

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЛАТИЛЬНОСТИ ЦЕНОВЫХ СИГНАЛОВ

И.А. Соловьева, А.П. Дзюба

Статья посвящена проблемам покупки электроэнергии на оптовом рынке для промышленности России. Авторами рассмотрены механизм ценообразования и различные комбинации между ценами рынка на сутки вперед и ценами балансирующего рынка. Выявлены благоприятные соотношения между ценами балансирующего рынка и подаваемыми планами на энергопотребление. Предложены рекомендации по совершенствованию модели прогнозирования электропотребления, основывающиеся на учете не только факторов, определяющих потребность в электроэнергии, но и факторов учитывающих тенденции балансирующего рынка.

Ключевые слова: промышленность, электропотребление, цены балансирующего рынка, прогнозирование электропотребления, моделирование, эффективность.

Вся электрическая энергия, обращаемая в едином экономическом пространстве Российской Федерации, на сегодняшний день продается и покупается на оптовом рынке электроэнергии.

Правила и регламенты оптового рынка предусматривают проведение между субъектами конкурентных аукционов на каждый час расчетного периода. Аукционы проводятся за сутки до даты начала реальной поставки.

Для участия в конкурентных аукционах все субъекты оптового рынка (энергосбытовые компании, гарантирующие поставщики, генерирующие компании) подают «почасовые» заявки на покупку/продажу электроэнергии на сутки вперед. В ценовых заявках участвующих в аукционе содержатся почасовые величины планового «количества» покупной электроэнергии на определенный час и желаемая цена за единицу указанного количества. Этот механизм ценообразования носит на-

звание «Рынок на сутки вперед» (РСВ).

Результатами аукциона являются почасовые объемы и цены, получаемые в результате пересечения кривых спроса и предложения (рис. 1) [1].

На данном этапе действует важнейший принцип формирования надежной и эффективной работы Единой энергетической системы – обеспечение баланса производства и потребления электрической энергии. Таким образом, планирование ожидаемого электропотребления является первоочередной задачей при управлении режимами работы электроэнергетических систем и энергокомпаний.

Процесс формирования прогноза планового почасового потребления является весьма непростой задачей, так как электропотребление представляет собой нестационарный случайный процесс, зависящий от различного рода факторов (рис. 2) [2].

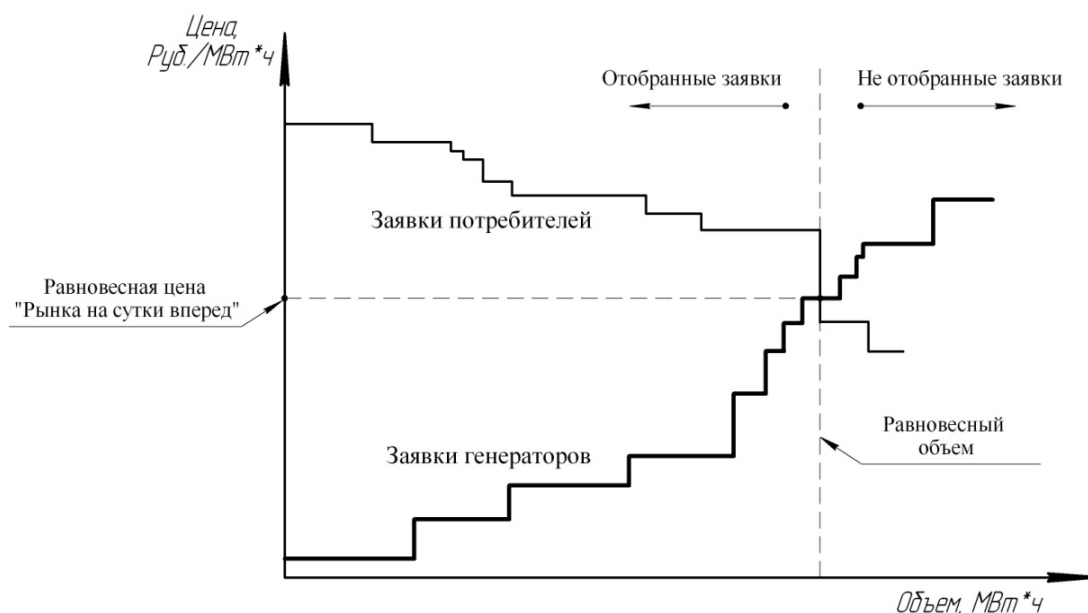


Рис. 1. Графическое формирование равновесной цены и равновесного объема

Ошибки прогнозирования электропотребления дорого стоят. Все внеплановые отклонения электропотребления субъекты оплачивают по ценам, отличным от равновесной, которые носят название цены «балансирующего рынка» и заведомо невыгодны для покупателя (рис. 3).

