

## МЕТОД МНОГОУРОВНЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И НОРМИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Крупное металлургическое предприятие имеет сложную многоуровневую структуру управления потреблением энергетических ресурсов. При этом для предприятия в целом на верхнем уровне общее потребление электрической энергии определяется по высокоточным приборам коммерческого учета. На нижнем уровне – уровне технологических объектов, как правило, реализуется технологический учет потребления электрической энергии с пониженной точностью. Кроме того, разнообразие режимов технологического оборудования приводит к различным уровням потребления энергии в разных режимах, что усложняет задачу прогнозирования и нормирования потребления энергии технологическим оборудованием. Повышенный уровень неопределенности потребления энергии на технологическом уровне обуславливает определенный небаланс при учете потребления энергии на основе данных технологического учета, которые используются для решения задачи прогнозирования и нормирования потребления. Здесь необходимо найти рациональный баланс оценок высокой точности на уровне предприятия в целом и технологическим учетом потребления электрической энергии отдельными технологическими объектами предприятия. В работе предложен алгоритм прогнозирования и нормирования потребления электрической энергии технологическими объектами металлургического предприятия, основанный на методике оптимального согласования данных коммерческого учета на уровне предприятия с данными уровня технологического учета по критерию минимизации общей ошибки прогнозирования потребления электрической энергии. Полученные энергетические характеристики могут быть использованы при решении задач оптимизации технологических процессов по критерию минимума потребления энергии, а также для нормирования энергопотребления.

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, энергосбережение, ресурсосберегающее управление, прогнозирования потребления электроэнергии.

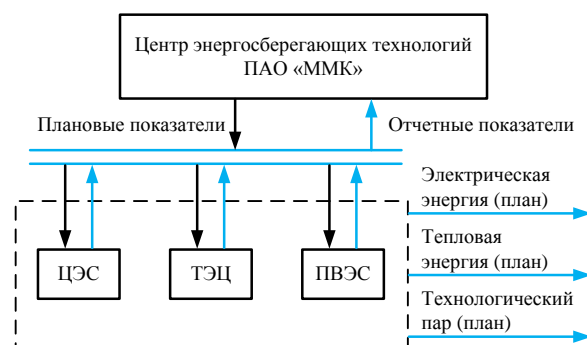
### ВВЕДЕНИЕ

Согласно Федерального законодательства энергосбережение является одним из главных направлений технической политики нашей страны. Несмотря на это, показатели энергоемкости производства Российской Федерации в настоящее время значительно превышает соответствующие показатели для передовых промышленно развитых стран. Особенно это касается металлургии. Металлургия является крупнейшим потребителем топливно-энергетических ресурсов. Вопросы нормирования и прогнозирования электрической энергии в металлургической промышленности освещены в работах Никифорова Г.В. [1], Копцева Л.А., Япрынцева И.А. [2-4], Казаринова Л.С. [5-7] и других авторов [8-22].

На рис. 1 приводится пример схемы организации работы по прогнозированию и нормированию потребления электрической энергии теплоэнергетического комплекса металлургического предприятия.

Одной из проблем централизованного планирования электропотребления в сложных технологических комплексах является получение достоверных зависимостей энергопотребления технологических процессов от текущего уровня производства продукции.

Данные зависимости могут быть получены на основе технологических испытаний и проведения энергетического обследования оборудования. Однако подобный подход для крупных предприятий, содержащий сотни и тысячи технологических объектов, является весьма трудоемким. В следствие этого получение достоверных данных часто является не реализуемым в полном объеме. Для восполнения недостающих сведений используется статистика текущих данных эксплуатации, накопленная в результате измерений в АСУ ТП.



**Рис. 1. Примерная схема организации работ по прогнозированию и нормированию потребления электрической энергии теплоэнергетического комплекса металлургического предприятия**

Одной из проблем централизованного планирования электропотребления в сложных технологических комплексах является получение достоверных зависимостей энергопотребления технологических процессов от текущего уровня производства продукции.

