

СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

УДК 621.311.2.002.2 + 338.47:621.311.2

И. С. Баев, И. А. Соловьева, А. П. Дзюба

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЛАТИЛЬНОСТИ ЦЕНОВЫХ СИГНАЛОВ

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 и неблагоприятные соотношения между ценами балансирующего рынка и планами энергопотребления. Обоснована актуальность прогнозирования промышленного электропотребления, позволяющего обеспечить устойчивое развитие не только энергосистем и энергокомпаний, но и экономики региона в целом. Предложены рекомендации по совершенствованию прогнозирования электропотребления, основывающиеся на учете факторов, не только определяющих потребность в электроэнергии, но и учитывающих тенденции балансирующего рынка. В качестве методов прогнозирования предложено совместное использование методов регрессионного анализа и метода экспертных оценок. Результаты исследования позволят повысить точность прогнозирования и сократить финансовые потери не только на уровне конкретных предприятий, но и на уровне региона в целом.

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 субъектов 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 и 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 название «рынок на сутки вперед» (РСВ). Результатами аукциона являются почасовые объемы и цены, получаемые в резуль-

тате 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. Кроме того, повышение качества прогноза обеспечивает предприятия региона своевременной, качественной и относительно недорогой электроэнергией, что, в свою очередь, позволяет предприятиям организовать бесперебойный и эффективный производственный процесс.

Процедура 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].