Механизмы «Рынок на сутки вперед» и «Балансирующий рынок» являются независимыми друг от друга, т.е. сначала субъект оплачивает электроэнергию на рынке на сутки вперед (плановые объемы покупки), а после сбора фактических показаний расчеты производятся согласно требованиям балансирующего рынка (рис. 4).

Отклонения от плановых величин субъекты оплачивают по ценам, которые определяются следующим способом [6]:

Цена покупки отклонений:

$$C_{БР \uparrow} = \max (C_{РСВ} ; C_{БР}),$$

Цена продажи отклонений:

$$C_{БР \downarrow} = \min (C_{РСВ} ; C_{БР}),$$

где $C_{РСВ}$ – Цена рынка на сутки вперед (см. рис. 1); $C_{БР}$ – Цена балансирующего рынка.

Если фактическое электропотребление энергосистемой превысило план (дисбаланс в сторону увеличения), то системный оператор поочередно загружает электростанции, начиная с самой дешевой. Цена балансирующего рынка в данном случае будет определена по цене заявки генератора, чья ступень оказалась на пересечении объема потребителей (рис. 5).

Обратная ситуация, если фактическое электро-

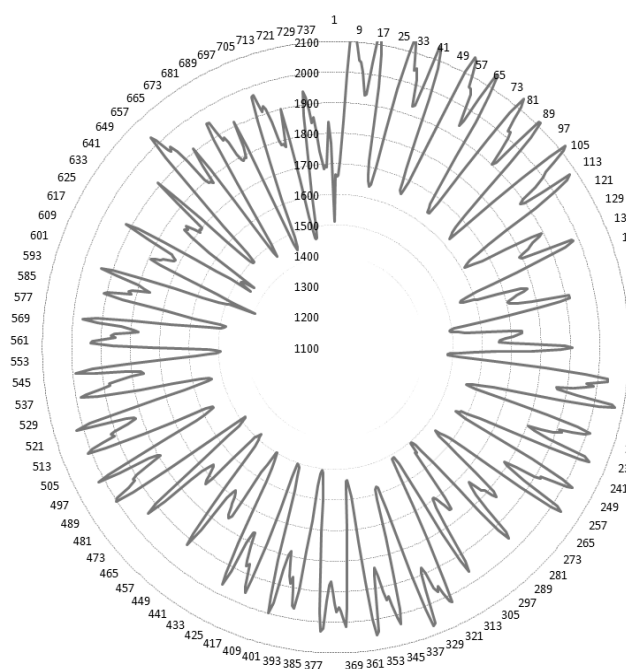


Рис. 2. Круговая диаграмма почасового электропотребления ОАО «Челябэнергосбыт» за март 2012 года

