

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 658.262

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЧАСОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ КРУПНЫМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЕМ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ММК»)

Трофимова В.Ш., Липатников А.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В статье описан механизм ценообразования на современном рынке электроэнергии, рассмотрены принципы функционирования рынка электроэнергии и сопутствующих товаров РФ, представлена функция издержек предприятия, связанных с приобретением электроэнергии, указаны возможные пути снижения издержек и возможность их применения в рамках ОАО «ММК», представлена статистика электропотребления ОАО «ММК», предложена методика снижения издержек, основанная на учете рыночной конъюнктуры, произведена оценка предполагаемого экономического эффекта от внедрения данной методики в ОАО «ММК».

Ключевые слова: электропотребление, прогнозирование, оптимизация, рынок электроэнергии, планирование, балансирующий рынок, снижение издержек, экономико-статистические методы.

Введение

В условиях рыночной экономики залогом успешного существования и развития предприятия служит постоянное снижение им своих затрат во всех областях. В металлургической отрасли затраты на электрическую энергию составляют 30% всех затрат на производство продукции, при этом металлургические предприятия потребляют 12–14% всей вырабатываемой в стране электроэнергии [4].

Теория и методы исследования

Для повышения конкурентоспособности электроэнергетической отрасли и привлечения в нее инвестиций Правительством РФ была разработана реформа постепенного перехода к рыночным отношениям в сфере электроэнергетики.

В рамках реформы рынок электроэнергетики был разделен на оптовый и розничный. На оптовом рынке функционируют генерирующие и сбытовые организации. На розничном – сбытовые организации и потребители. Неразделяемые, естественно-монопольные части рынка, такие как, например, электросети, остались в сфере ведения государства [2].

На смену долгосрочным договорам по тари-

фам, установленным государством, пришли договора с нерегулируемыми ценами. Это изменение не коснулось населения, которое по-прежнему оплачивает электроэнергию по тарифам, устанавливаемым региональными органами власти по методике федеральной службы по тарифам. Предприятия же, начиная с 2011 года, через сбытовые организации участвуют в торгах на трех рынках: рынок электроэнергии на сутки вперед, балансирующий рынок электроэнергии и рынок мощности.

Рынок на сутки вперед (РСВ) предполагает способ торговли, при котором объемы и цены определяются на основе результатов аукциона ценовых заявок поставщиков и покупателей электроэнергии. Целью аукциона является достижение таких равновесных цен и объемов покупки-продажи электрической энергии, при которых поставщики и покупатели получают наибольшую выгоду от участия в аукционе. Аукционы проводит государственная компания ОАО «Администратор торговой системы».

Несмотря на централизованное управление режимами генерации и конкурентными отборами ценовых заявок, для обеспечения надежной работы энергосистемы РСВ недостаточно. Прежде всего, это связано с вероятностным характером спроса. Существует ряд факторов, влия-

яющих на будущий спрос, причем прогнозировать их на сутки вперед или очень затруднительно или вообще невозможно. Есть некоторая доля неопределенности и в области генерации энергии, например вследствие аварий и поломок.

Ввиду всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что для качественного управления энергосистемой в реальном времени необходимо иметь механизмы поддержания баланса производства и потребления электроэнергии. В роли такого механизма выступает еще одна часть оптового рынка – «балансирующий рынок» (БР).

Согласно существующему механизму ценообразования на данных рынках потребителям предлагается выбрать одну из шести ценовых категорий, в соответствии с которой будет рассчитываться цена на потребленную электроэнергию и мощность. От выбранной ценовой категории будет зависеть, на каких рынках, в каких объемах и по каким ценам будет закупаться электроэнергия для предприятия.

Крупные предприятия с присоединенной мощностью более 670 кВт могут выбирать с третьей по шестую ценовые категории, что накладывает на них обязательство предоставления сбытовой организации почасового плана потребления электроэнергии на следующие сутки. Эти данные необходимы для участия сбытовой организации в торгах на рынке на сутки вперед. В случае отклонения фактического электропотребления предприятия от заявленного плана, сбытовая организация автоматически участвует в торгах на балансирующем рынке от лица предприятия, закупая необходимую энергию в случае перерасхода, либо продавая излишки. Участие предприятия на балансирующем рынке чаще всего ему не выгодно, так как цены на нем должны покрывать издержки системы, связанные с перераспределением электроэнергии в сети.