Данные зависимости могут быть получены на основе технологических испытаний и проведения энергетического обследования оборудования. Однако подобный подход для крупных предприятий, содержащий сотни и тысячи технологических объектов, является весьма трудоемким. В следствие этого получение достоверных данных часто является не реализуемым в полном объеме. Для восполнения недостающих сведений используется статистика текущих данных эксплуатации, накопленная в результате измерений в АСУ ТП.

Задача прогнозирования и нормирования потребления электрической энергии технологическими объектами для металлургического предприятия является

сложной. Данная сложность возникает из-за противоречий высокой точности учета на уровне предприятия в целом и высокой неопределенности расчетов потребления энергии на уровне технологических объектов. На уровне предприятия в целом стоят высокоточные приборы учета. На нижнем уровне технологических объектов вследствие неопределенности данных, обусловленной разными причинами, суммарная оценка потребления электрической энергии может отличаться от данных коммерческого учета по предприятию в целом. Это усложняет решение задач прогнозирования и нормирования, поэтому необходимо найти баланс между оценками разных уровней учета потребления электрической энергии.

В соответствии со сказанным в работе предложен алгоритм прогнозирования и нормирования потребления электрической энергии технологическими объектами металлургического предприятия, основанный на методике минимизации общей ошибки прогнозирования потребления электрической энергии для предприятия в целом.

#### АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Предположим, что генеральная ошибка представления данных на общесистемном уровне определяется соотношением

$$E_0^2 = 0,5 \sum_k \left( W_{0,k}^c - \sum_{i=1}^n W_{i,k}^p \right)^2, \quad (1)$$

где  $W_{0,k}^c$  – фактический объем потребления электрической энергии за  $k$ -й период в соответствии с данными потребления по предприятию в целом согласно средствам коммерческого учета;  $W_{i,k}^p$  – оценка объема потребления электрической энергии  $i$ -м потребителем за  $k$ -й период в соответствии с расчетными данными.

Дана локальная ошибка представления данных на локальном уровне подразделений предприятия

$$E_i^2 = 0,5 \sum_k \left( W_{i,k}^c - W_{i,k}^p \right)^2, \quad (2)$$

где  $W_{i,k}^c$  – фактический объем потребления электрической энергии  $i$ -м потребителем за  $k$ -й период согласно средствам коммерческого учета.

Будем предполагать, что расчет оценок потребления электрической энергии у локального потребителя осуществляется по формуле

$$W_{i,k}^p = \exp(a_i P_i + b_i) P_i, \quad (3)$$

где  $P_i$  – объем выпуска продукции за отчетный период.

Неизвестные коэффициенты зависимостей (3) определяются на локальных выборках данных известными методами, например методом наименьших квадратов. В результате будут получены локальные оценки неизвестных параметров  $a_{il}$ ,  $b_{il}$ .

Вследствие неопределенности данных на локальном уровне локальные оценки могут не вполне соответствовать генеральным данным на уровне всего предприятия в целом. С целью согласования подобного межуровне-

вого противоречия необходимо уточнение локальных оценок с использованием генеральных данных.

С этой целью вводится следующая норма уклонения параметров  $a_i$  оценок типа (3), полученных на данных генерального уровня, от аналогичных оценок  $a_{il}$  того же типа, но полученных на данных локального уровня:

$$R_i^2 = 0,5(a_i - a_{il})^2. \quad (4)$$

В этом случае на генеральном уровне может быть поставлена задача оценки параметров зависимостей (3) с учетом данных генерального уровня:

$$\min_{(a,b)} Q, \quad Q = (1 - \alpha_R) E_0^2 + \alpha_R R_i^2. \quad (5)$$

Решение задачи (5) может быть выполнено, например, градиентным методом.

#### ПРИМЕР РАСЧЕТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ЦЭС, ТЭЦ, ПВЭС ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПАО «ММК»

Анализ приведен на выборке статистических данных по выработке основных видов продукции электрических станций ЦЭС, ТЭЦ, ПВЭС теплоэнергетического комплекса ПАО «ММК», расходу электроэнергии для выработки основных видов продукции и общему расходу электроэнергии по основным показателям за летний период (в период с мая 2010 г. по июль 2012 г.).

