

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Р.В. Ключев^{1,3}, О.А. Гаврина¹, В.Н. Хетагуров¹, С.Г. Засеев², Б.З. Умиров⁴

¹ Северо-Кавказский горно-металлургический институт

(государственный технологический университет), Владикавказ, Россия;

² Горский государственный аграрный университет, Владикавказ, Россия;

³ Московский политехнический университет, Москва, Россия;

⁴ Международный Казахско-Турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
Туркестан, Казахстан

Аннотация: Актуальность проблемы прогнозирования удельного потребления энергии на обогатительных фабриках горно-обогатительных комбинатов обусловлена необходимостью снижения их энергозатрат для повышения эффективности использования электроэнергии по отдельным технологическим переделам производства. Целью работы является разработка рекомендаций по нормированию удельного электропотребления на различных участках технологического процесса обогатительной фабрики (дробление руды, измельчение руды, транспортировка и реагентное отделение, флотация, фильтрация и сушка, известковое отделение, компрессорная, хвостовые насосы) и прогнозирование потребления электроэнергии. В работе используется методика краткосрочного прогнозирования, включающая проверку исходного массива на однородность, формирование усеченных выборок данных, выбор уравнений регрессии для прогнозирования удельного расхода электроэнергии. На основании экспериментальных исследований с использованием статистических методов расчета получены зависимости удельных норм электропотребления участков технологического процесса обогатительной фабрики по отдельным кварталам года, что позволяет использовать обоснованные удельные нормы для рационализации режимов работы электрооборудования комбината. Разработана методика прогнозирования, которая позволяет с точностью, достаточной для инженерных расчетов, определять нормы электропотребления на будущий период. Разработаны статистические модели прогноза расхода электроэнергии (W) и удельного расхода электроэнергии (ω) по всем переделам обогатительной фабрики по каждому кварталу и методика прогнозирования коэффициентов уравнений регрессии для (W) и (ω) для каждого квартала. Проведена ретроспективная проверка расчетных величин, которая показала высокую точность прогноза, выполненного по различным методикам.

Ключевые слова: удельный расход электроэнергии, обогатительная фабрика, прогнозирование, руда.

Для цитирования: Ключев Р.В., Гаврина О.А., Хетагуров В.Н., Засеев С.Г., Умиров Б.З. Прогнозирование удельного потребления электроэнергии обогатительной фабрики // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11-1. – С. 135–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-135-145.

Prediction of specific electric energy consumption at processing plant

R.V. Klyuev^{1,3}, O.A. Gavrina¹, V.N. Khetagurov¹, S.G. Zaseev², B. Z. Umirov⁴

¹ North Caucasian Institute of mining and metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia;

² Gorsky (Mountain) State Agrarian University, Vladikavkaz, Russia;

³ Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia;

⁴ Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

Abstract: Relevance. The urgency of the problem of predicting specific energy consumption at the concentrating factories of mining and processing plants is due to the need to reduce their energy consumption as part of the solution to the problem of increasing the efficiency of electricity use in certain technological stages of production. Purpose and methods. The aim of the work is to develop recommendations on the rationing of specific energy consumption at various parts of the technological process of the concentrating factory (ore crushing, ore grinding, transportation and reagent separation, flotation, filtration and drying, lime department, compressor, tail pumps) and forecasting electricity consumption. In this work, a short-term forecasting technique is used, including checking the source array for uniformity, generating truncated data samples, choosing regression equations to predict specific electricity consumption. Results. Based on experimental studies using statistical calculation methods, the dependencies of specific power consumption rates of sections of the technological process of an concentrating factory for individual quarters of the year are obtained. This makes it possible to use reasonable specific norms to rationalize the operating modes of the plant's electrical equipment. A forecasting technique has been developed that allows, with accuracy sufficient for engineering calculations, to determine the norms of energy consumption for the future period. Conclusions. Statistical models have been developed for forecasting energy consumption (W) and specific energy consumption (ω) for all redistribution of the concentration plant for each quarter. A methodology has been developed for predicting the coefficients of the regression equations for (W) and (ω) for each quarter. A retrospective verification of the calculated values was carried out, which showed high accuracy of the forecast made by various methods.

