

И. К. Будникова, Е. В. Приймак

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОДАЖ НА ОПТОВОМ РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ключевые слова: показатели адекватности, уравнение регрессии, модель, моделирование.

В работе рассматриваются возможности применения нелинейного регрессионного анализа для оценки параметров нелинейного тренда, исследуются показатели адекватности выбранных моделей и показатели прогноза на их основе.

Keywords: indicators of adequacy, the equation of the regression model, modeling.

The paper discusses possibilities of applying regression analysis to estimate the parameters of the non linear trend, examines the adequacy of the chosen models and indicators forecast on their basis.

В электроэнергетической отрасли любого государства торгуется как минимум один товар – электроэнергия. В случае если структура отрасли предусматривает разделение на конкурентные и монопольные (преимущественно естественно монопольные) виды деятельности, то кроме торговли электроэнергией, присутствует «торговля» услугами по передаче и сбыту электроэнергии.

С развитием рынка электроэнергии в электроэнергетических отраслях многих стран возникла потребность дополнить рынок электроэнергии рынками других товаров и услуг, которые, как правило, являются дополнительными к рынку электроэнергии и без него просто не существуют. Основные из этих рынков: рынок мощности; рынок производных финансовых инструментов; рынок системных услуг.

На оптовом рынке поставщиками электроэнергии являются генерирующие компании и импортеры электроэнергии. В роли покупателей выступают:

- потребители, покупающие электроэнергию для удовлетворения собственных производственных нужд;

- сбытовые компании (включая гарантирующих поставщиков), приобретающие электроэнергию с целью дальнейшей перепродажи конечным потребителям и действующие от своего имени;

- экспортеры (операторы экспорта) электроэнергии – организации, осуществляющие деятельность по покупке электрической энергии с отечественного оптового рынка в целях экспорта в зарубежные энергосистемы.

Существуют различные типы организации торговых сделок на оптовом рынке электроэнергии (ОРЭ):

- способ торговли, основанный на централизованном планировании режимов (иногда называемый «пулом», рынком «на сутки вперед»), в котором, как правило, режимы и цены определяются на основе результатов аукциона ценовых заявок поставщиков и покупателей электроэнергии;

- сделки, основанные на двухсторонних договорах между генерирующими компаниями и покупателями электроэнергии;

- совмещенные конструкции, дающие возможность генерирующей компании заключать двухсторонние договоры и участвовать в централизован-

ном планировании режимов, подавая ценовые заявки.

Двухсторонние договоры могут заключаться на различные промежутки времени – от часа, до нескольких лет. Централизованное планирование режимов, как правило, осуществляется не менее чем за сутки до реального времени производства и потребления, что соответствует технологическим возможностям (времени пуска) большинства генерирующих установок. Такой элемент общего устройства конкурентного рынка электроэнергии обычно носит название «рынка на сутки вперед».

Планирование режимов работы производителей энергии «на сутки вперед» - необходимый элемент управления системой, но его недостаточно для того, чтобы обеспечить её надежную работу в реальном времени. Дело в том, что по существу стохастический спрос потребителей на электроэнергию подвержен колебаниям под воздействием ряда факторов, предсказать которые даже за сутки вперед чрезвычайно трудно. В то же время и производство в самих генерирующих компаниях подвержено изменениям по отношению к плану, например, вследствие поломок и аварий, предсказать которые заранее невозможно. Из этого можно сделать следующий вывод. Для того чтобы управлять энергосистемой в реальном времени и сохранять надежность электроснабжения потребителей, помимо заблаговременного планирования режимов на основе двухсторонних договоров, централизованного рынка «на сутки вперед» или комбинации этих двух подходов, необходимо иметь динамическую модель прогнозирования.

ОАО «Генерирующая компания» - ведущая энергетическая компания республики Татарстан. В ее состав входят шесть энергетических станций, в том числе пять тепловых и одна гидроэлектростанция [1].

Общество с 2008 года осуществляет продажу электрической энергии на ОРЭМ и имеет порядка 230 контрагентов по договорам купли-продажи электрической энергии (мощности).

В данной работе продолжены исследования структуры продаж на оптовом рынке электроэнергии [2, 3].

Анализ состояния на ОРЭМ за период с января 2009 по 2013 годы [1] показал, что четко прослеживается тенденция снижения объема продаж по

регулируемым договорам (РД), цены по которым устанавливаются и рассчитываются государством. В тоже время увеличивается сектор рынка на «сутки вперед» (PCB), который формируется в результате конкурентного отбора ценовых заявок поставщиков и покупателей за сутки до реальной поставки. В середине 2010 года устанавливается примерный баланс между этими основными секторами на ОРЭ, после чего ситуация коренным образом изменяется. Динамика изменения соотношения между основными секторами рынка представлена на рис.1.

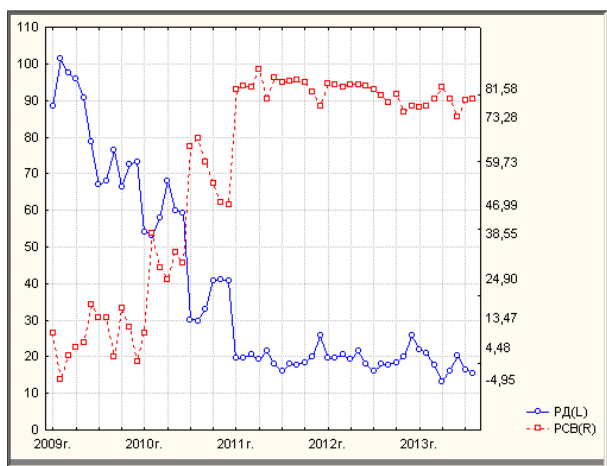


Рис. 1 – Динамика изменения структуры ОРЭМ

Таким образом, устанавливается новая модель функционирования оптового рынка электрической энергии (мощности).