В качестве терминальных точек прогноза выбраны следующие месяцы, в которых станции работали в сопоставимых условиях: август 2012, сентябрь 2012, май 2007, июль 2009.

В табл. 1 приведены данные суммарного потребления электрической энергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС:

$W_\phi$  – фактическое потребление электрической энергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС ПАО «ММК»;

$W_p$  – расчетное потребление электрической энергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС;

$W_{p \text{ ММК}}$  – расчетное потребление электрической энергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС по методике ПАО «ММК»;

$E_p$  – ошибка прогнозирования.

Расчет точности прогнозирования на выбранных терминальных точках расчета выполняется по следующей формуле:

$$\frac{\sum_{i=1}^m \frac{|W_{\phi i} - W_{p i}|}{W_{p i}}}{m} = \frac{0,081939492}{4} = 0,02048.$$

Расчет точности прогнозирования ПАО «ММК»:

$$\frac{\sum_{i=1}^m \frac{|W_{\phi i} - W_{p \text{ ММК} i}|}{W_{p \text{ ММК} i}}}{m} = \frac{0,09887}{4} = 0,02472,$$

где  $W_{\phi i}$  – фактическое потребление электрической энергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС ПАО «ММК» на  $i$ -м интервале расчета;  $W_{p i}$  – расчетное потребление элек-

трической энергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС на  $i$ -м интервале расчета;  $W_{p\text{ ммк } i}$  – расчетное потребление электрической энергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС по методике ПАО «ММК» на  $i$ -м интервале расчета.

В табл. 2 приведено сравнение точности прогнозирования предложенного алгоритма по сравнению с принятой методикой ПАО «ММК». Точность рассмат-

риваемого алгоритма для терминальных точек прогноза выше на 0,42%.

На основе предложенного алгоритма разработано программное обеспечение прогнозирования потребления энергетических ресурсов промышленным предприятием. Пример отчета и экранная форма разработанного программного обеспечения показаны на рис. 2 и 3.

Таблица 1

Данные суммарного потребления электрической энергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС

№ п/п	Дата	$W_{p\text{ ммк } i}$ , кВт·ч	$W_{\phi}$ , кВт·ч	$W_p$ , кВт·ч	$E_p$ , кВт·ч	Точность $\frac{ W_{\phi i} - W_{p i} }{W_{p i}}$
1	Май 2010	47 737 366,67	47 576 252,00	47 464 241,73	112 010,27	0,00235989
2	Июнь 2010	42 929 646,43	42 683 011,00	42 749 132,39	-66 121,39	0,00154673
3	Июль 2010	43 707 705,57	43 558 248,00	43 467 423,83	90 824,17	0,00208948
4	Август 2010	46 466 406,70	46 550 221,00	46 646 219,44	-95 998,44	0,00205801
5	Сентябрь 2010	45 715 341,16	45 615 239,00	45 755 710,40	-140 471,40	0,00307003
6	Май 2011	48 029 620,92	47 731 585,00	47 661 903,87	69 681,13	0,00146199
7	Июнь 2011	45 919 764,07	45 668 133,00	45 780 492,77	-112 359,77	0,00245432
8	Июль 2011	46 167 703,95	46 020 702,00	45 979 526,15	41 175,85	0,00089553
9	Август 2011	47 326 079,12	47 284 410,00	47 274 842,55	9 567,45	0,00020238
10	Сентябрь 2011	47 128 058,44	46 978 179,00	46 962 839,99	15 339,01	0,00032662
11	Май 2012	74 865 225,03	48 122 165,00	48 098 328,89	23 836,11	0,00049557
12	Июнь 2012	46 237 204,28	46 235 081,00	46 032 272,31	202 808,69	0,00440579
13	Июль 2012	48 370 885,14	48 452 882,00	48 628 138,65	-175 256,65	0,00360402
Прогноз						
14	Август 2012	49 684 719,37	49 478 897,00	49 445 530,50	33 366,50	0,00067481
15	Сентябрь 2012	47 320 075,78	47 789 103,00	47 796 025,91	-6 922,91	0,00014484
16	Май 2007	46 849 909,23	46 024 732,00	47 505 758,79	-1 481 026,79	0,03117573
17	Июль 2009	47 877 339,93	44 659 713,00	42 535 324,32	2 124 388,68	0,04994410