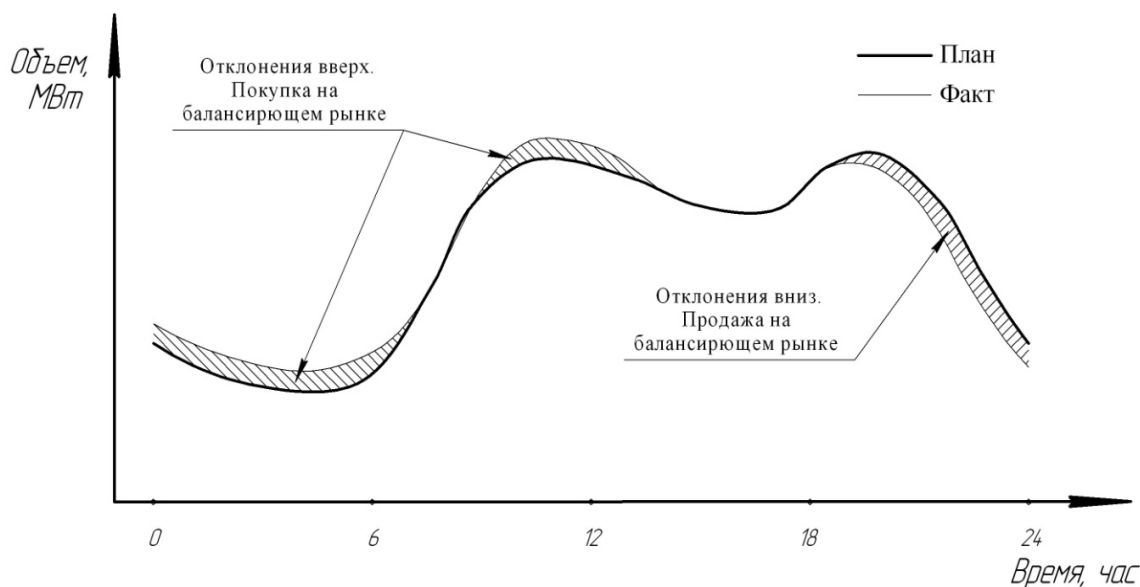


Рис. 3. Отклонения плана от факта на примере суточного графика нагрузки энергосбытовой организации

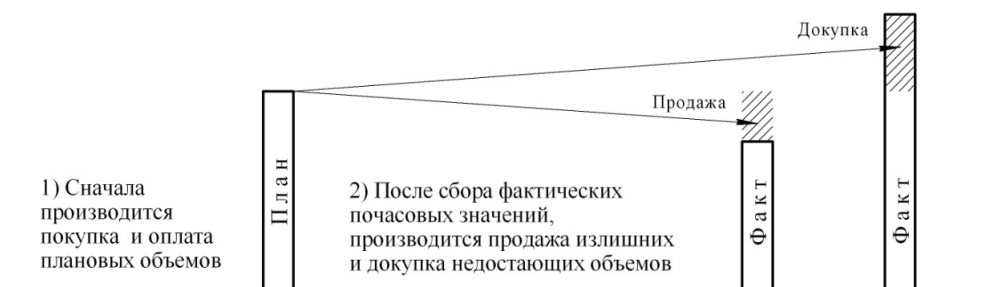


Рис. 4. Последовательность операций по оплате отклонений

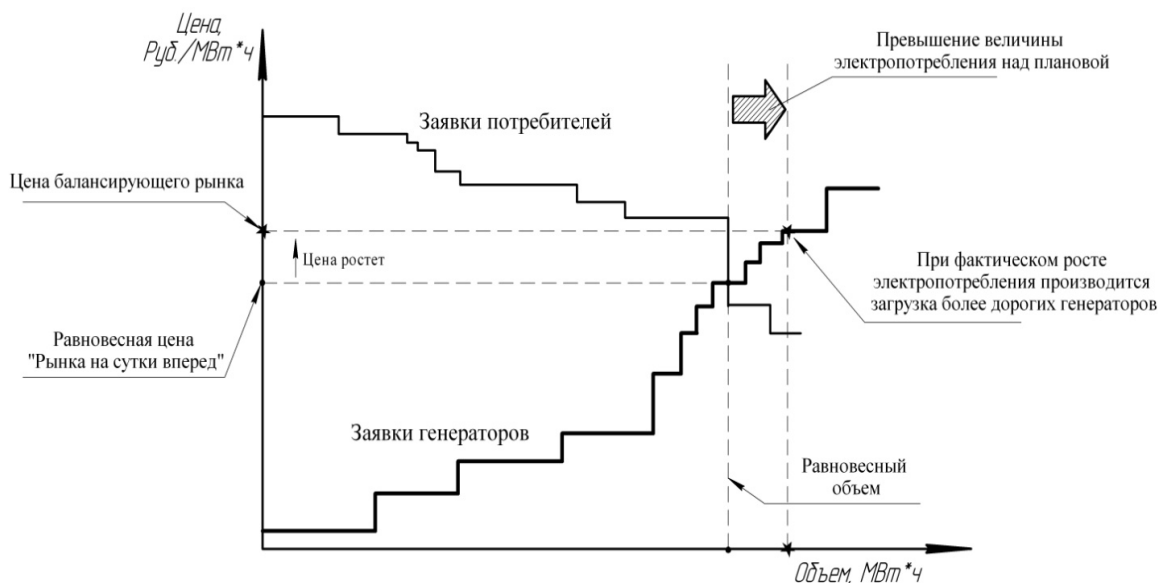


Рис. 5. Графическое формирование цены балансирующего рынка при превышении

потребление энергосистемой оказалось ниже плана (дисбаланс в сторону избытка), то системный оператор поочередно снижает нагрузку электростанций, начиная с самой дешевой. Цена балансирующего рынка в данном случае будет определена по цене заявки генератора, чья ступень оказалась на пересечении объема потребителей (рис. 6).