Key words: specific energy consumption, concentrating factory, forecasting, ore.

For citation: R.V. Klyuev^{1,3}, O.A. Gavrina¹, V.N. Khetagurov¹, Zaseev S.G.², Umirov B.Z.⁴ Prediction of specific electric energy consumption at processing plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):135-145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-135-145.

Введение

В современных условиях производства электрификация — основа технического прогресса во всех отраслях экономики. Повышая энерговооруженность труда, она играет роль главного фактора интенсификации. Именно на базе электрификации можно снижать трудоемкость, металлоемкость и энергоемкость производства, осуществлять качественные сдвиги в его структуре, включая капитальные вложения, а также значительно улучшать условия труда.

Среди всех отраслей народного хозяйства значительное место по размерам электропотребления принадлежит горной промышленности [1–3].

Обогатительная фабрика горно-обогатительного комбината (ГОК) — крупное производственное подразделение, включающее в себя корпус дробления, главный корпус, систему хвостового хозяйства и ряд вспомогательных производств. На фабрике непрерывно ведется совершенствование технологического процесса, что не может не ска-

заться на электропотреблении, на изменении величины удельного расхода электроэнергии и потерях электроэнергии в элементах системы электроснабжения фабрики.

Технологическая схема обогатительной фабрики приведена на рис. 1.

В современных условиях решение проблемы развития электрификации тесно связано с задачами улучшения использования и экономии электроэнергии. На многих предприятиях вопросам рационального использования электроэнергии уделяется недостаточно внимания. В значительной мере это объясняется низкой долей электро-

энергии в себестоимости продукции. Следствием этого является плохо налаженный на предприятиях учет расхода электроэнергии, недостаточная технологическая дисциплина энергоиспользования.

В результате допускаются значительные перерасходы энергии. Ограниченность ресурсов электроэнергии, которая имеет место в настоящее время и сохранится в ближайшей перспективе, вызывает необходимость тщательного обоснования ее расходования [4–6]. При этом надо учитывать, что в перспективе ожидается дальнейший рост себестоимости добычи жидкого



Рис. 1. Технологическая схема обогатительной фабрики
 Fig. 1. The technological scheme of the concentrating factory

и газообразного топлива в силу влияния геологических и географических факторов. Себестоимость на электроэнергию, как предполагается, расти не будет. В этой связи требуется уделить внимание вопросам научного планирования процессов электрификации.

Цель работы

Целью данной работы является комплексное исследование вопросов электропотребления по отдельным технологическим звеньям и по обогатительной фабрике в целом, прогнозирование удельных норм расхода и потерь электроэнергии.

В соответствии с поставленной целью в ходе исследования произведен расчет удельных норм электропотребления по каждому переделу обогатительной фабрики; рассчитаны прогнозные значения удельных норм на каждый квартал.

Обоснование целесообразности прогнозирования удельных норм электропотребления

Исследования электропотребления обогатительной фабрики за 2016 — 2019 гг. показали, что вопросы прогнозирования поквартального электропотребления и определение доверительного интервала прогноза являются весьма актуальными. Вследствие значительного потребления электроэнергии прогноз позволяет более точно распределить годовой лимит электроэнергии по отдельным кварталам, упорядочить графики потребления электроэнергии, обеспечить планомерную работу такого крупного подразделения ГОК, как обогатительная фабрика [7, 8].

Прогнозирование удельного расхода электроэнергии позволяет наметить мероприятия по снижению этого показателя за счет снижения потерь в электрических сетях, повышения производительности работы основного

технологического оборудования. Кроме того, прогнозируемое значение удельного расхода электроэнергии и доверительный интервал прогноза позволяют предварительно оценить лимит электроэнергии, требуемый для выполнения плановых показателей следующего года.

Ограниченный срок — 4 года (2016 — 2019 гг.), — в течение которого собирался статистический материал, объясняется изменением технологического процесса фабрики и отсутствием достоверной информации за более ранние периоды времени.