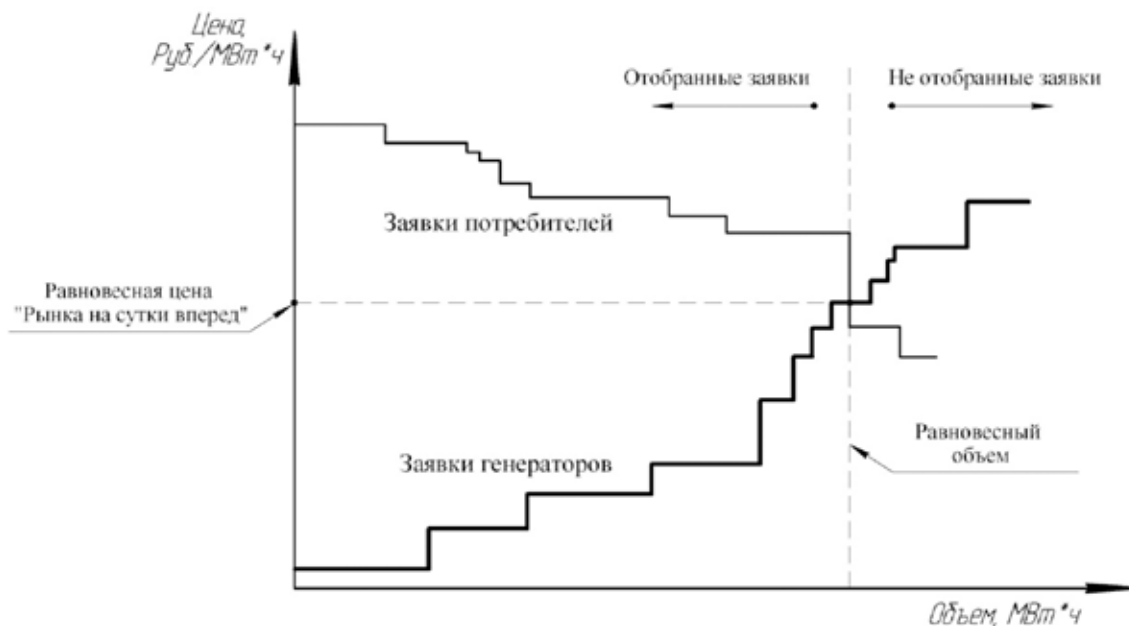


Рис. 1. Графическое формирование равновесной цены и равновесного объема

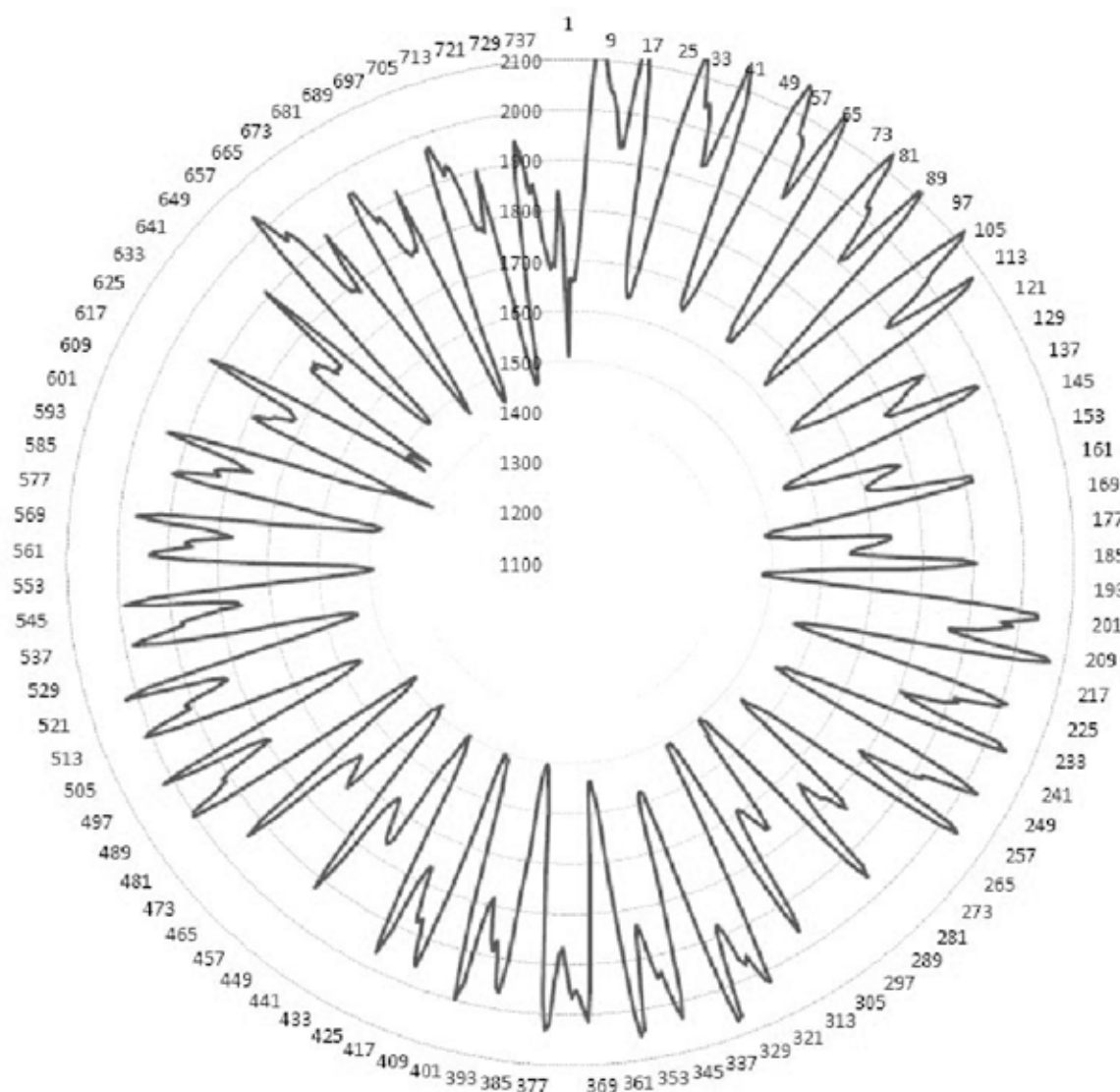


Рис. 2. Круговая диаграмма почасового электропотребления ОАО «Челябэнергосбыт» за март 2012 г.