Таким образом, при отклонении фактического потребления над планом вверх субъект приобретает отклонения по завышенным ценам (по сравнению с ценами РСВ). В обратном случае, при отклонении фактического электропотребления ниже плана, субъект продает отклонения по цене ниже чем цена, по которой электроэнергия была приобретена на рынке на сутки вперед.

Соотношение цен балансирующего рынка (БР) и рынка на сутки вперед (РСВ) выглядят следующим образом (рис. 7).

Как видно из рис. 5, цены существенно различаются, и имеют некую зависимость от величины спроса на электроэнергию, качества подаваемых планов субъектами, времени года и резких изменений погодных условий, аварий в энергосистеме, внеплановых переключений системообразующих линий и других факторов.

Для управления ценовыми рисками на оптовом рынке субъектам необходимо налаживать систему почасового прогнозирования электропотребления с учетом не только потребности в электроэнергии, но и особенностей балансирующего рынка.

Чаще всего для прогнозирования электропотребления используются модели регрессионного анализа, включающие в себя факторы, влияющие на фактическую потребность в электроэнергии на сутки вперед (рис. 8).

Основными факторами, оказывающими большое влияние на промышленное электропотребление, являются следующие [4]:

- 1) время (ч);
- 2) день недели;
 - ✓ понедельник;
 - ✓ вторник–четверг;
 - ✓ пятница;
 - ✓ суббота;
 - ✓ воскресенье;
- 3) температура ($^{\circ}\text{C}$);
- 4) продолжительность светового дня (мин);
- 5) атмосферное давление (мм. рт. ст.);
- 6) относительная влажность воздуха (%);
- 7) направление ветра (измеритель качественный);

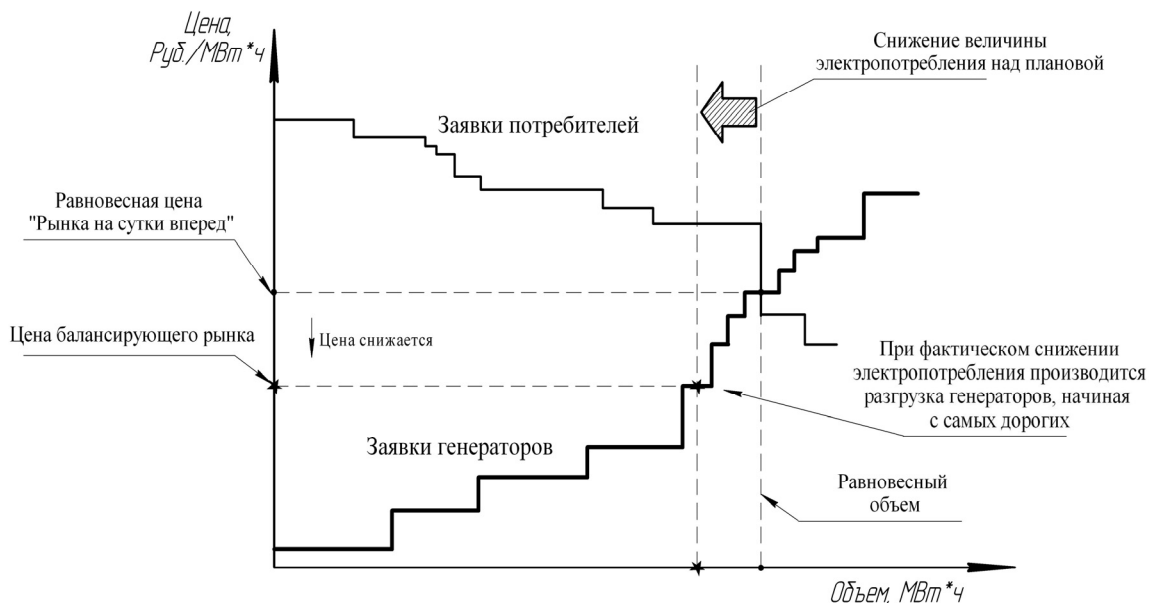


Рис. 6. Графическое формирование цены балансирующего рынка при снижении энергосистемой фактического электропотребления над плановым