Таблица 2

Сравнение точности прогнозирования предложенного алгоритма

№ п/п	Вариант расчета	Точность, д.е.
1	Расчет точности прогнозирования ПАО «ММК»	0,02472
2	Расчет точности прогнозирования предложенного алгоритма	0,02048

цэх	Объем производства план	Объем производства факт	Расход эл.энергии план	Расход эл.энергии факт	Удельный расход план	Удельный расход факт	Перерасход электроэнергии	Уд. перерасход, %
гоп	11002537.2	10282745	564545592	522727400	5131.049	5083.539	-41818192.00	-0.074
дц	9519900.0	9520386	79809616	79658459	838.345	836.715	-151157.00	-0.002
тэц	2515080100	2515081000	286602540.1	290321755	11.395	11.543	3719214.90	0.013
пвэс	812901370.9	809662720	112716041.6	111932514	13.866	13.825	-783527.60	-0.007
цэс	1654419405	1741494110	155023624.1	164918749	9.370	9.470	9895124.94	0.064

Рис. 2. Пример отчета о потреблении и перерасходе электроэнергии производственными подразделениями ПАО «ММК»



Анализ и расчет потребления электроэнергии

**Доменный цех**

**Параметры выборки**

год  месяц

**ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

год:  факт эл. энергия:   
 месяц:  расчет эл. энергия:   
 цех:  отклонение:  %

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОГРАММА**

**Перечень факторов:**

цех	фактор	наименование	знач. коэфф.	значение фактора
ДЦ	фактор 0	a0	15,1	
ДЦ	фактор 1	производство чугуна, т	7,686E-07	816036

**Значения факторов и коэфф. регрессии:**

**Выработка продукции:**

факт:  план:   
 чугуна, т

Записи: 1 из 12   Нет фильтра Поиск

Рис. 3. Экранная форма разработанного программного обеспечения контроля и прогнозирования потребления энергетических ресурсов на примере доменного цеха

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для согласования коммерческого учета потребления электрической энергии с технологическим учетом потребления электрической энергии отдельными технологическими объектами предприятия необходимо решать задачу корректировки расчетного суммарного потребления электрической энергии на уровне отдельных технологических объектов.

В работе предложена процедура оптимального решения задачи согласования оценок объемов потребления электрической энергии на уровне технологических объектов и объемов потребления электрической энергии на уровне данных коммерческого учета для всего предприятия в целом.

С использованием разработанного алгоритмического и программного обеспечения на основе реальных данных по выработке продукции и потреблению электроэнергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС ПАО «ММК» проведены опытные расчеты. Расчеты показали, что на основе приведенного алгоритма многоуровневого прогнозирования возможно повышение точности прогнозирования потребления электрической энергии на величину 0,42 %.

Данная методика может быть рекомендована для использования при решении задач прогнозирования и нормирования потребления энергетических ресурсов для предприятий со сложной технологической структурой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров Г.В., Олейников В.К., Заславец Б.И. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. М.: Энергоатомиздат, 2003. 480 с.
2. Копцев Л.А. Энергосбережение и повышение экономической эффективности предприятия путем управления нагрузкой производственных агрегатов // Промышленная

энергетика. 2011. № 11. С. 14-21.