За указанный период (4 года) собраны статистические данные по электропотреблению всех подразделений обогатительной фабрики, таких как корпус дробления, секции измельчения медно-пиритных и баритосодержащих руд, флотации и другие.

Объективные трудности, связанные с малым сроком наблюдения, не позволяют использовать для прогноза, например, модели авторегрессии, где минимальное число лет (N) должно быть ≥ 6 . Поэтому в данной методике прогнозирования используется метод наименьших квадратов (МНК) с построением уравнения регрессии, доверительных интервалов тренда и прогноза [9, 10].

По основным технологическим процессам на основании данных суточного расхода активной электроэнергии (W), суточного выпуска продукции (Q) рассчитывается суточный удельный расход электроэнергии (ω).

По расходу электроэнергии (W , ω) формируются поквартальные ($N = 90$) массивы.

Методика краткосрочного прогнозирования

Методика прогнозирования расхода электроэнергии (W) и удельного электропотребления (ω) предусматривает выполнение следующих расчетов:

1. Поквартальные массивы ($N = 90$) проверяются на однородность. Для этого рекомендуется последовательная проверка массивов по критериям 3σ и 2σ . Если усечение исходного массива ($N = 90$) по критерию 2σ незначительно ($10 \div 15\%$), то окончательно для прогнозирования можно оставить «усеченную» выборку, полученную при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

2. Строятся графики зависимостей $Q = f(t)$, $W = f(t)$, $\omega = f(t)$ по кварталам за весь исследуемый период 2016–2019 гг. Графики строятся по математическому ожиданию m_x . Ориентировочно оценивается, имеет ли место тренд в целом и по одноименным кварталам ряда лет, для чего сравниваются поквартальные значения m_x , а также коэффициенты a и b в поквартальных уравнениях регрессии:

$$W = a_1 \cdot Q + b_1, \quad (1)$$

$$\omega = a_2 \cdot Q + b_2. \quad (2)$$

3. Для каждого технологического процесса из уравнений регрессии одноименных кварталов ряда лет составляются массивы коэффициентов a и b отдельно для расхода электроэнергии (W) и удельного расхода электроэнергии (ω).

4. Для выбора формы кривой трендов проводится сглаживание рядов по скользящей средней и определение средних приростов. Для нашего случая достаточной является проверка по уравнению линейной регрессии.

5. По каждому технологическому процессу производится расчет прогнозируемых значений коэффициентов a_1 ; a_2 ; b_1 ; b_2 по полученным уравнениям:

$$\hat{a}_{1(2)} = c_{1(2)} \cdot T + d_{1(2)}; \quad (3)$$

$$\hat{b}_{1(2)} = c_{1(2)} \cdot T + d_{1(2)}, \quad (4)$$

где $T = 200$ — год, на который ведется прогноз.

6. Определяется доверительный интервал коэффициентов с использованием МНК:

$$ДИ(\hat{a}) = [\bar{m}_a - t_\beta \cdot \sigma_a; \bar{m}_a + t_\beta \cdot \sigma_a]; \quad (5)$$

$$ДИ(\hat{b}) = [\bar{m}_b - t_\beta \cdot \sigma_b; \bar{m}_b + t_\beta \cdot \sigma_b], \quad (6)$$

где $t_\beta = 0,96$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$; m_a , m_b — математические ожидания значений a и b ; σ_a , σ_b — среднеквадратические отклонения значений a и b .

7. С расчетными значениями \hat{a} и \hat{b} составляются уравнения регрессии для каждого подразделения ОФ для получения прогнозных значений W и ω на каждый квартал 2020 г. типа:

$$W = \hat{a}_1 \cdot Q + \hat{b}_1, \quad (7)$$

$$\omega = \hat{a}_2 \cdot Q + \hat{b}_2. \quad (8)$$

8. Определяется значение коэффициента корреляции.

9. Для оценки точности прогноза и адекватности модели прогнозирования проводится ретроспективная проверка расчетных данных. Полученные расчетные значения на моделях сравниваются с фактическими, определяются относительная и абсолютная ошибка прогноза.