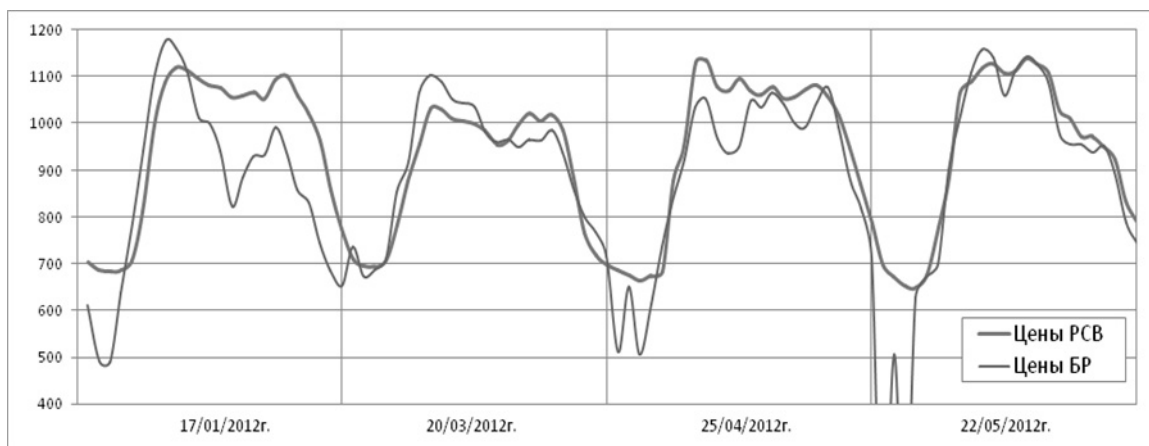


Рис. 7. Соотношение цен рынка на сутки вперед и балансирующего рынка

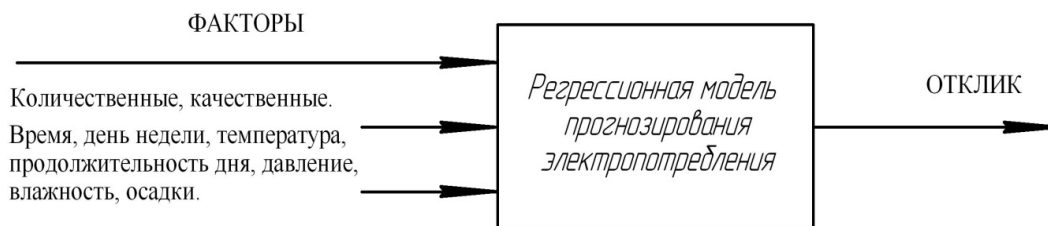


Рис. 8. Схема регрессионной модели

- 8) скорость ветра (м/с);
- 9) облачность (%);
- 10) осадки (измеритель качественный).

Вышеперечисленные факторы позволяют спрогнозировать потребность в электроэнергии, но не учитывают особенностей балансирующего рынка. С целью определения направлений корректировки модели прогнозирования на эти особенности рассмотрим все возможные варианты соотношения между ценами РСВ и БР и превышением или невыполнением плана электропотребления.

Ценовые показатели балансирующего рынка и рынка на сутки вперед могут быть расположены в двух комбинациях:

1. Цена рынка на сутки вперед сложилась выше цены балансирующего рынка (рис. 9).

Для соотношения $C_{рсв} > C_{бр}$ существует два случая отклонений факта от плана:

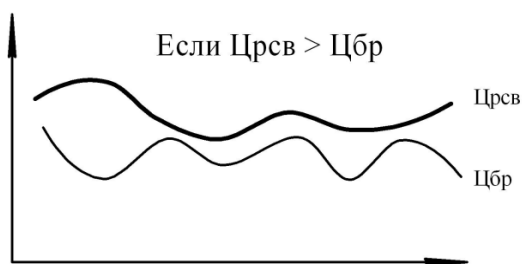
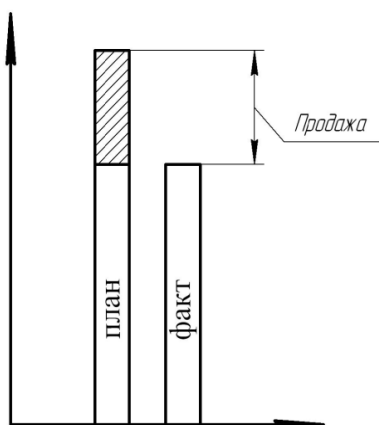


Рис. 9. Иллюстрация примера соотношения цен рынка на сутки вперед и балансирующего рынка $C_{рсв} > C_{бр}$

