Выбор модели зависит от конкретной совокупности явлений определяющих данный временной ряд, и их взаимосвязей.

Целью проведенного исследования является прогнозирование оперативных показателей ОРЭМ - динамики продаж электроэнергии на различных секторах: Регулируемые договора (РД), Рынок на сутки вперед (РСВ).

Статистическая база исследования сформирована из данных по оперативным показателям продажи электроэнергии по различным договорам (секторам ОРЭМ) ежемесячно за период 2009-2013г., в процентных показателях

Исследования проводились на реальных данных, предоставленных ОАО «Генерирующая компания» [1].

**Компьютерный эксперимент** выполнялся в программной среде *Statistica*, которая является комплексным аналитическим инструментом, предназначенным для выбора моделей АРСС и построения прогнозов в любых областях.

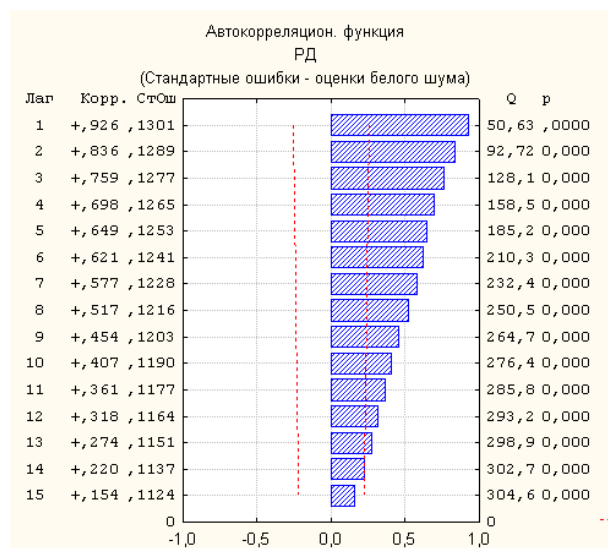
Предварительный визуальный анализ в среде *Statistica* дает основания полагать, что наблюдаемый временной ряд порождается моделью АРСС. Подбор конкретной модели из этого класса предусматривает три этапа:

- идентификация модели;
- оценивание модели;
- диагностика модели.

До того, как начать оценивание параметров модели, необходимо решить, какой тип модели будет подбираться к данным, и какое количество параметров присутствует в модели, иными словами, нужно идентифицировать модель.

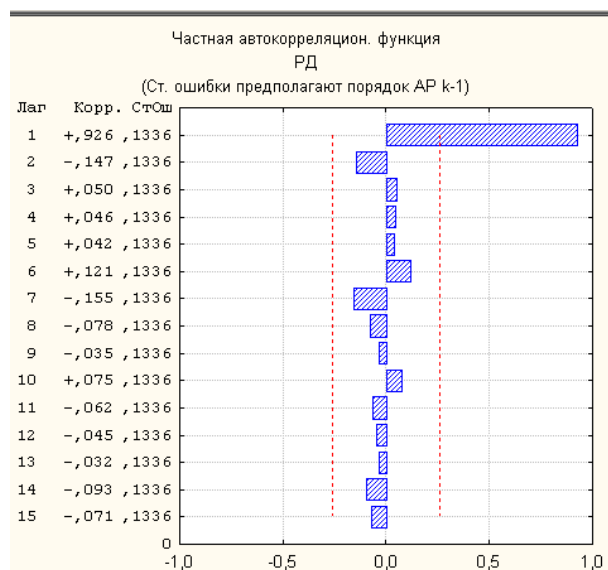
В АРСС модели имеется 4 типа параметров:  $p$  – параметр авторегрессии,  $P$  – сезонный параметр авторегрессии,  $q$  – параметр скользящего среднего,  $Q$  – сезонный параметр скользящего среднего.

По полученным графикам автокорреляционной функции (АКФ, рис.1.) и частной автокорреляционной функции (ЧАКФ, рис.2), можно определить какие параметры, и в каком количестве должны присутствовать в модели. Опираясь на свойства АКФ и ЧАКФ за годы практической работы с авторегрессионными моделями, исследователями были сформулированы правила выбора наилучшей модели [2].