Оцениваются доверительные границы прогноза с абсолютным отклонением от фактических значений.

Модель, дающая меньшую относительную погрешность и абсолютное отклонение в пределах доверительного интервала прогноза, является наиболее адекватной.

Прогнозирование потребления электроэнергии и удельного расхода электроэнергии

Для прогнозирования потребления электроэнергии и удельного расхода электроэнергии составляем массивы из коэффициентов уравнений регрессии a и b за одноименные кварталы ряда лет [11–13]. Для них определяется уравнение регрессии, сумма квадратов отклонений фактических значений

от которого была бы минимальной. Для примера по технологическому переделу измельчения баритовых руд результаты по 2019 г. приведены в табл. 1.

По вышеизложенной методике возможно определение и прогнозирование величины удельного электропотребления по подразделениям обогатительной фабрики с учетом изменения электропотребления в течение квартала путем прогнозирования коэффициентов a и b линейного уравнения регрес-

сии $\omega = aQ + b$, полученных для каждого одноименного квартала ряда лет. При прогнозировании среднесуточного значения ω за весь квартал используются величины математического ожидания удельного электропотребления m_{ω} для каждого квартала ряда лет.

Прогнозные значения m_{ω} и m_W по каждому переделу обогатительной фабрики на все кварталы 2020 г., полученные при расчете по двум методикам, приведены в табл. 2.

Таблица 1

Уравнения регрессии для измельчения баритовых руд
Regression equations for grinding barite ores

Квартал	$W = a \cdot Q + b$	$\omega = a \cdot Q + b$
I	$W = 8,6047 \cdot Q + 2563,25$	$\omega = -0,00327 \cdot Q + 12,128$
II	$W = 10,5218 \cdot Q + 175,4$	$\omega = -0,0092 \cdot Q + 15,7992$
III	$W = 9,9311 \cdot Q + 2342,76$	$\omega = -0,01523 \cdot Q + 24,8204$
IV	$W = -0,5485 \cdot Q + 10217,5$	$\omega = 0,01156 \cdot Q + 5,496$

Таблица 2

Определение общего и удельного расхода электроэнергии на 2020 г.
Determination of the total and specific energy consumption for 2020

Передел фабрики	$W = f(Q) / W = f(T)$, кВт · ч				$\omega = f(Q) / \omega = f(T)$, кВт · ч			
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Измельчение баритовых руд (1)	7407	7390	5018	5582	9,37	13,24	15,65	18,63
	6563	7032	7298	9999	8,98	13,87	15,24	17,24
Измельчение медно-пиритных руд (2)	52037	41711	—	42507	—	15,54	16,69	15,29
	50245	45752	45836	44332	12,43	11,02	10,83	13,32
Дробление руды (3)	5612	5323	4514	5516	1,67	3,08	1,43	2,66
	5970	5071	5175	5568	2,33	1,39	2,05	2,52
Транспортировка руды, реагентное отделение (4)	2985	2329	2821	3265	1,63	1,39	0,89	0,78
	2533	2391	2763	3266	0,66	0,89	1,05	1,38
Флотация (5)	42085	28487	31022	26727	—	9,87	9,72	8,12
	34119	28758	31673	26528	5,96	6,2	7,52	5,04
Фильтрация и сушка (6)	10590	6609	8,442	10024	3,48	2,73	3,05	3,34
	10719	7439	8522	9198	3,14	3,02	3,41	1,86
Известковое отделение (7)	6782	6470	6594	7027	2,36	2,74	1,81	2,39
	7409	5789	7406	6569	2,24	2,59	1,99	1,94
Компрессорная (8)	2856	1111	2187	2100	1,52	—	1,11	0,69
	2894	2109	2207	2226	0,96	—	0,46	—
Хвостовые насосы (9)	6880	7114	3999	9571	3,51	2,62	1,93	3,28
	8238	6872	4172	8969	2,21	0,94	1,41	2,35

В числителе приводятся значения, полученные по зависимостям:

$$m_{\omega} = f_1(Q); \quad (9)$$

$$m_{\omega} = f_1(Q); \quad (10)$$

В знаменателе — значения, полученные по зависимостям:

$$m_{\omega} = f_1(T); \quad (11)$$

$$m_{\omega} = f_1(T). \quad (12)$$

Значения расхода электроэнергии, полученные по выражениям (10), (12) по отдельным кварталам 2020 г., приведены соответственно на рис. 2, 3. Аналогичные значения удельного электропотребления, полученные по выражениям (9), (11), представлены на рис. 4, 5.