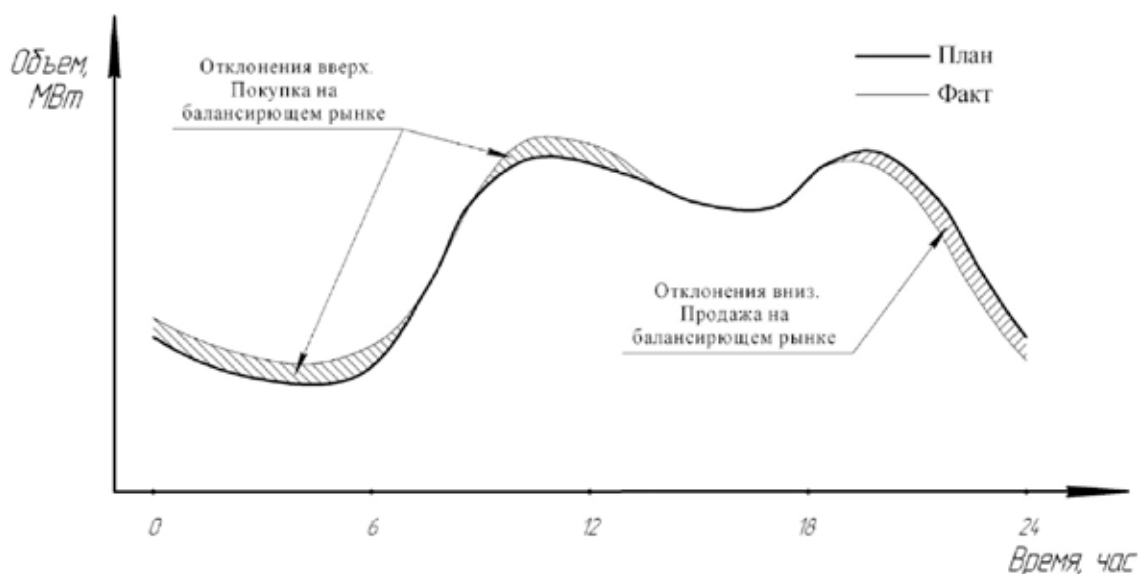


Рис. 3. Отклонения плана от факта на примере суточного графика нагрузки энергосбытовой организации

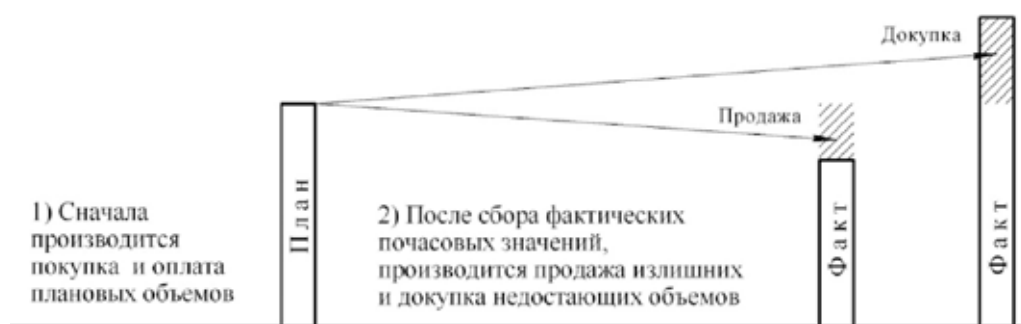


Рис. 4. Последовательность операций по оплате отклонений

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, то есть 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:

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

цена продажи отклонений:

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

где $Ц_{РСВ}$ — цена рынка на сутки вперед (см. рис. 1), $Ц_{БР}$ — 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 с линией заявок потребителей (рис. 5).

Обратная ситуация складывается, если фактическое электропотребление энергосистемой оказалось ниже плана (дисбаланс в сторону избытка): 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 с линией 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