Субъект оптового рынка берет на себя некоторый риск, который связан с невозможностью точного планирования заявки на потребление электроэнергии. Отклонения фактического потребления от заявленных значений больше определенного процента приводит к покупке электроэнергии с балансирующего рынка по большей цене. Балансирующий рынок (БР) – торговля отклонениями, позволяет приводить в соответствие объемы производства и потребления электроэнергии в реальном времени.

Отклонение в меньшую сторону сопровождается оплатой недопоставленной электроэнергии, определяемой разницей между заявленным и фактическим потреблением по установленным расценкам. Таким образом, только высокая точность прогноза позволит снизить финансовые потери субъектов оптового рынка.

При решении задачи прогнозирования потребления электроэнергии встает вопрос выбора математической модели прогнозирования. Качество этой модели влияет на точность определения планового электропотребления при формировании ценовой заявки купли - продажи электроэнергии на оптовом рынке. Сложность прогноза электропотребления обусловлена необходимостью учета многих факторов.

Динамика изменения структуры на ОРЭМ (рис.1) в переходный период формирования оптового рынка электроэнергии показывает, что для выбора математической модели целесообразно об-

ратиться к криволинейным трендам (парабола второго порядка, гипербола, логарифмическая функция и др.).

Исследования выполнены для оперативных показателей рынка - РД и PCB методом нелинейной регрессии в пакете *Statistica* [4].

Таблица 1 - Показатели адекватности моделей для РД

Показатели адекватности уравнения регрессии	Модель		
	Полиномиальная	Гиперболическая	Логарифмическая
Коэффициент детерминации R^2	0,931	0,438	0,862
Скорректированный R^2	0,928	0,417	0,859
F - критерий Фишера	358,3	40,399	337,68
Стандартное отклонение	7,107	20,293	9,962

Прежде чем приступить к использованию модели необходимо убедиться в ее адекватности фактическим данным, анализируемым параметрам, представленным в таблице 1.

В результате построения моделей было получено, что наилучший коэффициент детерминации наблюдается у полинома второго порядка и равняется 0,931, т.е. ~ 93% колебаний изучаемого показателя (РД) описывается данной моделью.

Корректную оценку адекватности построенной модели дает скорректированный коэффициент детерминации, так как он показывает такую оценку тесноты связи, которая не зависит от числа факторов в модели и потому может сравниваться по разным моделям с разным числом факторов. В данном случае наибольшее значение так же получено у полинома второго порядка. Значение F -критерия Фишера у двух моделей получены большими. В целом, показатели адекватности всех рассмотренных моделей подтверждают статистическую значимость оцененных уравнений регрессии. Однако у гиперболической модели все показатели адекватности в два раза ниже, чем у двух других моделей.

Так как полученные модели являются, статистически значимыми переходим к прогнозированию уровней ряда на три месяца (сентябрь, октябрь, ноябрь) 2013 года, которые не использовались при построении регрессионных моделей.

Наилучшие результаты прогноза (табл. 2) показывает полиномиальная модель.

Аналогичные результаты по регрессионному моделированию получены для показателя – PCB (табл. 3,4).

Таблица 2 - Результаты прогноза по разным моделям для РД

Период прогноза 2013г.	Фактические данные	Прогнозные данные моделей		
		полином	гипербола	логарифм
сентябрь	18,39	21,13	11,89	30,99
октябрь	17,59	26,87	11,42	30,96
ноябрь	22,35	22,42	10,95	30,92

Таблица 3 - Показатели адекватности моделей для РСВ

Показатели адекватности уравнения регрессии	Модель		
	Полиномиальная	Гиперболическая	Логарифмическая
Коэффициент детерминации R^2	0,931	0,438	0,862
Скорректированный R^2	0,928	0,417	0,859
F- критерий Фишера	358,29	40,399	337,68
Стандартное отклонение	7,107	20,293	9,962

Таблица 4 - Полиномиальная модель прогноза для РСВ

Период прогноза 2013г.	Фактическое значение	Прогнозное значение	Доверительный интервал	
			НД - 95%	ВД +95%
сентябрь	71,79	73,07	64,05	82,09
октябрь	76,24	71,54	61,87	81,21
ноябрь	69,45	69,90	59,52	80,26

Динамика изменения структуры на ОРЭМ (рис.1) показывает на наличие обратной корреляционной связи между показателями РД и РСВ.

Сравнительные результаты прогноза, по этим показателям полученные для полиномиальной модели и представленные в таблице 5, подтверждают эту закономерность и показывают хорошие результаты.

Таблица 5 – Сравнительные результаты прогноза для РД и РСВ

Период прогноза 2013 г.	Значения РД		Значения РСВ	
	факт	прогноз	факт	прогноз
сентябрь	18,39	21,13	71,79	73,07
октябрь	17,59	26,87	76,24	71,54
ноябрь	22,35	22,42	69,45	69,90

В результате компьютерного моделирования получена модель нелинейного тренда динамики изменения двух показателей ОРЭМ – РД и РСВ, которую можно рекомендовать для успешного прогнозирования структуры рынка от одного до трех месяцев.

Литература

1. ОАО «Генерирующая компания» Казань, 2013. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.tatgencom.ru/operations/realization>.
2. И.К. Будникова, Е.В. Приймак, *Вестник Казанского технологического университета*, **15**, 20, 199–202 (2012).
3. И.К. Будникова И.К., Приймак Е.В., Илларионова О.И., *Вестник Казанского технологического университета*, **16**, 7, 275-278 (2013).
4. И.К. Будникова, Е.В. Приймак *Вестник Казанского технологического университета*, **15**, 15, 247–249 (2012).