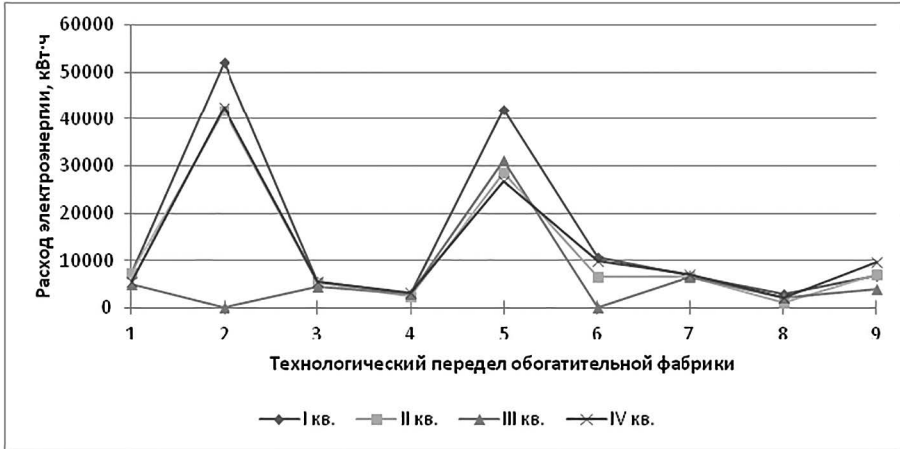


Рис. 2. Значения расхода электроэнергии по отдельным технологическим переделам фабрики, рассчитанные по выражению (10)

Fig. 2. The values of energy consumption for individual technological stages of the factory, calculated by the expression (10)

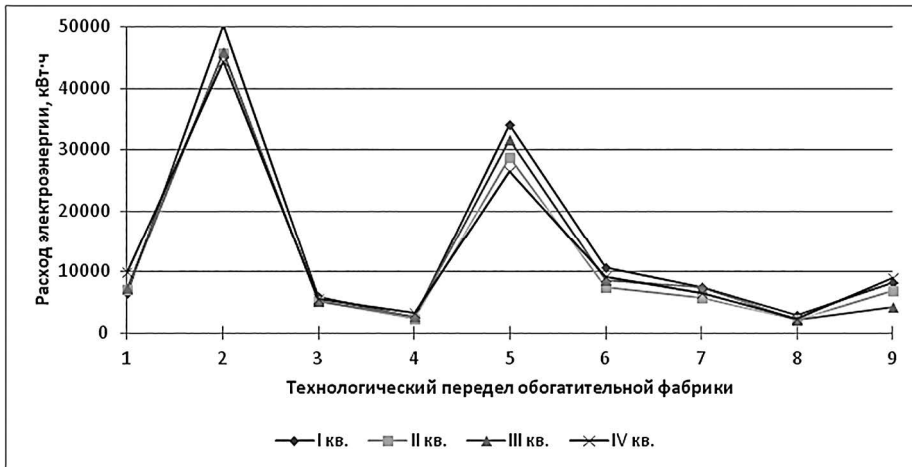


Рис. 3. Значения расхода электроэнергии по отдельным технологическим переделам фабрики, рассчитанные по выражению (12)

Fig. 3. The values of energy consumption for individual technological stages of the factory, calculated by the expression (12)