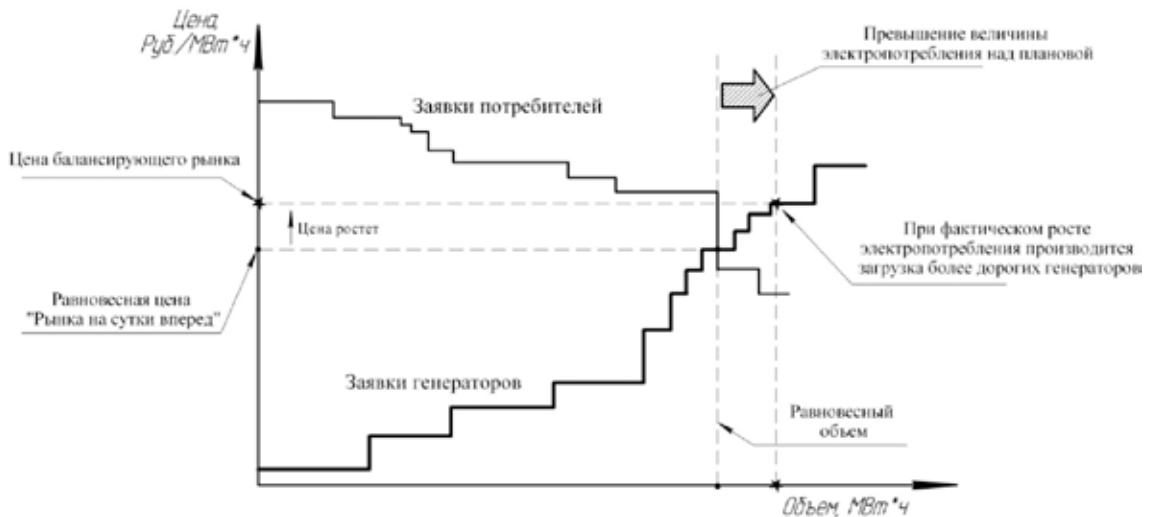


Рис. 5. Графическое формирование цены балансирующего рынка при превышении энергосистемой фактического электропотребления над плановым

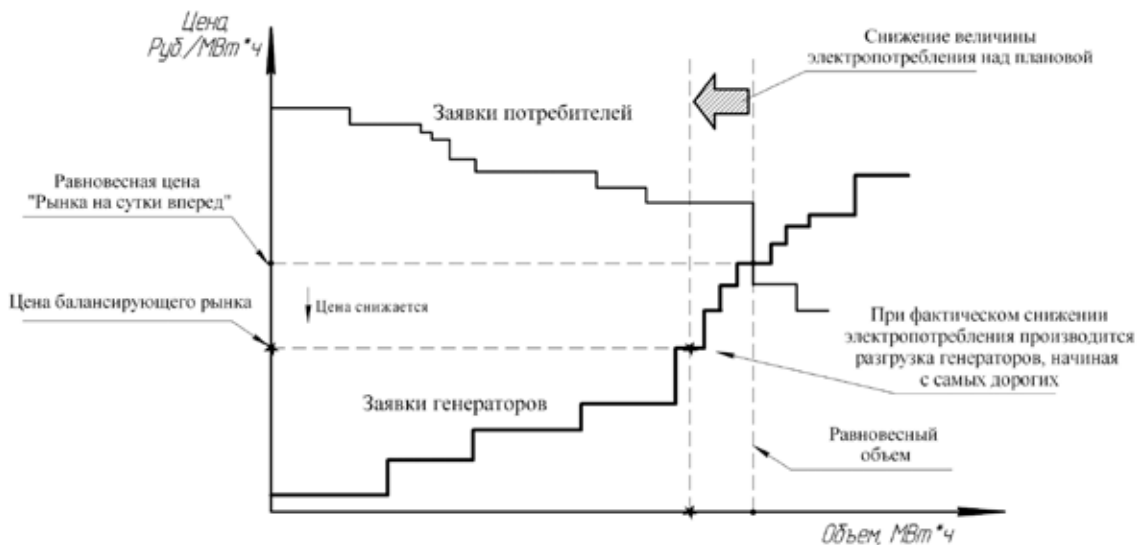


Рис. 6. Графическое формирование цены балансирующего рынка при снижении энергосистемой фактического электропотребления над плановым

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 рисунка 7, цены существенно различаются и имеют некую зависимость от величины спроса на электроэнергию, качества подаваемых планов субъектами, времени года и рез-

ких изменений погодных условий, а также 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, что позволит обеспечить беспре-



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



Рис. 8. Схема регрессионной модели

ребойное снабжение электроэнергией промышленных предприятий, повысить эффективность работы энергосбытовых организаций и энергосистемы региона в целом.