**Рис. 1 - Автокорреляционная функция для АРСС модели**

Полученные данные (рис.1, 2) соответствуют модели АРСС (1,0), то есть модели авторегрессии первого порядка, так как АКФ - экспоненциально затухает, а ЧАКФ - имеет выброс (пик) на лаге 1. Аналогичные функции получены и для исследуемого показателя РСВ.



**Рис. 2 - Частная автокорреляционная функция для АРСС модели**

После идентификации моделей переходим к непосредственной оценке ее параметров. В результате получили таблицу со значением  $p(1)$  соответствующей модели авторегрессии первого порядка (рис.3).

Во второй колонке этой таблицы – точечная оценка параметра  $p(1)$ , в третьей – асимптотическая стандартная ошибка, в четвертой – значения  $t$ -критерия, в пятой – уровни значимости, шестой и седьмой – соответственно верхние и нижние границы 95% доверительных интервалов для соответствующих параметров модели. Из таблицы видно, что согласно критерию Стьюдента данный параметр

оценен статистически значимым. Таким образом, статистический критерий при  $P < 0,05$  говорит о том, что модель получилась согласованной с теорией.

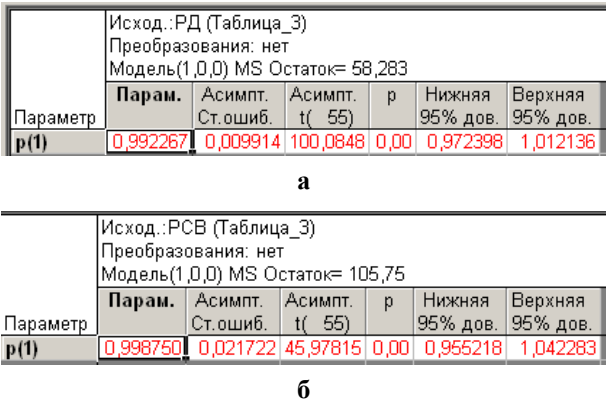


Рис. 3 - Оценка параметров АРПСС модели для показателей: а - РД, б - РСВ

Важнейшими характеристиками качества модели, выбранной для прогнозирования, являются показатели ее точности. Они описывают величины случайных ошибок, полученных при использовании модели. Таким образом, чтобы судить о качестве выбранной модели, необходимо проанализировать систему показателей, характеризующих как адекватность модели, так и ее точность.

Для проверки адекватности модели воспользуемся визуальными методами, представленными в системе Statistica.

Дополнительным тестом на проверку адекватности модели, является анализ случайной составляющей – остатков. Точки на графике расположения остатков на нормальной вероятностной бумаге лежат близко к прямой, что хорошо характеризует модель.

Вследствие того, что приращения случайной составляющей должны быть независимы, автокорреляции и частные автокорреляции остатков, не должны выходить за допустимые интервалы, что также подтверждается для выбранной модели.

На гистограмме распределении остатков они подчиняются нормальному закону распределения (рис.4).

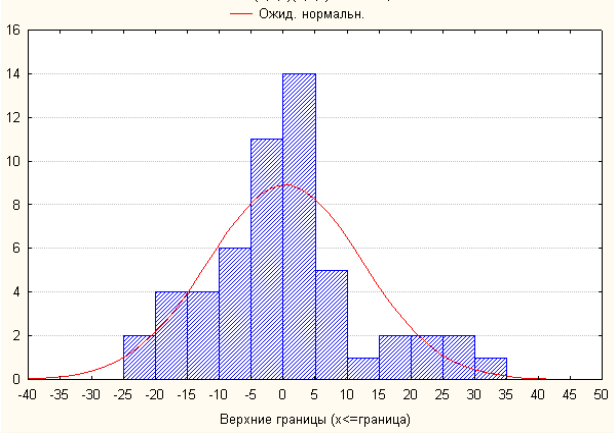


Рис. 4 – Гистограмма остатков

Результаты вышеперечисленных тестов подтверждают, что построенная динамическая модель является статистически значимой, адекватна фактическим данным и, следовательно, пригодна для прогнозирования неизвестных уровней ряда на перспективу.

О точности прогноза можно судить по величине ошибки (погрешности) прогноза. Ошибка прогноза - величина, характеризующая расхождение между фактическим и прогнозным значением показателя. Очевидно, что все указанные характеристики могут быть вычислены после того, как период упреждения уже закончился, и имеются фактические данные о прогнозируемом показателе или при рассмотрении показателя на ретроспективном участке.