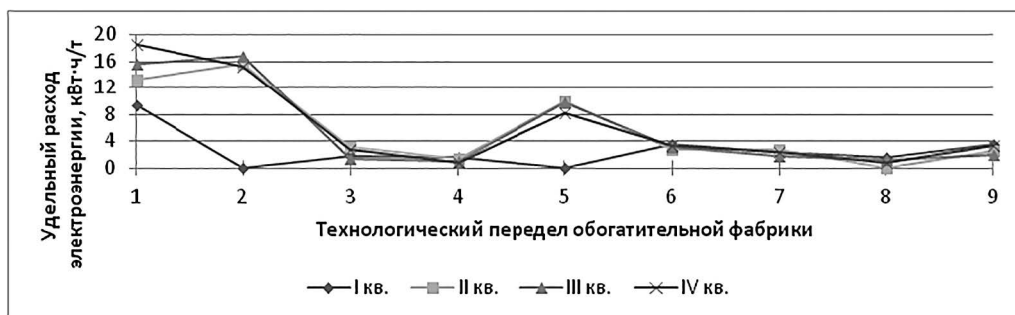


Рис. 4. Значения удельного электроэнергии по отдельным технологическим переделам фабрики, рассчитанные по выражению (9)

Fig. 4. The values of the specific energy consumption for individual technological stages of the factory, calculated by the expression (9)

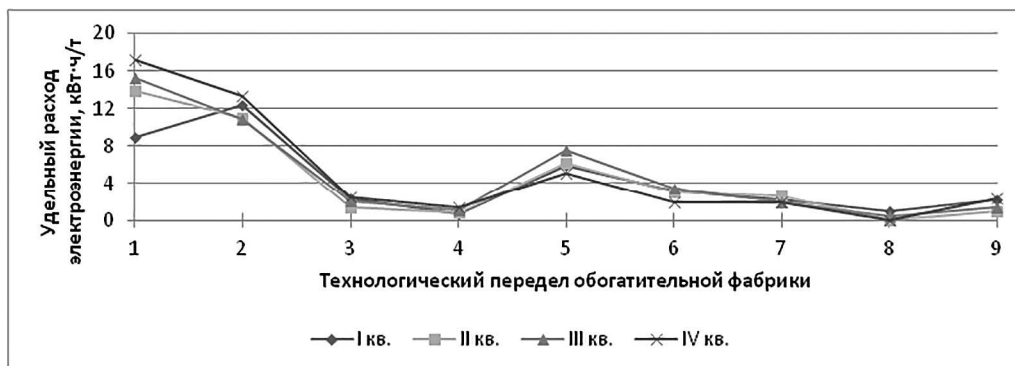


Рис. 5. Значения удельного расхода электроэнергии по отдельным технологическим переделам фабрики, рассчитанные по выражению (11)

Fig. 5. The values of the specific energy consumption for individual technological stages of the factory, calculated by the expression (11)

Выбор той или иной модели прогнозирования удельного потребления электроэнергии должен определяться в зависимости от задач прогнозирования и по результатам анализа ретроспективной проверки с целью получения более точных результатов [14 – 19].

Анализ полученных результатов (табл. 3) показывает, что прогнозируемые величины расхода электроэнергии (W) и удельного расхода электроэнергии (ω) по всем кварталам 2020 г., определенные по прогнозированию математического ожидания и коэффициентов a и b уравнений регрессии

(1), (2) и переработки руды (Q), имеют хорошее совпадение.

Это свидетельствует о достаточной точности прогноза, выполненного по разработанным методикам, и подтверждает достоверность полученных результатов.

Выводы

В результате исследований сделано следующее:

1. Разработаны статистические модели прогноза расхода электроэнергии (W) и удельного расхода электроэнергии (ω) по всем переделам обогатительной фабрики по каждому кварталу.

2. Разработана методика прогнозирования коэффициентов уравнений регрессии $W = a_1 \cdot Q + b_1$ и $\omega = a_2 \cdot Q + b_2$ для каждого квартала.

3. Проведена ретроспективная проверка расчетных величин, которая показала высокую точность прогноза, выполненного по различным методикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bornschlegl M., Bregulla M., Franke J.* Methods-Energy Measurement – An approach for sustainable energy planning of manufacturing technologies // *Journal of Cleaner Production*, 2016, Vol. 1351, pp. 644–656.