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 [5]: время, (час); день недели (понедельник, вторник — четверг, пятница, суббота, воскресенье); температура (° С); продолжительность светового дня (мин); атмосферное давление (мм ртутного столба); относительная влажность воздуха (%); направление ветра (измеритель качественный); скорость ветра (м/с) облачность (%); 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 $C_{PCB} > C_{BP}$ существует два случая отклонений факта от плана:

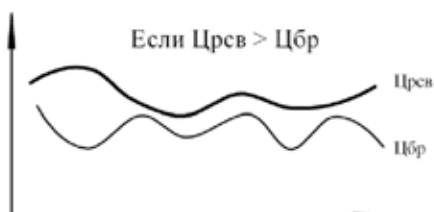
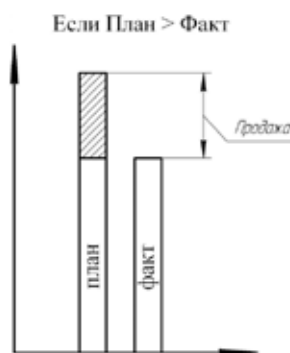


Рис. 9. Иллюстрация примера соотношения цен рынка на сутки вперед и балансирующего рынка $C_{PCB} > C_{BP}$

1.1. План был подан выше факта
Сначала оплачивается план по цене РСВ.
После чего излишек продается по цене:

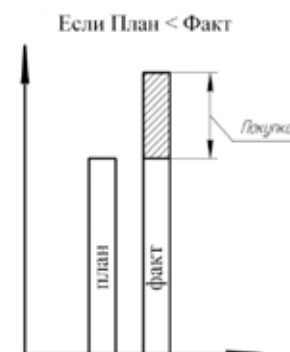


$$C_{BP} \downarrow = \min(C_{PCB}; C_{BP}),$$

$$\text{Если: } C_{PCB} > C_{BP} \Rightarrow C_{BP} \downarrow = C_{BP}$$

1.2. План был подан ниже факта.

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



$$C_{BP} \uparrow = \max(C_{PCB}; C_{BP}),$$

$$\text{Если: } C_{PCB} > C_{BP} \Rightarrow C_{BP} \uparrow = C_{PCB}$$

2. Обратная ситуация: цена рынка на сутки вперед сложилась ниже цены балансирующего рынка (рис. 10).

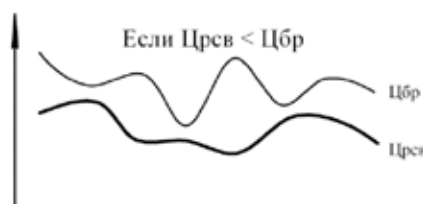
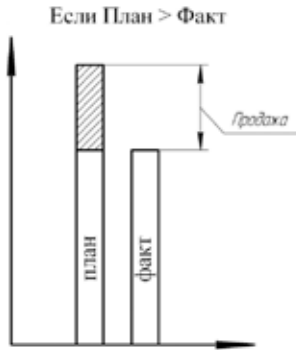


Рис. 10. Иллюстрация примера соотношения цен рынка на сутки вперед и балансирующего рынка $C_{PCB} > C_{BP}$

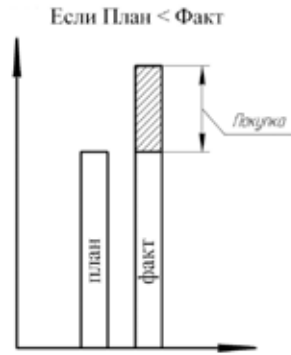
Для соотношения $C_{PCB} < C_{БР}$ также существует два варианта отклонений от плана:

- 2.1. План был подан выше факта:
Сначала оплачивается план по цене РСВ.
После чего излишек продается по цене:



$C_{БР} \downarrow = \min(C_{PCB}; C_{БР}),$
Если: $C_{PCB} < C_{БР} \Rightarrow C_{БР} \downarrow = C_{PCB}.$

