

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, О.В. Колесникова, А.А. Захарова

Рассматривается прогнозирование объемов потребления электроэнергии частными производственными подразделениями крупного промышленного предприятия и предприятием в целом. На уровне производственных подразделений прогноз осуществляется на основе эмпирических зависимостей удельного расхода электроэнергии от количества произведенной продукции. На уровне предприятия в целом решение задачи минимизации ошибки прогноза потребления электроэнергии основано на корректировке значений фактического потребления электроэнергии предприятием в целом, определяемого по показаниям прибора учета, и расчетного суммарного расхода электроэнергии отдельных производственных подразделений предприятия. Предложенный метод оптимального прогнозирования объемов потребления электроэнергии апробирован на реальных данных по выработке основных видов продукции и потреблению электроэнергии группой цехов и электростанциями крупного металлургического предприятия. Опытные расчеты показали, что при использовании рассмотренного метода средняя за зимний период 2013 г. точность прогнозирования объемов потребления электроэнергии группой цехов составляет 0,11 %, электростанциями - 0,137 %.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, прогнозирование, потребление электроэнергии.

Введение

Существующие методики прогноза электрической нагрузки потребителей, как правило, основываются на статистическом анализе временных рядов потребления электроэнергии. Недостатком данного подхода является то, что здесь анализируются только внешние для потребителей факторы, влияющие на потребление электроэнергии [1, 2]. Такими факторами являются: температура окружающего воздуха, облачность, долгота дня, день недели, наличие экстраординарных событий, планируемое включение/отключение энергоемких производств и др. Подобный подход дает относительно точные результаты только применительно к большим массивам потребителей, например, промышленный и жилищно-коммунальный секторы города, нагрузка освещения и т. п. Относительно отдельного потребителя точность подобного подхода невелика. Точное прогнозирование потребления электроэнергии промышленного предприятия требует анализа внутренних производственных факторов.

Задача нормирования и прогнозирования потребления электрической энергии должна решаться комплексно как путем детального анализа потребления электрической энергии частных производственных участков, так и с использованием алгоритмов нормирования и прогнозирования потребления энергетических ресурсов в целом по предприятию. В соответствии с этим в работе предложена методика минимизации общей ошибки нормирования и прогнозирования потребления электрической энергии на основе решения указанных двух задач [3–5].

1. Прогнозирование электропотребления производственными подразделениями предприятия

На промышленных предприятиях, как правило, имеется информация по итогам за отчетный период (например, месяц) об объемах произведенной продукции и фактических расходах электроэнергии на каждый вид продукции в соответствии с принятой структурой учета электроэнергии для производственных подразделений. На основе указанной информации можно осуществлять нормирование удельного расхода электроэнергии по соотношению [6]:

$$w_{it} = \frac{W_{it}}{\Pi_{it}}, \quad i \in [1; N_p], \quad t \in [1; N_t],$$

где w_{it} – удельный расход электроэнергии i -го производственного подразделения предприятия за t -й интервал времени; W_{it} – полное потребление электроэнергии i -м подразделением; Π_{it} – количество продукции, произведенной i -м подразделением; N_p , N_t – количество производственных подразделений и интервалов времени соответственно.

Существует эмпирическая зависимость удельного расхода электроэнергии от количества произведенной продукции производственным подразделением предприятия. Общий вид зависимости следующий:

$$w_i = f(\Pi_i).$$

Анализ статистических данных об объемах производства и соответствующих им удельных расходах электроэнергии показал, что наилучшим образом отражает реальный характер взаимосвязи объемов производства и удельных расходов электроэнергии экспоненциальная зависимость вида [7]:

$$w_i = \exp(a_{i0} + a_{i1}\Pi_i), \quad (1)$$

где a_{i0} , a_{i1} – коэффициенты, определяемые для каждой зависимости (для каждого производственного подразделения предприятия).

Построение эмпирических зависимостей (1) осуществляется, например, методом наименьших квадратов.

С целью повышения точности построения (1) следует учитывать сезонность. Так для нашего региона достаточно в календарном году выделить зимний (первый и четвертый квартал) и летний (второй и третий квартал) период.