1.1. План был подан выше факта
Если План > Факт

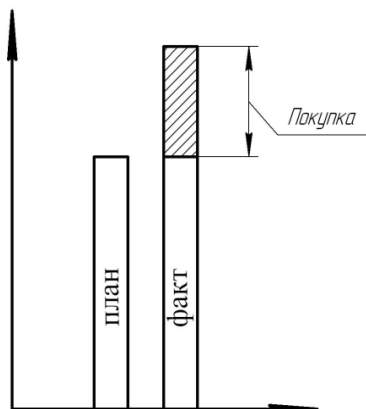


Сначала оплачивается план по цене РСВ.
После чего, излишек продается по цене:

$$C_{бр} \downarrow = \min (C_{рсв} ; C_{бр})$$

$$\text{Если: } C_{рсв} > C_{бр} \Rightarrow C_{бр} \downarrow = C_{бр}$$

1.2. План был подан ниже факта
Если План < Факт



Сначала оплачивается план по цене РСВ.
После чего, недостаток покупается по цене:

$$C_{бр} \uparrow = \max (C_{рсв} ; C_{бр})$$

$$\text{Если: } C_{рсв} > C_{бр} \Rightarrow C_{бр} \uparrow = C_{рсв}$$

Обратная ситуация:

2. Цена рынка на сутки вперед сложилась ниже цены балансирующего рынка (рис. 10).

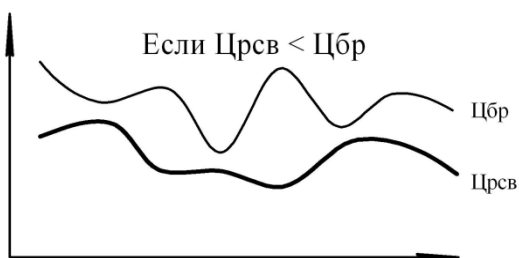
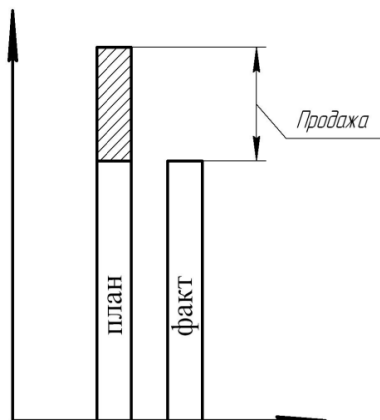


Рис. 10. Иллюстрация примера соотношения цен рынка на сутки вперед и балансирующего рынка $C_{рсв} < C_{бр}$

Для соотношения $C_{рсв} < C_{бр}$ также существует два варианта отклонений от плана:

2.1. План был подан выше факта

Если План > Факт



Сначала оплачивается план по цене РСВ.

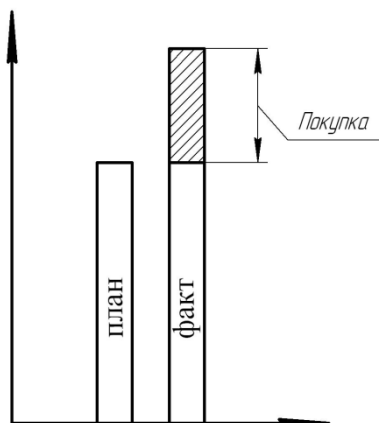
После чего, излишек продается по цене:

$$C_{бр} \downarrow = \min (C_{рсв} ; C_{бр})$$

Если: $C_{рсв} < C_{бр} \Rightarrow C_{бр} \downarrow = C_{рсв}$

2.2. План был подан ниже факта

Если План < Факт



Сначала оплачивается план по цене РСВ.

После чего, недостаток покупается по цене:

$$C_{бр} \uparrow = \max (C_{рсв} ; C_{бр})$$

Если: $C_{рсв} < C_{бр} \Rightarrow C_{бр} \uparrow = C_{бр}$

(!) Таким образом, в комбинациях 1.2 и 2.1 участник не имел финансовых потерь.

Т.е. когда $C_{рсв} > C_{бр}$, покупателям выгодно занижать свой план.
И в обратном случае, если $C_{рсв} < C_{бр}$, покупателям выгодно завышать план.

Выявленные благоприятные комбинации можно применять в дополнение к регрессионной модели прогнозирования (рис. 11).

Модель прогнозирования соотношения цен рынка на сутки вперед и балансирующего рынка должна на основании входных факторов производить прогноз соотношения цен с достаточной достоверительной вероятностью [3].

Тип модели и ее факторы в настоящий момент неизвестны. При нахождении зависимости факторов, действующих на соотношение цен, прогноз электропотребления может подаваться с корректировкой на ожидаемые ценовые сигналы (рис. 12).

Таким образом, модель должна не только производить точный прогноз электропотребления, но и делать корректировку с целью минимизации экономических потерь (рис. 13).