- 2.2. План был подан ниже факта:
Сначала оплачивается план по цене РСВ.
После чего, недостаток покупается по цене:



$C_{БР} \uparrow = \max(C_{PCB}; C_{БР}),$
Если: $C_{PCB} < C_{БР} \Rightarrow C_{БР} \uparrow = C_{БР}.$

Таким образом, в комбинациях 1.2 и 2.1 участник не имел финансовых потерь. Т. е. когда $C_{PCB} > C_{БР}$ покупателям выгодно занижать свой план. И в обратном случае: если $C_{PCB} < C_{БР}$ покупателям выгодно завышать план.

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

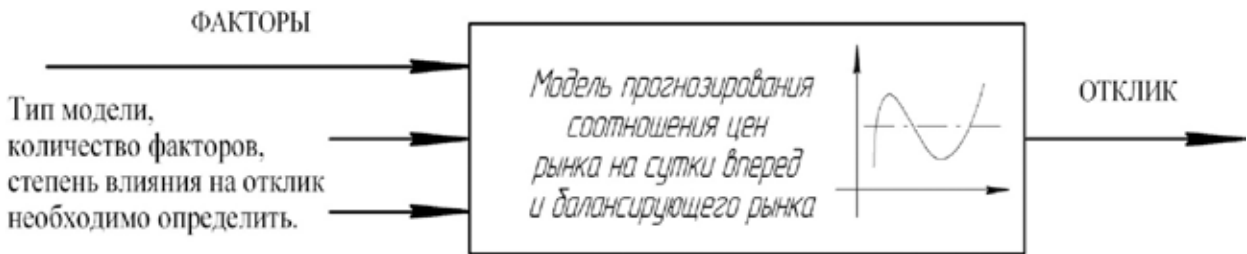


Рис. 11. Модель прогнозирования цен

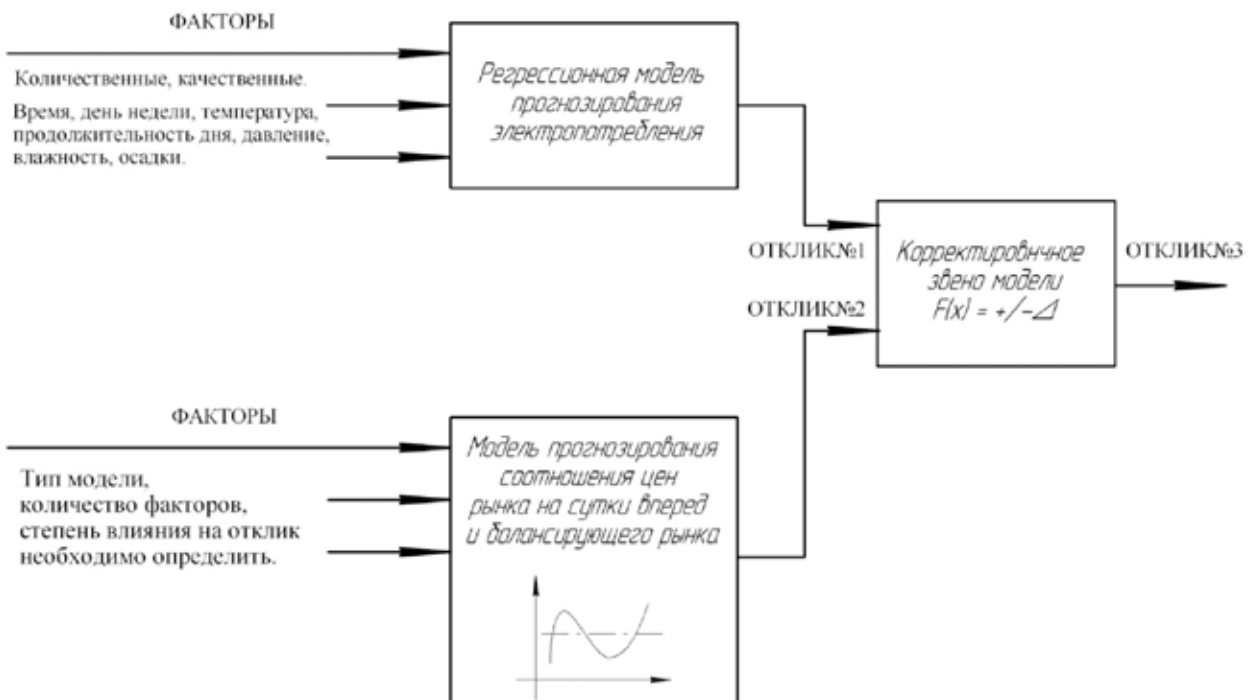


Рис. 12. Комбинированная модель прогнозирования электропотребления

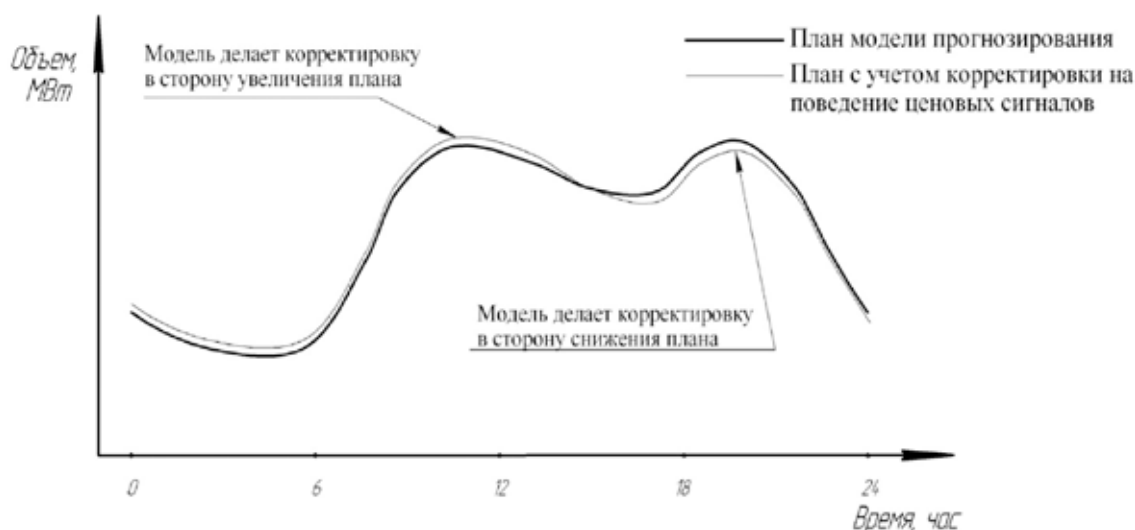


Рис. 13. Пример результата прогноза электропотребления выполненного комбинированной моделью

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

Тип модели и ее факторы в настоящие 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 электропотребле-

ния, но и делать корректировку с целью минимизации экономических потерь (рис. 13).

В связи с вышесказанным представляется актуальной задача построения модели прогнозирования электропотребления отдельных компаний и региона в целом, с учетом не только внутренних потребностей, но и тенденций рынка, что позволит существенно сократить возможные финансовые потери при возникновении погрешностей в прогнозировании [4].

Список источников

1. Гительман Л. Д., Ратников Б. Е. Энергетический бизнес. — М.: Дело, 2006. — 599 с.
2. Головкин П. И. Энергосистема и потребители электрической энергии. — М.: Энергия, 1979. — 367 с.
3. Лапыгин Ю. Н. Экономическое прогнозирование. — М.: Эксмо, 2008. — 253 с.
4. Макоклюев Б. И. Анализ и планирование электропотребления. — М.: Энергоатомиздат, 2008. — 295 с.
5. Макоклюев Б. И., Федоров Д. А. Оперативное прогнозирование нагрузки ЭЭС с учетом метеофакторов. Советчики диспетчеров по оперативной коррекции режимов работы ЭЭС. — Иркутск, 1984. — 232 с.
6. Регламент определения объемов, инициатив и стоимости отклонений. Наблюдательный совет НП «Совет рынка» от 27 апреля 2012 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.np-sr.ru/norem/marketregulation/joining/marketnorem/>

Информация об авторах

Баев Игорь Александрович (Челябинск, Россия) — доктор экономических наук, профессор, декан факультета «Экономика и управление», Южно-Уральский государственный университет (454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76, e-mail: baev@econom.susu.ac.ru).