Таким образом, на уровне производственных подразделений прогноз объемов потребления электроэнергии для терминальной точки прогноза T можно осуществлять на основе полученных зависимостей (1) по соотношению:

$$W_{iT}^{np} = w_i \Pi_{iT}^{pl},$$

где W_{iT}^{np} – прогнозное потребление электроэнергии; Π_{iT}^{pl} – плановая выработка продукции.

2. Оптимальное прогнозирование электропотребления предприятием в целом

Оптимальное прогнозирование электропотребления крупного промышленного предприятия в целом будем рассматривать как задачу минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии [8, 9].

На уровне крупного промышленного предприятия в целом решение указанной задачи основано на корректировке значений фактического общего потребления электроэнергии предприятием W_0^ϕ , определяемого по показаниям прибора учета, и расчетного суммарного расхода электроэнергии W_0^p отдельных производственных подразделений предприятия.

Общий квадратичный критерий имеет вид:

$$Q_E = (1 - \alpha)E_0^2 + \alpha \sum_{i=0}^{N_p} (a_i - a_i^H)^2 \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$E_0^2 = M_t \left\{ \left(W_{0t}^\phi - \sum_{i=0}^{N_p} a_i W_{it}^p \right)^2 \right\}, \quad W_{it}^p \equiv 1 \text{ при } i = 0, \quad (3)$$

где E_0 – общая ошибка; a_i – корректирующие коэффициенты; a_i^H – номинальные значения корректирующих коэффициентов: $a_0^H = 0$, $a_i^H = 1$; $\alpha \in [0; 1]$ – регуляризирующий множитель; $M_t\{\cdot\}$ – математическое ожидание; W_{it}^p – расчетное значение потребления электроэнергии i -м производственным подразделением.

Решение задачи (2) сводится к решению следующей системы уравнений:

$$(1 - \alpha) \sum_{j=0}^{N_p} c_{ij} a_j + \alpha a_i = (1 - \alpha) d_i + \alpha a_i^H, \quad i \in [0; N_p], \quad (4)$$

где $c_{ij} = M_t \{ W_{it}^p W_{jt}^p \}$; $d_i = M_t \{ W_{0t}^\phi W_{it}^p \}$.

Решение системы уравнений (4) осуществляется, например, методом Гаусса. Результатом решения системы уравнений (4) являются значения корректирующих коэффициентов a_i для каждого i -го производственного подразделения.

Прогнозное значение потребления электроэнергии предприятием в целом W_{0T}^{np} для терминальной точки прогноза T определяется с использованием полученных корректирующих коэффициентов a_i по соотношению:

$$W_{0T}^{np} = \sum_{i=0}^{N_p} a_i W_{iT}^{np},$$

где W_{iT}^{np} – прогнозное значение потребления электроэнергии i -м производственным подразделением для терминальной точки прогноза T .

3. Выборка данных при построении факторных зависимостей

При решении задачи прогнозирования потребления электроэнергии промышленного предприятия осуществляется математическая обработка статистических данных, полученных не при контролируемом активном эксперименте, а в условиях реального производства, которое характеризуется значительными колебаниями объемов выпускаемой продукции, различным по интенсивности влиянием большого количества других производственных факторов. В связи с этим при определении корректирующих коэффициентов a_i путем построения факторной зависимости вида

$$W_{0t}^{\phi} = \sum_{i=0}^{N_p} a_i W_{it}^p \quad (5)$$

необходимо предварительно провести выборку данных из общей статистики.

Выборка данных проводится с целью поиска максимально совместной подсистемы данных, для которой ошибка прогнозирования σ_{np} является минимальной при допустимом заданном значении ошибки восстановления данных E_0 .

Подробно вопросы построения факторных зависимостей рассмотрены в литературе, например, в работах авторов [10, 11].

4. Опытные расчеты для группы цехов металлургического предприятия

Апробация разработанного метода оптимального прогнозирования объемов потребления электроэнергии, рассмотренного в п. 2, осуществлялась на реальных статистических данных следующих цехов металлургического предприятия: доменного цеха (ДЦ), литейно-прокатного цеха (ЛПЦ) и коксохимического производства (КХП) за зимний период с января 2007 г. по декабрь 2013 г.