Независимая проверка качества прогноза является одной из важных задач в прогнозировании. Мы должны быть уверены, что прогноз в будущем будет приближен к реальным (наблюдаемым) данным. Часто для этой цели используется алгоритм кросс – проверки. Алгоритм состоит в следующем – перед проведением анализа исходный временной ряд укорачивается на 7-10%, «хвост» ряда сохраняется для дальнейшего анализа. После этого строится прогноз «укороченного» ряда и результат сравнивается с отложенными данными. Ошибки прогнозов, полученные ретроспективно (на втором участке) характеризуют точность применяемой модели.

Таблица 1 - Результаты прогноза АРПСС модели

| Период прогноза 2013г. | Значения РСВ, % |            | Границы ДИ |       |
|------------------------|-----------------|------------|------------|-------|
|                        | исход-ные       | прогнозные | -90%       | +90%  |
| январь                 | 76,10           | 74,81      | 58,53      | 91,09 |
| февраль                | 76,44           | 74,06      | 51,03      | 97,08 |
| март                   | 78,68           | 73,33      | 45,13      | 101,5 |
| апрель                 | 82,14           | 74,10      | 41,54      | 106,7 |
| май                    | 78,69           | 72,02      | 35,62      | 108,4 |
| июнь                   | 73,28           | 72,47      | 32,58      | 112,3 |

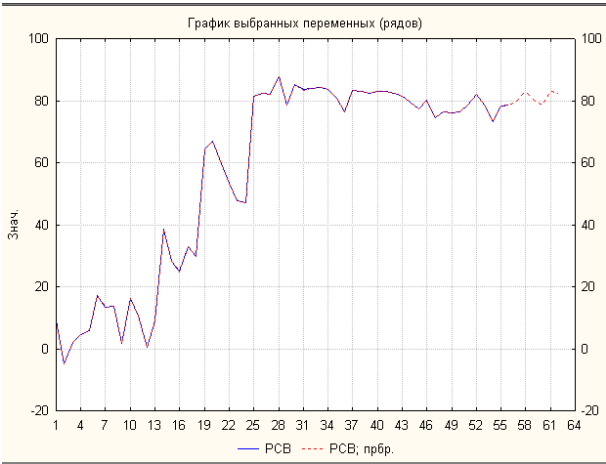


Рис. 5 – Динамика уровней ряда РСВ фактических и прогнозных значений

Для оценки качества подгонки модели в целом (для всего ряда) рекомендуется использовать среднюю абсолютную относительную ошибку, которая составляет в данном случае 5%, поэтому прогноз можно считать хорошей точности.

Данный показатель является относительным показателем точности прогноза и не отражает размерность изучаемых признаков, выражается в процентах и на практике используется для сравнения точности прогнозов полученных как по различным моделям, так и по различным объектам.

При построении прогноза по изложенной методике предусмотрены возможности корректировки прогноза в зависимости от периода ретроспективных данных и времени предсказания.

Алгоритм прогнозирования включает в себя следующие возможности: настройку прогнозных статистических моделей; отображение прогнозируемых данных в табличном и графическом виде.

Одним из основных стратегических направлений на оптовом рынке электроэнергии и мощности является создание конкурентных преимуществ акционерного общества за счет использования ин-

формационных технологий, включая систему прогнозов и моделирования.

Результаты данной работы и ранее выполненных [3-5] показывают, что разработка стратегии на оптовом рынке необходимо проводить на основе исторических данных результатов работы на всех секторах рынка и в первую очередь для таких оперативных показателей как: регулируемые договоры (РД) и рынок на сутки вперед (РСВ).

## Литература

1. ОАО «Генерирующая компания» Казань, 2013. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.tatgencom.ru/operations/realization>.
2. В.П. Боровиков. *Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA*. - М.: Финансы и статистика, 2012
3. И.К. Будникова, Е.В. Приймак, *Вестник Казанского технологического университета*, **15**, 20, 199–202 (2012).
4. И.К. Будникова И.К., Приймак Е.В., Илларионова О.И., *Вестник Казанского технологического университета*, **16**, 7, 275-278 (2013).
5. И.К. Будникова, Е.В. Приймак *Вестник Казанского технологического университета*, **17**, 2, 319-322 (2014).