Соловьева Ирина Александровна (Челябинск, Россия) — кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и финансы», Южно-Уральский государственный университет (454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76, e-mail: dubskih@mail.ru).

Дзюба Анатолий Петрович (Челябинск, Россия) — начальник технологического отдела управления закупок электроэнергии, ОАО «Челябэнергосбыт» (454091 г. Челябинск ул. Российская, 260, e-mail: dzyuba-a@yandex.ru).

I. A. Baev, I. A. Solovyeva, A. P. Dzyuba

Forecasting of the industrial power consumption in the conditions of volatility price signals

Article is devoted to problems of purchase of the electric power in the wholesale market for the industry of Russia. Authors considered the mechanism of pricing and various combinations between the prices of the market for days forward and the prices of the balancing market. Favorable and adverse ratios between the prices of the balancing market and submitted plans for power consumption are revealed. The urgency of forecasting of the industrial power consumption, allowing providing a sustainable development not only power supply systems and the power companies, but also region economy as a whole is proved. Recommendations about improvement

of forecasting of the power consumption, based on the account not only the factors defining requirement for the electric power, but also factors considering tendencies of the balancing market are offered. As methods of forecasting sharing of methods of the regression analysis and method of expert evaluations is offered. Results of research will allow to increase accuracy of forecasting and to reduce financial losses not only at level of the concrete enterprises, but also at region level as a whole.

Keywords: industry, power consumption, balancing market prices, forecasting electricity, modeling, efficiency

References

1. *Gitelman L. D, Ratnikov B. E.* (2006). Energeticheskiy biznes [Energy business]. Moscow, Delo, 599.
2. *Golovkin P. I.* (1979). Energosistema i potrebiteli elektricheskoy energii [Power supply system and consumers of electric energy]. Moscow, Energiya [Energy], 367.
3. *Lapygin Yu. N.* (2008). Ekonomicheskoe prognozirovaniy [Economic forecasting]. Moscow, Eksmo, 253.
4. *Makoklyuyev B. I.* (2008). Analiz i planirovaniye elektropotrebleniya [Analysis and planning of electrical energy consumption]. Energoatomizdat Publ, 259.
5. *Makoklyuyev B. I. Fedorov D. A.* (1984). Operativnoye prognozirovaniye nagruzki EES s uchetom meteofaktorov. Sovetchiki dispatcherov po operativnoy korektsiiy rezhimov raboty EES [Operational forecasting of loading of electrical power system in view of meteorologic factors. Advisers of dispatchers on operative correction of operating modes of electrical power system]. Irkutsk, 232.
6. Reglament opredeleniya obyemov, initsiativ i stoimosti otkloneniy. Nablyudatelnyy sovet NP «Sovet rynka» ot 27 aprelya 2012 goda [Regulations of determination of volumes, initiatives and cost of changes. The supervisory board of «Market Council» from April 27, 2012]. Available at:<http://www.np-sr.ru/norem/marketregulation/joining/marketnorem/>.

Information about the authors

Baev Igor Aleksandrovich (Chelyabinsk, Russia) — Doctor of Economics, professor, Dean of the Faculty “Economics and Management”, South Ural State University (454080, Chelyabinsk, Lenin Avenue, 76, e-mail: baev@econom.susu.ac.ru).

Solovyeva Irina Aleksandrovna (Chelyabinsk, Russia) — PhD in Economics, Associate Professor at the Chair for economy and finance, Southern Ural State University (454080, Chelyabinsk, Lenin Avenue, 76, e-mail: dubskih@mail.ru).

Dzyuba Anatoly Petrovitch (Chelyabinsk, Russia) — head of Department of technologic purchasing power, «Chelyabenergosbyt» (454091, Chelyabinsk, Rossiyskaya St., 260, e-mail: dzyuba-a@yandex.ru).