Данные включают численные значения по фактической выработке продукции: чугуна (ДЦ), горячего проката (ЛПЦ), кокса (КХП), а также по фактическому и расчетному на основе зависимостей удельного расхода электроэнергии от количества произведенной продукции потреблению электроэнергии для выработки указанных видов продукции.

Как отмечалось в п. 3, при построении факторных зависимостей на реальных данных предварительно необходимо провести выборку данных из общей статистики. В процессе выборки данных по выработке продукции и потреблению электроэнергии группой цехов (ДЦ, ЛПЦ, КХП) фиксировались значения ошибки прогнозирования потребления электроэнергии и ошибки восстановления данных. Полученные графики зависимости ошибки прогнозирования σ_{np} потребления электроэнергии для зимнего периода 2013 г. от ошибки восстановления данных E_0 для зимнего периода 2007–2012 гг. приведены на рис. 1.

Численные значения корректирующих коэффициентов a_i для каждого прогнозного месяца зимнего периода 2013 г., полученные при минимальном значении ошибки прогнозирования σ_{np} , приведены в табл. 1.

Точность прогноза потребления электроэнергии E следует определять по соотношению:

$$E = \frac{|W_0^{\phi} - W_0^{np}|}{W_0^{np}}. \quad (6)$$

Численные значения фактического W_0^{ϕ} и прогнозного W_0^{np} объема потребления электроэнергии, а также точность прогноза E для группы цехов (ДЦ, ЛПЦ, КХП) в зимний период 2013 г. приведены в табл. 2.

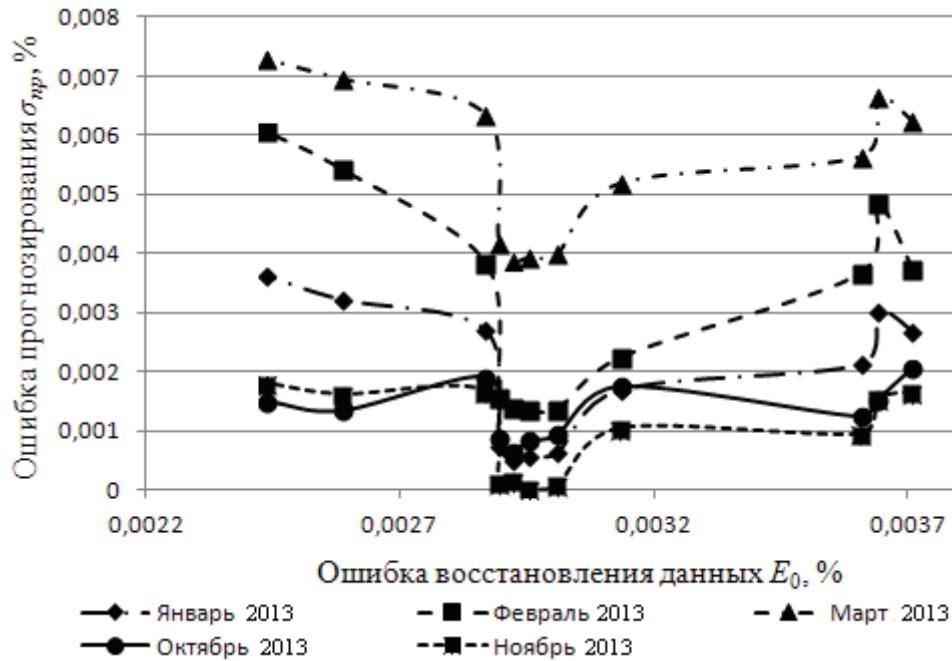


Рис. 1. Графики зависимости ошибки прогнозирования $\sigma_{пр}$ от ошибки восстановления данных E_0

Корректирующие коэффициенты

Таблица 1

Коэффициенты	Дата					
	Январь 2013	Февраль 2013	Март 2013	Октябрь 2013	Ноябрь 2013	Декабрь 2013
a_0	-73 950	-228 359	-73 950	-73 950	-1 691 697	-1 099 147
a_1	0,845	0,829	0,845	0,845	0,834	1,058
a_2	0,994	0,997	0,994	0,994	0,995	1,000
a_3	1,035	1,040	1,035	1,035	1,039	1,036