Помимо рыночных составляющих в цену на электроэнергию так же включаются составляющие, полностью регулируемые Федеральной службой по тарифам (ФСТ). На рис. 1 представлена структура цены на розничном рынке электроэнергии.



Рис. 1. Структура цены на розничном рынке электроэнергии

Звездочками помечены части, регулируемые ФСТ. Как видно из рис. 1, большая часть является рыночной и формируется в процессе торгов.

Согласно механизму ценообразования на рынках электроэнергии функция затрат, связанных с приобретением электрической энергии и мощности для предприятий, выбравших b ценовую категорию, примет вид:

$$C(x, pr, P, p, p_+, p_-, p_p) = x \cdot p + (x - pr) \cdot p_+ \cdot I_{(x-pr)>0} + (pr - x) \cdot p_- \cdot I_{(x-pr)<0} + P \cdot p_p + G, \quad (1)$$

где x – фактическое потребление электроэнергии предприятия за час; pr – планируемое потребление предприятия; p – цена на электроэнергию на рынке на сутки вперед; p_+ – цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении фактического потребления над планируемым; p_- – цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении планируемого потребления над фактическим; p_p – цена на мощность на рынке мощности; P – мощность, приобретаемая предприятием; G – прочие расходы, регулируемые государством (передача электроэнергии, обеспечение инфраструктуры энергосистемы РФ и т.д.); I – функция Хэвисайда.

Для минимизации функции затрат необходимо определить, на какие ее части предприятие может оказывать воздействие, а какие являются для предприятия внешними условиями.

Прочие расходы, регулируемые государством (G), устанавливаются ФСТ и находятся вне сферы регулирования предприятия.

На первый взгляд, может показаться, что мощность, приобретаемая предприятием, им же и регулируется, однако это не так. Минимальный обязательный порог мощности к покупке устанавливается электросбытовой компанией в зависимости от ретроспективной информации о необходимой ранее мощности. Следовательно, предприятие может только увеличивать свои расходы по приобретению мощности (например, при вводе нового оборудования).

Все цены, указанные в формуле, формируются на конкурентных рынках и являются экзогенными для предприятия.

Следовательно, предприятие может снизить затраты на приобретение электрической энергии и мощности за счет изменения реального и (или) планируемого потребления. А также за счет изменения ценовой категории, так как для различных категорий функция затрат изменяет состав слагаемых, для разных ценовых категорий различается ставка за электроэнергию (p). Например, цена за фак-

тически потребленную электроэнергию для предприятий, выбравших четвертую ценовую категорию, выше, чем в шестой, но предприятие не штрафуются в случае отклонения фактического потребления электроэнергии от планового.

В настоящее время существует 2 основных подхода для устранения потерь при отклонении фактического потребления электроэнергии от планового:

Жесткое лимитирование электропотребления, при котором на предприятии ограничивается производство в случае приближения к запланированному значению.

Точное прогнозирование потребления, при котором составляются точные планы производства и, как следствие, точные прогнозы потребления электроэнергии, отступление от которых допускается в крайнем случае.

Первый способ с позиции ОАО «ММК» трудно реализуем из-за сложности существующих на предприятии технологических процессов. Некоторое оборудование невозможно остановить, другое сложно контролировать, планируемые работы и регламентные ремонты не всегда проходят в соответствии с планом, переданным в технологическое управление.

Таким образом, контроль параметра x (электропотребление предприятия) для ОАО «ММК» тоже является трудновыполнимой задачей и в некотором смысле x становится для ОАО «ММК» экзогенно заданным параметром.

Из этого следует, что единственным реально возможным для снижения затрат на приобретение электроэнергии параметром является планируемое потребление ОАО «ММК» (pr).

Таким образом, главной целью данного исследования является разработка методики, позволяющей планировать почасовое потребление электрической энергии ОАО «ММК» таким образом, чтобы потери, связанные с отклонением фактического потребления электроэнергии от планового были минимальными.