3. Копцев Л.А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии в зависимости от объемов производства // Промышленная энергетика. 1996. № 3. С. 5-7.
4. Копцев Л.А., Япрынцева И.А. Моделирование потребления топлива в ОАО «ММК» // Промышленная энергетика. 2004. Вып. №5. С. 2-6.
5. Казаринов Л.С., Барбасова Т.А., Захарова А.А. Метод прогнозирующего управления энергетической эффективностью промышленного предприятия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2013. Т. 13. № 2. С. 12-24.
6. Казаринов Л.С. Системы. Управление и познание: аналитические очерки. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. 496 с.
7. Автоматизированные системы управления в энергосбережении (опыт разработки): монография / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер, О.В. Колесникова, Т.А. Барбасова. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. 228 с.
8. Политов Е.А. Построение моделей долгосрочного прогноза потребления электроэнергии и мощности промышленными предприятиями: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2012. 19 с.
9. Derek W Bunn. Experimental study of a Bayesian method for daily electricity load forecasting / Applied Mathematical Modelling. 1980, vol. 4, iss. 2, pp. 113-116. DOI: 10.1016/0307-904X(80)90115-8.
10. Jose Ramon Cancelo, Antoni Espasa, Rosmarie Grafe. Forecasting the electricity load from one day to one week ahead for the Spanish system operator // International Journal of Forecasting. 2008, vol. 24, iss. 4, pp. 588-602. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2008.07.005.
11. Sigauke C., Chikobvu D. Prediction of daily peak electricity demand in South Africa using volatility forecasting models // Energy Economics. 2011, vol. 33, iss. 5, pp. 882-888. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.02.013.
12. Amina M., Kodogiannis V.S., Petrounias I., Tomtsis D. A hybrid intelligent approach for the prediction of electricity

- consumption // *Electrical Power and Energy Systems*. 2012, vol. 43, iss. 1, pp. 99-108. DOI: 10.1016/j.ijepes.2012.05.027.
13. Virginie Dordonnat, Siem Jan Koopman, Marius Ooms. Dynamic factors in periodic time-varying regressions with an application to hourly electricity load modeling // *Computational Statistics and Data Analysis*. 2012, vol. 56, iss. 11, pp. 3134-3152. DOI: 10.1016/j.csda.2011.04.002.
  14. Andersen F.M., Larsen H.V., Boomsma T.K. Long-term forecasting of hourly electricity load: Identification of consumption profiles and segmentation of customers // *Energy Conversion and Management*. 2013, vol. 68, pp. 244-252. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.01.018.
  15. Gloria Martin-Rodriguez, Jose Juan Caceres-Hernandez. Modelling the hourly Spanish electricity demand // *Economic Modelling*. 2005, vol. 22, iss. 3, pp. 551-569. DOI: 10.1016/j.econmod.2004.09.003.
  16. Andersen F.M., Larsen H.V., Gaardstrup R.B. Long term forecasting of hourly electricity consumption in local areas (Denmark) // *Applied Energy*. 2013, vol. 110, pp. 147-162. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.04.046.
  17. Vincenzo Bianco, Oronzio Manca, Sergio Nardini. Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models // *Energy*. 2009, vol. 34, iss. 9, pp. 1413-1421. DOI: 10.1016/j.energy.2009.06.034.
  18. Afshar K., Bigdeli N. Data analysis and short term load forecasting in Iran electricity market using singular spectral analysis (SSA) // *Energy*. 2011, vol. 36, iss. 5, pp. 2620-2627. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.003.
  19. Mohammed El-Telbany, Fawwaz El-Karmi. Short-term forecasting of Jordanian electricity demand using particle swarm optimization // *Electric Power Systems Research*. 2008, vol. 78, iss. 3, pp. 425-433. DOI: 10.1016/j.epsr.2007.03.011.
  20. Jawad Nagi, Keem Siah Yap, Farrukh Nagi, Sieh Kiong Tiong, Syed Khaleel Ahmed. A computational intelligence scheme for the prediction of the daily peak load // *Applied Soft Computing*. 2011, vol. 11, iss. 8, pp. 4773-4788. DOI: 10.1016/j.asoc.2011.07.005.
  21. Ashok S. Peak-load management in steel plants // *Applied Energy*. 2006, vol. 83, iss. 5, pp. 413-424. DOI: 10.1016/j.apenergy.2005.05.002.
  22. Lin C.W., Moodie C.L. Hierarchical production planning for a modern steel manufacturing system. *International Journal of Production Research*. 1989, vol. 27, iss. 4, pp. 613-628. DOI: 10.1080/00207548908942572.