Точность прогноза потребления электроэнергии группой цехов

Таблица 2

Наименование величины	Дата					
	Январь 2013	Февраль 2013	Март 2013	Октябрь 2013	Ноябрь 2013	Декабрь 2013
W_{0t}^{ϕ}	66 239 125	62 639 900	65 886 029	67 776 157	66 599 444	65 147 179
$W_{0t}^{пр}$	66 272 201	62 724 482	66 141 253	67 819 960	66 598 437	65 128 805
E	0,00050	0,00135	0,00386	0,00065	0,00002	0,00028

Средняя за зимний период 2013 г. точность прогноза $E_{ср}$ потребления электроэнергии определяется по соотношению:

$$E_{ср} = \frac{\sum_{t=1}^m E_0}{m}, \quad (7)$$

где m – число месяцев.

Подставляя значения из табл. 2 в соотношение (7), получаем:

$$E_{ср} = \frac{0,00665}{6} = 0,0011.$$

Полученные результаты показывают, что при использовании разработанного авторами метода оптимального прогнозирования, рассмотренного в п. 2, средняя за зимний период 2013 г. точность прогноза объемов потребления электроэнергии группой цехов (ДЦ, ЛПЦ, КХП) металлургического предприятия составляет 0,11 %, что является достаточным для практического применения.

5. Опытные расчеты для электростанций металлургического предприятия

Апробация разработанного метода оптимального прогнозирования объемов потребления электроэнергии осуществлялась также на реальных статистических данных электростанций металлургического предприятия: теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), центральной электростанции (ЦЭС) и паровоздуходувной электростанции (ПВЭС) за зимний период с января 2006 г. по декабрь 2013 г.

Данные включают численные значения по фактической выработке продукции: электроэнергии, тепла с острым паром, тепла с горячей водой, на химводоочистку, на береговую насосную (ТЭЦ); электроэнергии, тепла с горячей водой, тепла с паром, на химводоочистку (ЦЭС); электроэнергии, дутья, отпущенное тепло, на собственные нужды котельной (ПВЭС), а также по фактическому и расчетному на основе зависимостей удельного расхода электроэнергии от количества произведенной продукции потреблению электроэнергии для выработки указанных видов продукции.

В процессе выборки данных по выработке продукции и потреблению электроэнергии электростанциями (ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС) фиксировались значения ошибки прогнозирования потребления электроэнергии и ошибки восстановления данных. Полученные графики зависимости ошибки прогнозирования $\sigma_{пр}$ потребления электроэнергии для зимнего периода 2013 г. от ошибки восстановления данных E_0 для зимнего периода 2006–2012 гг. приведены на рис. 2.

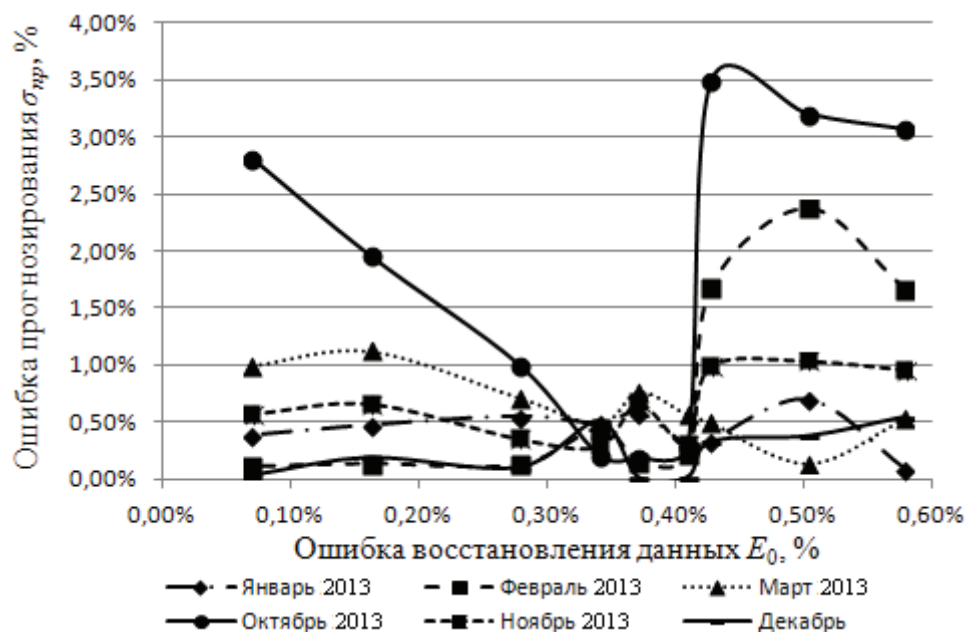


Рис. 2. Графики зависимости ошибки прогнозирования $\sigma_{пр}$ от ошибки восстановления данных E_0