Если рассматривать второй способ устранения потерь – точное прогнозирование электропотребления на основе теории временных рядов, корреляционно-регрессионного анализа или методами «Data mining», то можно отметить следующее. Существует два подхода: прогнозирование электропотребле-

ния отдельных цехов и затем объединение полученных прогнозов в общий прогноз по всему предприятию и прогнозирование электропотребления в целом по предприятию. На рис. 2 представлены величины стандартного отклонения потребления электроэнергии в различных цехах ОАО «ММК».

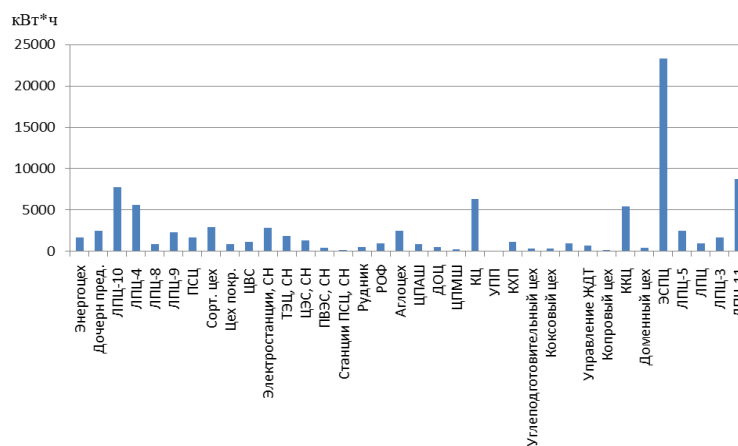


Рис. 2. Среднеквадратические отклонения электропотребления цехов ОАО «ММК»

Наибольшая дисперсия электропотребления наблюдается в электросталеплавильном цехе, кислородном цехе и листопрокатных цехах. Дисперсия остальных цехов значительно меньше и связана скорее с изменениями долгосрочных режимов работы цехов в целом, а не с изменчивостью электропотребления внутри дня. Для иллюстрации этого факта далее продемонстрированы графики внутрисуточного потребления различных цехов ОАО «ММК» (рис. 3–5). На рисунках видно высокую изменчивость внутрисуточного электропотребления в электросталеплавильном цехе и на ЛПЦ-10, в то время как в кислородном цехе она является достаточно низкой.