В связи с вышесказанным представляется актуальной задача построения модели прогнозирования электропотребления компании не только с учетом внутренних потребностей, но и с учетом тенденций рынка, что позволит существенно сократить возможные финансовые потери при возникновении погрешностей в прогнозировании [5]. Для разработки подобной модели необходимо решить ряд подзадач, таких как:

- 1) определить набор факторов действующих на отклик;
- 2) на основании факторов определить тип модели прогнозирования;
- 3) провести апробацию работы модели;
- 4) провести интеграцию полученной модели с моделью прогнозирования промышленного электропотребления на основе внутренних потребностей компании.

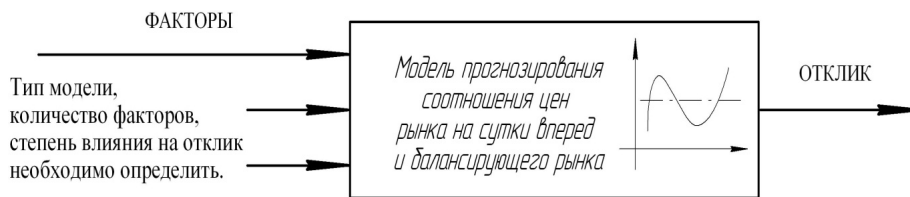


Рис. 11. Модель прогнозирования цен

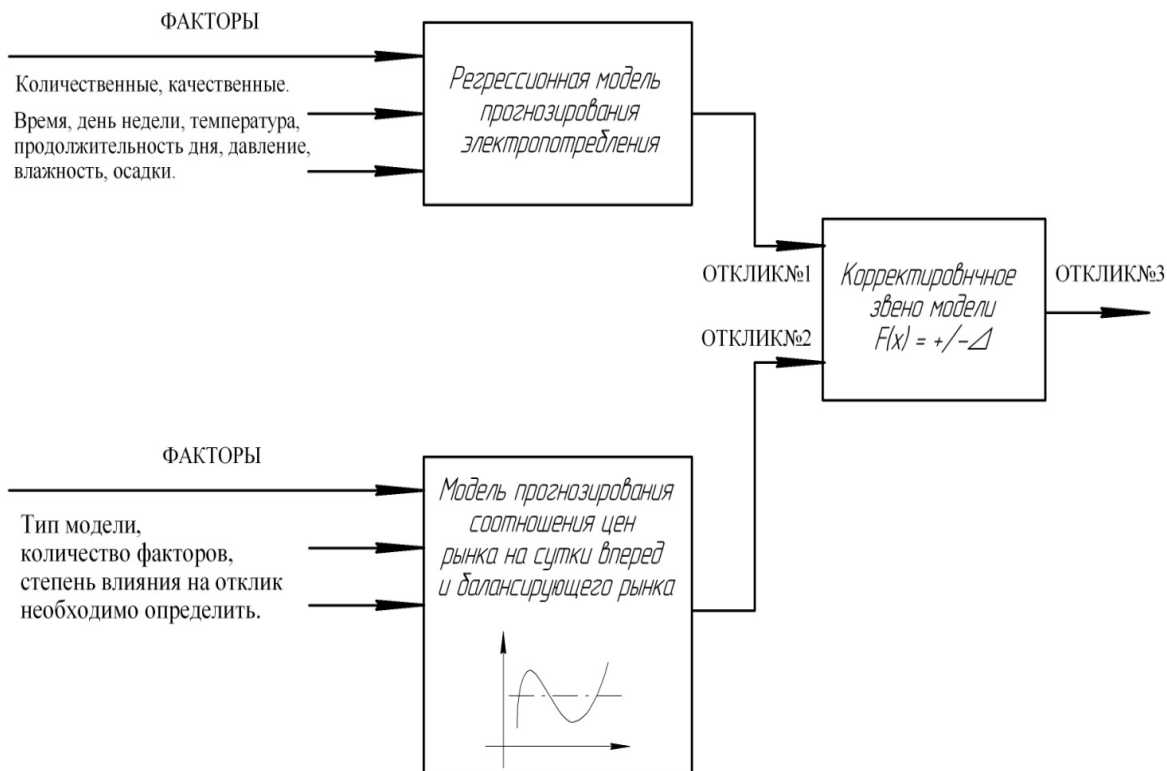


Рис. 12. Комбинированная модель прогнозирования электропотребления

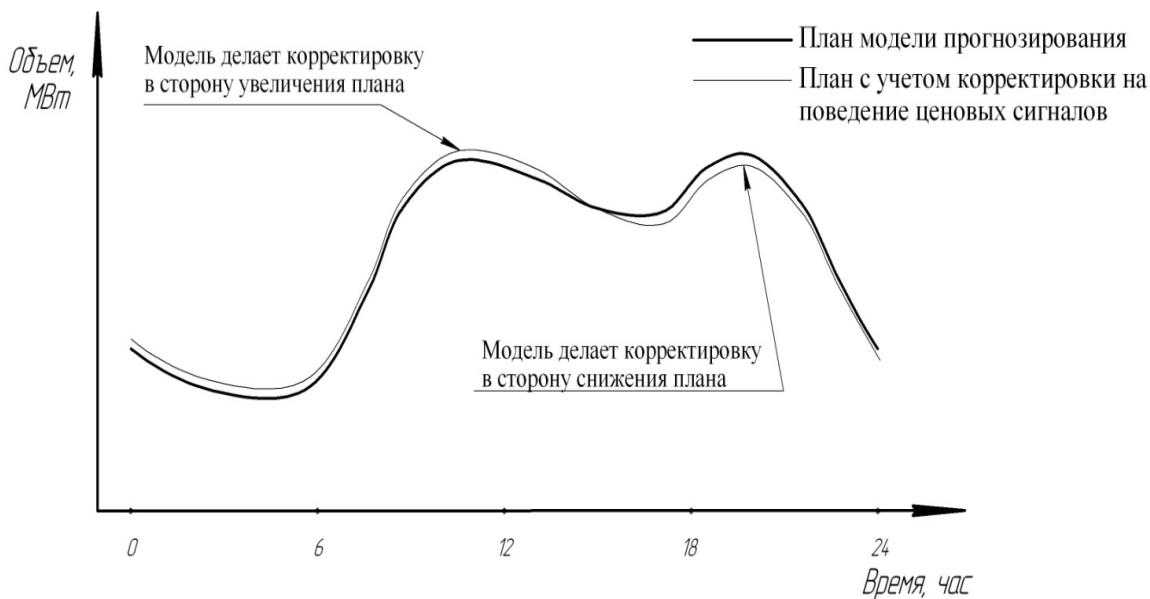


Рис. 13. Пример результата прогноза электропотребления выполненного комбинированной моделью

Литература

1. Гительман, Л.Д. Энергетический бизнес / Л.Д. Гительман, Б.Е. Ратников. – М.: Дело, 2006. – 599 с.
2. Головкин, П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии / П.И. Головкин. – М.: Энергия, 1979. – 367 с.
3. Лапыгин, Ю.Н. Экономическое прогнозирование / Ю.Н. Лапыгин, В.Е. Крылов. – М.: Эксмо, 2008. – 253 с.
4. Макоклюев, Б.И. Оперативное прогнозирование нагрузки ЭЭС с учетом метеофакторов.

Советчики диспетчеров по оперативной коррекции режимов работы ЭЭС / Б.И. Макоклюев, Д.А. Федоров. – Иркутск, 1984. – 232 с.