Численные значения корректирующих коэффициентов a_i для каждого прогнозного месяца зимнего периода 2013 г., полученные при минимальном значении ошибки прогнозирования $\sigma_{пр}$, приведены в табл. 3.

Точность прогноза потребления электроэнергии следует определять по соотношению (6). Численные значения фактического $W_0^ф$ и прогнозного $W_0^{пр}$ объема потребления электроэнергии, а также точность прогноза E потребления электроэнергии электростанциями (ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС) для зимнего периода 2013 г. приведены в табл. 4.

Таблица 3

Корректирующие коэффициенты

Коэффициенты	Дата					
	Январь 2013	Февраль 2013	Март 2013	Октябрь 2013	Ноябрь 2013	Декабрь 2013
a_0	3 611 352	7 626 642	4 840 511	3 884 406	4 788 999	3 884 406
a_1	0,78	0,77	0,71	1,23	0,91	1,23
a_2	3,35	0,85	3,59	1,42	0,84	1,42
a_3	1,25	0,90	1,22	1,18	0,96	1,18
a_4	-13,81	-13,68	-18,88	-16,26	-12,07	-16,26
a_5	1,18	2,52	1,22	1,91	1,61	1,91
a_6	2,06	1,52	1,88	1,38	1,57	1,38
a_7	1,11	1,53	0,98	1,02	1,05	1,02
a_8	-0,05	0,10	-0,25	-0,96	-0,63	-0,96
a_9	0,63	0,63	2,59	-2,34	-1,93	-2,34
a_{10}	2,55	2,43	2,48	2,10	2,25	2,10
a_{11}	-1,18	-0,74	-1,03	-0,19	0,34	-0,19
a_{12}	-1,40	-0,52	-1,12	-0,41	-0,02	-0,41
a_{13}	-4,62	0,32	-3,05	-1,09	2,67	-1,09

Таблица 4

Точность прогноза потребления электроэнергии электростанциями

Наименование величины	Дата					
	Январь 2013	Февраль 2013	Март 2013	Октябрь 2013	Ноябрь 2013	Декабрь 2013
W_0^{ϕ}	57 102 442	52 733 380	54 346 738	53 617 004	53 117 158	56 339 097
W_0^{np}	57 051 796	52 791 472	54 275 303	53 719 231	52 964 369	56 347 535
E	0,00089	0,00110	0,00132	0,00190	0,00288	0,00015

Средняя за зимний период 2013 г. точность прогноза E_{cp} потребления электроэнергии определяется по соотношению (7). Подставляя численные значения из табл. 4 в соотношение (7), получаем

$$E_{cp} = \frac{0,00824}{6} = 0,00137.$$

Полученные результаты показывают, что при использовании разработанного метода оптимального прогнозирования, рассмотренного в п. 2, средняя за зимний период 2013 г. точность прогноза объемов потребления электроэнергии электростанциями (ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС) металлургического предприятия составляет 0,137 %, что является достаточным для практического применения.

Выводы

1. Прогнозирование объемов потребления электроэнергии частными производственными подразделениями промышленного предприятия осуществляется на основе эмпирических зависимостей удельного расхода электроэнергии от количества произведенной продукции.

2. Прогнозирование электропотребления крупного промышленного предприятия в целом предлагается рассматривать как задачу минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии. Решение указанной задачи основано на корректировке значений фактического общего потребления электроэнергии предприятием, определяемого по показаниям прибора учета, и расчетного суммарного расхода электроэнергии отдельных производственных подразделений предприятия.