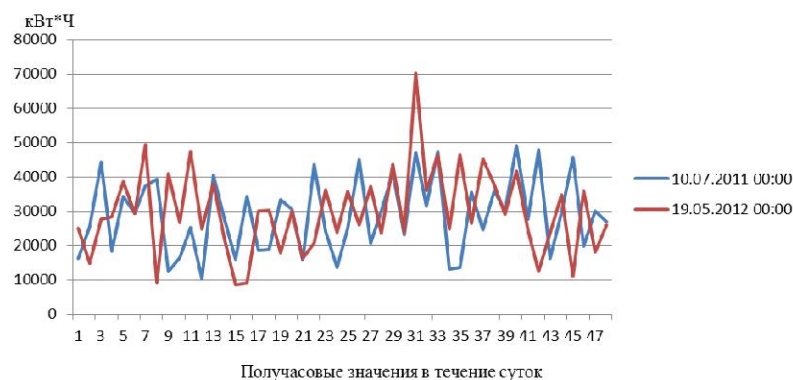


Рис. 3. Внутрисуточное потребление электроэнергии ЭСПЦ

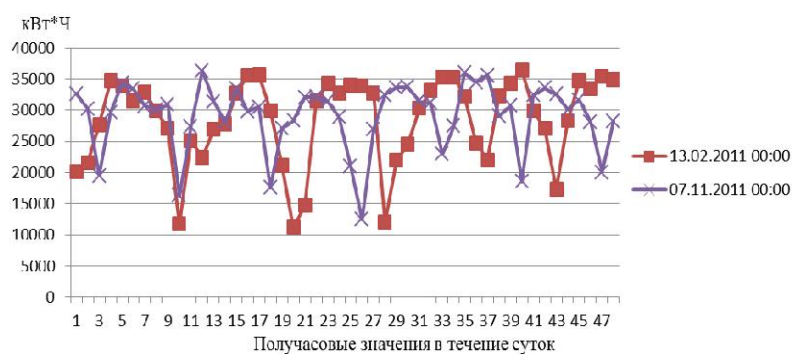


Рис. 4. Внутрисуточное потребление электроэнергии ЛПЦ-10

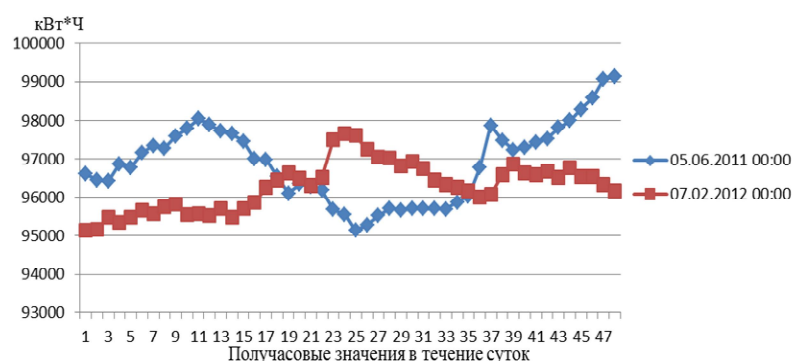


Рис. 5. Внутрисуточное потребление электроэнергии ЦК

Для получения качественного прогноза электропотребления в целом по предприятию необходимо построить достаточно точные модели для цехов с высокой дисперсией электропотребления.

Данная задача оказалась невыполнимой из-за отсутствия необходимой статистики по параметрам, оказывающим определяющее влияние на внутрисуточное электропотребление, и/или принципиальной невозможности предугадать их значение на сутки вперед, чтобы построить достоверный прогноз. Например, характер изменения внутрисуточного электропотребления в ЛПЦ-10 (см. рис. 4) определяется технологическим циклом, а именно, когда и как долго будут длиться перевалки, в какое время начнутся и закончатся ремонтные работы, среди которых есть и внеплановые и пр. Аналогичные проблемы возникают при прогнозировании электропотребления ЭСПЦ.

Поэтому в дальнейшей работе был использован второй подход – прогнозирование почасового электропотребления на сутки вперед в целом по предприятию. Для этого

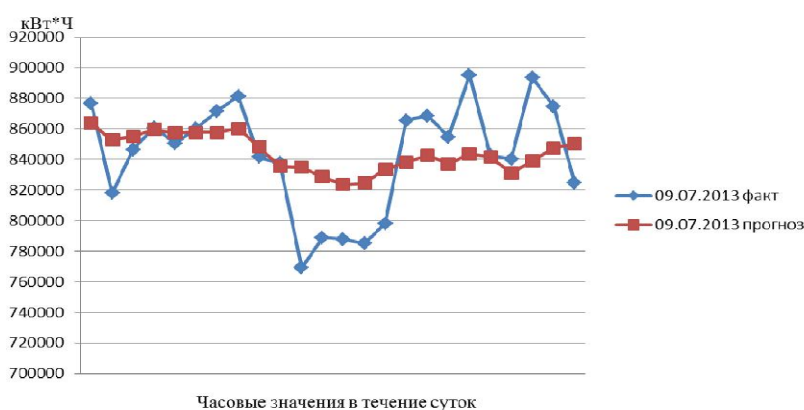


Рис. 6. Внутрисуточный прогноз электропотребления ОАО «ММК»

использовались исторические данные о потреблении электроэнергии (авторегрессионная часть), а также временные характеристики, такие как день недели, час дня, и составляющая Фурье в виде периодической функции от часа года.

Построенные модели хорошо описывают тренд, однако не могут уловить внутрисуточную изменчивость электропотребления, что может привести к убыткам на балансирующем рынке (рис. 6).

Невозможность построения качественных прогнозных моделей привела к идее постановки иной задачи: разработать такую методику планирования электропотребления на сутки вперед, при которой потери предприятия от участия в торгах на балансирующем рынке были бы минимальными, не внося при этом никаких технических, технологических или организационных изменений.