5. Макоклюев, Б.И. Анализ и планирование электропотребления / Б.И. Макоклюев. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 295 с.

6. Регламент определения объемов, инициатив и стоимости отклонений. Наблюдательный совет НП «Совет рынка» от 27 апреля 2012 года <http://www.np-sr.ru/norem/marketregulation/joining/marketnorem/>

Поступила в редакцию 20 августа 2012 г.

Соловьева Ирина Александровна. Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономики и финансы», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск). Область научных интересов – управление инвестиционными и инновационными процессами на предприятии. Контактный телефон: (8-919) 12-12-244, e-mail: dubskih@mail.ru

Irina Aleksandrovna Solovjeva, Candidate of Science (Economics), associate professor of Economics and Finance Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: management of investment and innovative processes of the enterprise. Tel.: (8-919) 12-12-244; e-mail: dubskih@mail.ru

Дзюба Анатолий Петрович. Начальник технологического отдела управления закупок электроэнергии ОАО «Челябэнергосбыт» (г. Челябинск). Область научных интересов – оптовый рынок электроэнергии, прогнозирование электропотребления промышленности. Контактный телефон: (8-908)05-142-00, e-mail: dzyuba-a@yandex.ru

Anatoly Petrovich Dzyuba, Head of the Department of Manufacturing Engineering Department for Electrical Energy Purchase of «Chelyabenergosbyt», Chelyabinsk. Research interests: the wholesale electricity market, prediction of electricity industry. Tel.: (8-908) 05-142-00; e-mail: dzyuba-a@yandex.ru