3. Для построения факторных зависимостей на реальных статистических данных при решении задачи прогнозирования потребления электроэнергии на промышленном предприятии необ-

ходимо осуществлять выборку данных из общей статистики с целью поиска максимально совместной подсистемы данных, для которой ошибка прогнозирования является минимальной при допустимом значении ошибки восстановления данных.

4. Метод прогнозирования электропотребления апробирован на реальных данных по выработке основных видов продукции и потреблению электроэнергии группой цехов (ДЦ, ЛПЦ, КХП) и электростанциями (ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС) металлургического предприятия. Опытные расчеты показали, что средняя за зимний период 2013 г. точность прогнозирования объемов потребления электроэнергии группой цехов составляет 0,11 %, электростанциями – 0,137 %, что является достаточным для практического прогнозирования энергоресурсов.

Литература

1. Барбасова, Т.А. Внедрение системы энергетического менеджмента на металлургических предприятиях Челябинской области в целях повышения энергетической эффективности региона / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Экономика промышленности. – 2012. – № 3. – С. 42–46.
2. Барбасова, Т.А. Пути повышения энергетической эффективности Челябинской области / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Инновационный Вестник Регион – 2012 – № 2. – С. 69–75.
3. Оптимизация энергобаланса и выбор режимов работы дуговых сталеплавильных печей / Ю.А. Бодяев, Ю.П. Журавлев, Л.А. Копцев и др. // Сталь. – 2010. – № 2. – С. 29–31.
4. Копцев, Л.А. Энергосбережение и повышение экономической эффективности предприятия путем управления загрузкой производственных агрегатов / Л.А. Копцев // Промышленная энергетика. – 2011. – № 11. – С. 14–21.
5. Копцев, Л.А. Оптимизация энергобаланса дуговых сталеплавильных печей на основе метода линейного программирования / Л.А. Копцев, Ю.П. Журавлев, В.В. Зуевский // Сталь. – 2008. – № 9. – С. 92–95.
6. Автоматизированные системы управления в энергосбережении (опыт разработки): моногр. / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер, О.В. Колесникова и др.; под ред. Л.С. Казаринова. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ; Изд. Т. Лурье, 2010. – 228 с.
7. Копцев, Л.А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии в зависимости от объемов производства / Л.А. Копцев // Промышленная энергетика. – 1996. – № 3. – С. 5–7.
8. Казаринов, Л.С. Оптимальное прогнозирование потребления энергетических ресурсов по стоимостному критерию / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Вест. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер. «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 90–94.
9. Казаринов, Л.С. Автоматизированная информационная система поддержки принятия решений по контролю и планированию потребления энергетических ресурсов / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Вест. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер. «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – Вып. 16, № 23 (282). – С. 118–122.
10. Ивахненко, А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко. – Киев: Техника, 1975.
11. Казаринов, Л.С. Системные исследования и управление (когнитивный подход): науч.-метод. пособие / Л.С. Казаринов. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ; Изд. Т. Лурье, 2011. – 524 с.

Казаринов Лев Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматике и управления, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); kazarinov@ait.susu.ru.

Барбасова Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматике и управления, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); tatyana_barbasova@mail.ru.

Колесникова Ольга Валерьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматике и управления, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); olgavporova@rambler.ru.

Захарова Александра Александровна, аспирант кафедры автоматике и управления, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); al_eksa@mail.ru.

A FORECASTING METHOD OF INDUSTRIAL ENTERPRISE POWER CONSUMPTION

L.S. Kazarinov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
kazarinov@ait.susu.ru,

T.A. Barbasova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
tatyana_barbasova@mail.ru,

O.V. Kolesnikova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
olgavpopova@rambler.ru,

A.A. Zakharova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
al_ekca@mail.ru

Forecasting of electricity consumption by enterprise divisions and by the enterprise in whole is considered. At the level of enterprise divisions, forecasting is based on empirical functional relations of specific electricity consumption and the production output. At the level of the enterprise in whole, the problem of minimizing errors in electricity consumption forecasting is resolved on the adjustment of actual electricity consumption by the enterprise in whole defined using meter readings and the estimated summary electricity consumption of particular enterprise divisions. The offered method of optimal forecasting has been tested on real data of a metallurgical enterprise. The estimates showed that the average forecasting accuracy of the electricity consumption for the enterprise divisions and the enterprise in whole (winter 2013) is 0.11 % and 0.137 % respectively.