В основу разработанной методики положена идея минимизации функции средних ожидаемых потерь от участия предприятия в торгах на балансирующем рынке. Для этого необходима дополнительная информация о рыночных ценах: цена на электроэнергию на рынке на сутки вперед, цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении фактического потребления над планируемым, цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении планируемого потребления над фак-

тическим.

Эти данные находятся в публичном доступе как на сайте ОАО «Администратор торговой системы», так и на сайте электросбытовой компании ООО «МЭК».

Соответственно для минимизации издержек теперь проводится прогнозирование не только электропотребления как такового, но и прогнозирование рыночных цен балансирующего рынка.

Ниже представлена полученная автором функция средних ожидаемых потерь от участия предприятия в торгах на балансирующем рынке:

$$G(pr) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[((x - pr) \cdot p_+ \cdot I_{(x-pr)>0} + (x - pr) \cdot p_- \cdot I_{(x-pr)<0}) \cdot f_x(x) \right] dx, \quad (2)$$

где x – фактическое потребление электроэнергии предприятия за час; pr – планируемое потребление предприятия; p_+ – цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении фактического потребления над планируемым; p_- – цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении планируемого потребления над фактическим; $f_x(x)$ – функция плотности распределения потребления электроэнергии ОАО «ММК» за час; I – функция Хэвисайда.

В результате минимизации данной функции по переменной pr получен прогноз, при котором издержки от участия ОАО «ММК» в торгах на балансирующем рынке будут минимальными.

$$\frac{dG(pr)}{dpr} = 0 \Rightarrow pr = F_x^{-1} \left[\frac{p_+}{(p_+ + p_-)} \right],$$

где F_x^{-1} – функция обратная интегральной функции распределения потребления электроэнергии ОАО «ММК» за час.

Необходимые для оптимального планирования электропотребления прогнозные значения $\frac{p_+}{(p_+ + p_-)}$ вычисляются с использованием статистических методов прогнозирования, причем моделировать значения этого коэффициента необходимо функцией, область значений которой находится в пределах $[0,1]$, например логистической функцией.

При вычислении планируемого оптимального объема электропотребления предполагается нормальность распределения потребления элек-

троэнергии и используется следующая формула:

$$\hat{pr} = \left[F_x^{-1} \left[\frac{\hat{p}_+}{(\hat{p}_+ + \hat{p}_-)} \right] \right] = \hat{C} + \sigma_e \cdot N_{(0,1)}^{-1} \cdot \left[\frac{\hat{p}_+}{(\hat{p}_+ + \hat{p}_-)} \right], \quad (3)$$

где \hat{pr} – планируемое значение потребления электроэнергии на соответствующий час, оптимальное с точки зрения минимизации функции (2); \hat{C} – среднее ожидаемое прогнозное значение потребления электроэнергии на соответствующий час, рассчитанное методами прогнозирования временных рядов; σ_e – среднеквадратическое отклонение ошибки прогноза потребления электроэнергии; $N_{(0,1)}^{-1}$ – функция, обратная функции стандартного нормального распределения.

Заключение

Таким образом, методика оптимального планирования почасового потребления электрической энергии крупным металлургическим предприятием состоит из следующих этапов:

1) На основе ретроспективных данных строится прогноз потребления ОАО «ММК».

2) Рассчитывается ошибка прогноза и находится ее дисперсия.

3) Прогнозируется сумма цен балансирующего рынка за превышение фактического потребления над плановым и планового потребления над фактическим.

4) Прогнозируется ценовой коэффициент $\frac{p_+}{(p_+ + p_-)}$.

5) Рассчитывается оптимальный план потребления электроэнергии на сутки вперед с почасовой детализацией на основе приведенных выше данных и выведенной формулы (3).