Поступила в редакцию 01 октября 2020 г.

## INFORMATION IN ENGLISH

### METHOD OF MULTILEVEL FORECASTING AND RATIONING OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION BY THE ENTERPRISE

Tatyana A. Barbasova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, School of Electronic Engineering and Computer Science, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation, e-mail: barbasovata@susu.ru, barbasovata@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2248-2894>.

A large metallurgical enterprise has a complex multilevel hierarchical structure for managing energy consumption. High-precision commercial metering devices for the enterprise as a whole determine total electric energy consumption. At the lower level, that is, at the level of technological facilities, technical accounting of electric energy consumption is implemented by means of metering devices providing lower measurement accuracy. Besides, a great diversity of operating modes of production equipment results in various levels of electric energy consumption in different modes, which makes the task of energy consumption and rationing very complicated. Thus, high uncertainty level of energy consumption at the production level results in certain misbalance during accounting of energy consumption on the basis of data obtained from the production metering devices, which is used to solve the problems of consumption forecasting and rationing. It is necessary to find a balance of high accuracy of devices for commercial accounting of electric energy consumption and technical accounting of electric energy consumption by individual technological facilities of the enterprise. The paper proposes an algorithm for predicting and rationing electric energy consumption by technological facilities of a metallurgical enterprise based on a method of minimizing a general error in predicting electric energy consumption in an energy and metallurgical complex. The obtained energy characteristics can be used in solving problems of optimizing technological processes according to the criterion of minimum energy consumption, as well as for rationing energy consumption.

**Keywords:** resource saving, energy saving, resource saving management, power consumption forecasting.

#### REFERENCES

1. Nikiforov G.V., Oleinikov V.K., Zaslavets B.I. *Energos-*

*berezhnie i upravlenie energopotrebleniyem v metallurgicheskoy promyshlennosti* [Energy conservation and energy consumption management in metallurgical production]. Moscow: Energoatomizdat, 2003. 480 p. (in Russian)

2. Koptsev L.A. Energy saving and increasing the economic efficiency of the enterprise by managing the loading of production units. *Promyshlennaya energetika* [Industrial energy]. 2011, no. 11, pp. 14-21. (in Russian)
3. Koptsev L.A. Rationing and forecasting of electricity consumption depending on production volumes. *Promyshlennaya energetika* [Industrial energy]. 1996, no. 3, pp. 5-7. (in Russian)
4. Koptsev L.A., Yaprntseva I.A. Modeling of fuel consumption at MMK OJSC. *Promyshlennaya energetika* [Industrial energy]. 2004, no. 5, pp. 2-6. (in Russian)
5. Kazarinov L.S., Barbasova T.A., Zakharova A.A. Method of predictive management of energy efficiency of an industrial enterprise. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Kompyuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika* [Bulletin of South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics]. 2013, vol. 13, no. 2, pp. 12-24. (in Russian)
6. Kazarinov L.S. *Upravlenie i poznanie: analiticheskie ocherki* [Systems, Control and Cognition: analytical essays]. Chelyabinsk: South Ural State University Publishing Center, 2017. 496 p. (in Russian)
7. Kazarinov L.S., Schneider D.A., Kolesnikova O.V., Barbasova T.A. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya v energosberezhenii (opyt razrabotki)* [Automated control systems in energy saving (development experience)]. Chelyabinsk: Publishing Center of SUSU, 2010. 228 p.
8. Politov E.A. *Postroyeniye modeley dolgosrochnogo prognoza potrebleniya elektroenergii i moshchnosti promyshlennymi predpriyatiyami: avtoreferat diss. na soiskanie uchenoy*