Keywords: energy efficiency, forecasting, energy consumption.

References

1. Barbasova T.A., Zakharova A.A. The Introduction of an Energy Management System at the Metallurgical Enterprises of the Chelyabinsk Region in Order to Increase Energy Efficiency in the Region [Vnedreniye sistemy energeticheskogo menedzhmenta na metallurgicheskikh predpriyatiyakh Chelyabinskoy oblasti v tselyakh povysheniya energeticheskoy effektivnosti regiona]. *Ekonomika promyshlennosti [Industrial Economics]*, 2012, no. 3, pp. 42–46.
2. Barbasova T.A., Zakharova A.A. Ways to Increase the Energy Efficiency of the Chelyabinsk Region [Puti povysheniya energeticheskoy effektivnosti Chelyabinskoy oblasti]. *Innovatsionnyy Vestnik Region [Innovation Herald Region]*, 2012, no. 2, pp. 69–75.
3. Bodyayev Yu.A., Zhuravlev Yu.P., Koptsev L.A., Prokhorov S.V., Novitskiy I.D. Energy Balance Optimization and Operating Mode Selection of Arc Steel Furnace [Optimizatsiya energobalansa i vybor rezhimov raboty dugovykh staleplavil'nykh pechey]. *Stal' [Steel]*, 2010, no. 2, pp. 29–31.
4. Koptsev L.A. Energy Saving and Economic Efficiency Increase of the Enterprise by Loading Control of Production Units [Energoberezheniye i povysheniye ekonomicheskoy effektivnosti predpriyatiya putem upravleniya zagruzkoj proizvodstvennykh agregatov]. *Promyshlennaya energetika [Industrial Energy]*, 2011, no. 11, pp. 14–21.
5. Koptsev L.A., Zhuravlev Yu.P., Zuyevskiy V.V. Energy Balance Optimization of Arc Steel Furnaces on the Basis of a Linear Programming Method. [Optimizatsiya energobalansa dugovykh staleplavil'nykh pechey na osnove metoda lineynogo programmirovaniya]. *Stal' [Steel]*, 2008, no. 9, pp. 92–95.
6. Kazarinov L.S., Shnayder D.A., Barbasova T.A. and others. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya v energoberezhenii (opyt razrabotki): monografiya* [Automated Control Systems in Energy Saving (Development Experience)], Chelyabinsk, Publisher SUSU, 2010, 228 p.

7. Koptsev L.A. Rationing and Electricity Consumption Forecasting Depending on Outputs [Normirovaniye I prognozirovaniye potrebleniya elektroenergii v zavisimosti ot ob'yemov proizvodstva]. *Pro-myshlennaya energetika [Industrial energy]*, 1996, no. 3, pp. 5–7.

8. Kazarinov L.S., Barbasova T.A., Zakharova A.A. Optimal Prediction of Energy Resources Consumption in Value Criterion [Optimal'noye prognozirovaniye potrebleniya energeticheskikh resursov po stoimostnomu kriteriyu] *Bulletin of the South-Ural State University. Series "Computer Technology, Control, Electronics"*, 2013, vol. 13, no. 1, pp. 90–94. (in Russian)

9. Kazarinov L.S., Barbasova T.A., Zakharova A.A. Automated Information Decision Support System on Control and Planning Energy Resources Usage [Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema podderzhki prinyatiya resheniy po kontrolyu I planirovaniyu potrebleniya energeticheskikh resursov]. *Bulletin of the South-Ural State University. Series "Computer Technology, Control, Electronics"*, 2012, no. 23, pp. 118–122. (in Russian)

10. Ivakhnenko A.G. *Dolgosrochnoye prognozirovaniye I upravleniye slozhnyimi sistemami* [Long-Term Forecasting and Control of Complex Systems]. Kiev, Publisher Tekhnika, 1975, 312 p.

11. Kazarinov L.S. *Sistemnyye issledovaniya I upravleniye (kognitivnyy podkhod): nauchno-metodicheskoye posobiye* [System Studies and Management (Cognitive Approach): Research Tools]. Chelyabinsk, Publisher SUSU, 2011, 524 p.

Поступила в редакцию 27 ноября 2013 г.