При тестировании методики и расчете экономического эффекта использовались данные фактического и планового потребления электроэнергии ОАО «ММК». С учетом известных цен за электроэнергию на РСВ и БР дополнительные затраты предприятия на оплату электроэнергии по четвертой ценовой категории по сравнению с шестой на РСВ составили бы 20,34 млн руб в год. Дополнительные затраты по шестой ценовой категории на БР составили бы 13,31 млн руб. В случае применения разработанной методики дополнительные затраты по шестой ценовой категории на БР составили бы 7,27 млн руб в год. Таким образом, минимально ожидаемый эконо-

мический эффект использования предложенной методики составляет 6,04 млн руб.

В дальнейшем планируется улучшение методики путем совершенствования методов прогнозирования показателей, введения в функцию издержек штрафов за сильные отклонения, а также планируется разработка системы поддержки принятия решений при планировании потребления электроэнергии для крупных металлургических предприятий на основе данной методики.

Список литературы

1. Экономика и управление в современной электроэнергетике России: пособие для менеджеров электроэнергетических компаний / под ред. А.Б. Чубайса. М.: НП «КОНЦ ЕЭС», 2009. 616 с.: ил.

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 июля 2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 августа 2006 г. № 529 «О совершенствовании порядка функционирования оптового рынка электрической энергии (мощности)».
4. Никифоров Г.В., Олейников В.К., Заславец И.И. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. М.: Энергоатомиздат, 2003. 480 с.
5. Трофимова В.Ш. Экономико-математическое моделирование и прогнозирование электропотребления промышленного предприятия (на примере ОАО «ММК») // Экономика, Статистика и Информатика. Вестник УМО. 2010. №4. С. 109–114.
6. Анализ временных рядов и прогнозирование: учеб. пособие / Бушманова М.В., Мельникова Г.Г., Реент Н.А., Трофимова В.Ш. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DEVELOPMENT OF PLANNING TECHNIQUES FOR HOURLY ELECTRICITY CONSUMPTION BY A LARGE-SCALE METALLURGICAL PLANT (BY THE EXAMPLE OF MMK)

Trofimova Violetta Shamiliyevna – Ph.D. (Economics), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: violat@mail.ru.

Lipatnikov Andrey Vladimirovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: llipass@mail.ru.

Abstract. This article describes the mechanism of the pricing on the modern electricity market, studies functioning principles of the electricity and related goods market in the Russian Federation, presents the function of an enterprise's expenses connected with the electricity acquisition, shows the possible ways of the reduction of expenses and the opportunity of their usage at MMK, presents the electricity consumption statistics of MMK, suggests the method of expenses reduction based on market information, and evaluates the economic effect from introduction of this method at MMK.

Keywords: electricity consumption, forecasting, optimization, electricity market, planning, balancing market, reduction of expenses, statistical methods in economics.

References

1. Экономика и управление в современной электроэнергетике России: пособие для менеджеров электроэнергетических компаний. Под редакцией А.Б. Чубайса. [Economy and management in modern power industry of Russia: tutorial for managers of power

companies. Edited by A.B. Chubais]. Moscow: NP KONTs EES, 2009. 616 p.

2. Regulation of the Government of the Russian Federation of 11 July 2001 no. 526. On the reformation of the Russian power industry.
3. Regulation of the Government of the Russian Federation of 31 August 2006 no. 529. On improvement of the functioning procedure of the wholesale electricity (power) market.
4. Nikiforov G.V., Oleynikov V.K., Zaslavets I.I. *Energoberezhenie i upravlenie energopotrebleniem v metallurgicheskom proizvodstve* [Energy saving and energy consumption management at metallurgical plants]. Moscow: Energoatomizdat, 2003. 480 p.
5. Trofimova V.Sh. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie elektropotrebleniya promyshlennogo predpriyatiya (na primere OAO MMK). [Economical and mathematical modeling and forecasting of electricity consumption of an enterprise (by the example of MMK)]. *Ekonomika, Statistika i Informatika. Vestnik UMO* [Economy, Statistics and Informatics. Vestnik UMO]. 2010, no. 4, pp. 109-114.
6. Bushmanova M.V., Melnikova G.G., Reent N.A., Trofimova V.Sh. *Analiz vremennykh ryadov i prognozirovanie: Uchebnoe posobie* [The analysis of time series and forecasting]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009.