- stepeni kand. tekhn. nauk* [Building models for the long-term forecast of electricity and power consumption by industrial enterprises: abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. Kemerovo, 2012, 19 p.
9. Derek W Bunn. Experimental study of a Bayesian method for daily electricity load forecasting / *Applied Mathematical Modelling*. 1980, vol. 4, iss. 2, pp. 113-116. DOI: 10.1016/0307-904X(80)90115-8.
  10. Jose Ramon Cancelo, Antoni Espasa, RosmarieGrafe. Forecasting the electricity load from one day to one week ahead for the Spanish system operator // *International Journal of Forecasting*. 2008, vol. 24, iss. 4, pp. 588-602. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2008.07.005.
  11. Sigauke C., Chikobvu D. Prediction of daily peak electricity demand in South Africa using volatility forecasting models // *Energy Economics*. 2011, vol. 33, iss. 5, pp. 882-888. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.02.013.
  12. Amina M., Kodogiannis V.S., Petrounias I., Tomtsis D. A hybrid intelligent approach for the prediction of electricity consumption // *Electrical Power and Energy Systems*. 2012, vol. 43, iss. 1, pp. 99-108. DOI: 10.1016/j.ijepes.2012.05.027.
  13. Virginie Dordonnat, Siem Jan Koopman, Marius Ooms. Dynamic factors in periodic time-varying regressions with an application to hourly electricity load modeling // *Computational Statistics and Data Analysis*. 2012, vol. 56, iss. 11, pp. 3134-3152. DOI: 10.1016/j.csda.2011.04.002.
  14. Andersen F.M., Larsen H.V., Boomsma T.K. Long-term forecasting of hourly electricity load: Identification of consumption profiles and segmentation of customers // *Energy Conversion and Management*. 2013, vol. 68, pp. 244-252. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.01.018.
  15. Gloria Martin-Rodriguez, Jose Juan Caceres-Hernandez. Modelling the hourly Spanish electricity demand // *Economic Modelling*. 2005, vol. 22, iss. 3, pp. 551-569. DOI: 10.1016/j.econmod.2004.09.003.
  16. Andersen F.M., Larsen H.V., Gaardstrup R.B. Long term forecasting of hourly electricity consumption in local areas (Denmark) // *Applied Energy*. 2013, vol. 110, pp. 147-162. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.04.046.
  17. Vincenzo Bianco, OronzioManca, Sergio Nardini. Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models // *Energy*. 2009, vol. 34, iss. 9, pp. 1413-1421. DOI: 10.1016/j.energy.2009.06.034.
  18. Afshar K., Bigdeli N. Data analysis and short term load forecasting in Iran electricity market using singular spectral analysis (SSA) // *Energy*. 2011, vol. 36, iss. 5, pp. 2620-2627. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.003.
  19. Mohammed El-Telbany, Fawwaz El-Karmi. Short-term forecasting of Jordanian electricity demand using particle swarm optimization // *Electric Power Systems Research*. 2008, vol. 78, iss. 3, pp. 425-433. DOI: 10.1016/j.epsr.2007.03.011.
  20. Jawad Nagi, KeemSiah Yap, Farrukh Nagi, SiehKiong Tiong, Syed Khaleel Ahmed. A computational intelligence scheme for the prediction of the daily peak load // *Applied Soft Computing*. 2011, vol. 11, iss. 8, pp. 4773-4788. DOI: 10.1016/j.asoc.2011.07.005.
  21. Ashok S. Peak-load management in steel plants // *Applied Energy*. 2006, vol. 83, iss. 5, pp. 413-424. DOI: 10.1016/j.apenergy.2005.05.002.
  22. Lin C.W., Moodie C.L. Hierarchical production planning for a modern steel manufacturing system. *International Journal of Production Research*. 1989, vol. 27, iss. 4, pp. 613-628. DOI: 10.1080/00207548908942572.

Барбасова Т.А. Метод многоуровневого прогнозирования и нормирования потребления электрической энергии предприятием // *Электротехнические системы и комплексы*. 2020. № 4(49). С. 49-54. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-4\(49\)-49-54](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-4(49)-49-54)

Barbasova T.A. Method of Multilevel Forecasting and Rationing of Electric Energy Consumption by the Enterprise. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electro-technical Systems and Complexes], 2020, no. 4(49), pp. 49-54. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-4\(49\)\)-49-54](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-4(49))-49-54)