2. *Biel K., Glock C.* Systematic literature review of decision support models for energy-efficient production planning // *Computers & Industrial Engineering*, 2016, Vol. 101, pp. 243–259.

3. *Клюев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В., Гаврина О.А.* Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2020. – №2. – С. 283–290.

4. *Meira de Oliveira E., Oliveira F., Cyrino F.* Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods // *Energy*, 2018, Vol. 1441, pp. 776–788.

5. *Kaboli S., Selvaraj J., Rahim N.* Long-term electric energy consumption forecasting via artificial cooperative search algorithm // *Energy*, 2016, Vol. 115, pp. 857–871.

6. *Клюев Р.В., Босиков И.И., Егорова Е.В., Гаврина О.А.* Оценка горно-геологических и горнотехнических условий карьера «Северный» с помощью математических моделей // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2020. – № 3. – С. 418–427.

7. *Golik V.I., Razorenov Yu. I., Efremenko A.B.* Recycling of metal ore mill tailings // *Applied Mechanics and Materials*, 2014, Т. 682, pp. 363–368.

8. *Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O.* Metal deposits combined development experience // *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, Т. 7, № 6, pp. 591–594.

9. *Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Shabalov M.* Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform // *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, 1333 (6). DOI: 10.1088/1742–6596/1333/6/062033.

10. *Buryanina N., Korolyuk Yu., Koryakina M., Suslov K., Lesnykh E.* Four Samples Method for the Selection of Sinusoidal Components Parameters of Power System Emergency Mode / *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. Vladivostok, Russia, 1–4 October 2019. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934775.

11. *Wei N., Li Ch., Peng X., Zeng F., Lu X.* Conventional models and artificial intelligence-based models for energy consumption forecasting: A review // *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, Vol. 181, № 106187.

12. *He Y., Zheng Y., Xu Q.* Forecasting energy consumption in Anhui province of China through two Box-Cox transformation quantile regression probability density methods // *Measurement*, 2019, Vol. 136, pp. 579–593.

13. *Klyuev R., Bosikov I., Gavrina O., Madaeva M., Sokolov A.* Improving the energy efficiency of technological equipment at mining enterprises // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, Vol. 1258. pp. 262–271.


14. *Wang J., Du Yu, Wang J.* LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity // *Energy*, 2020, Vol. 197, Article 117197.

15. *Wang R., Lu Sh., Feng W.* A novel improved model for building energy consumption prediction based on model integration // *Applied Energy*, 2020, Vol. 262, Article 114561.

16. Spiliotis E., Petropoulos F., Kourentzes N., Assimakopoulos V. Cross-temporal aggregation: Improving the forecast accuracy of hierarchical electricity consumption // *Applied Energy*, 2020, Vol. 2611, № 114339.

17. Xiao J., Li Y., Xie L., Liu D., Huang J. A hybrid model based on selective ensemble for energy consumption forecasting in China // *Energy*, 2018, Vol. 15915, pp. 534–546.

18. Carvallo J., Larsen P., Sanstad A., Goldman Ch. Long term load forecasting accuracy in electric utility integrated resource planning // *Energy Policy*, 2018, Vol. 119, pp. 410–422.

19. Усманова Т.Х., Исаков Д.А. Актуальные вопросы электроэнергетических затрат добывающей промышленности // *Горная промышленность*. – 2018. – № 6 (142). – С. 30 – 33. 

REFERENCES

1. Bornschlegl M., Bregulla M., Franke J. Methods-Energy Measurement – An approach for sustainable energy planning of manufacturing technologies. *Journal of Cleaner Production*, 2016, Vol. 1351, pp. 644 – 656.

2. Biel K., Glock C. Systematic literature review of decision support models for energy-efficient production planning. *Computers & Industrial Engineering*, 2016, Vol. 101, pp. 243 – 259.

3. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V., Gavrina O.A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, №2, pp. 283 – 290. [In Russ].

4. Meira de Oliveira E., Oliveira F., Cyrino F. Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods. *Energy*, 2018, Vol. 1441, pp. 776 – 788.

5. Kaboli S., Selvaraj J., Rahim N. Long-term electric energy consumption forecasting via artificial cooperative search algorithm. *Energy*, 2016, Vol. 115, pp. 857 – 871.

6. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Egorova E.V., Gavrina O.A. Assessment of mining-geological and mining technical conditions of the Severny pit with the use of mathematical models. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, №3, pp. 418–427. [In Russ]

7. Golik V.I., Razorenov Yu. I., Efremkov A.B. Recycling of metal ore mill tailings. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, T. 682, pp. 363 – 368.

8. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, T. 7, № 6, pp. 591 – 594.

9. Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Shabalov M. Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, 1333 (6). DOI: 10.1088/1742 – 6596/1333/6/062033.

10. Buryanina N., Korolyuk Yu., Koryakina M., Suslov K., Lesnykh E. Four Samples Method for the Selection of Sinusoidal Components Parameters of Power System Emergency Mode. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon*. Vladivostok, Russia, 1–4 October 2019. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934775.

11. Wei N., Li Ch., Peng X., Zeng F., Lu X. Conventional models and artificial intelligence-based models for energy consumption forecasting: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, Vol. 181, № 106187.

12. He Y., Zheng Y., Xu Q. Forecasting energy consumption in Anhui province of China through two Box-Cox transformation quantile regression probability density methods. *Measurement*, 2019, Vol. 136, pp. 579 – 593.

13. Klyuev R., Bosikov I., Gavrina O., Madaeva M., Sokolov A. Improving the energy efficiency of technological equipment at mining enterprises. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, Vol. 1258. pp. 262 – 271.

14. Wang J., Du Yu, Wang J. LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity. *Energy*, 2020, Vol. 197, Article 117197.

15. Wang R., Lu Sh., Feng W. A novel improved model for building energy consumption prediction based on model integration. *Applied Energy*, 2020, Vol. 262, Article 114561.

16. Spiliotis E., Petropoulos F., Kourentzes N., Assimakopoulos V. Cross-temporal aggregation: Improving the forecast accuracy of hierarchical electricity consumption. *Applied Energy*, 2020, Vol. 2611, no. 114339.

17. Xiao J., Li Y., Xie L., Liu D., Huang J. A hybrid model based on selective ensemble for energy consumption forecasting in China. *Energy*, 2018, Vol. 15915, pp. 534 – 546.

18. Carvallo J., Larsen P., Sanstad A., Goldman Ch. Long term load forecasting accuracy in electric utility integrated resource planning. *Energy Policy*, 2018, Vol. 119, pp. 410 – 422.

19. Usmanova T. Kh., Isakov D.A. Important aspects of power costs of the mineral mining industry. *Mining Industry*. 2018, No 6 (142), pp. 30 – 33. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Клюев Роман Владимирович^{1,3} – д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой, e-mail: kluev-roman@rambler.ru;

*Гаврина Оксана Александровна*¹ – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры;

*Хетагуров Валерий Николаевич*¹ – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры;

*Засеев Сергей Георгиевич*² – канд. техн. наук, доцент, декан факультета;

*Умиров Бауыржан Зайтович*⁴ – магистр-преподаватель;

¹ Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет);

² Горский государственный аграрный университет;

³ Московский политехнический университет;

⁴ Международный Казахско-Турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави.

Для контактов: Клюев Р.В., e-mail: kluev-roman@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Klyuev R.V.^{1,3}, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Head of Chief, e-mail: kluev-roman@rambler.ru;

*Gavrina O.A.*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor;

*Khetagurov V.N.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor;

*Zaseev S.G.*², Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor;

*Umirov B.Z.*⁴, Master-teacher;

¹ North Caucasian Institute of mining and metallurgy (State Technological University), 362021, Vladikavkaz, Russia;

² Gorsky (Mountain) State Agrarian University, 362040, Vladikavkaz, Russia;

³ Moscow Polytechnic University, 107023, Moscow, Russia;

⁴ Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, 161200, Turkestan, Kazakhstan, bauka_725@mail.ru.

Corresponding author: R.V. Klyuev, e-mail: kluev-roman@rambler.ru.

Получена редакцией 26.05.2020; получена после рецензии 08.06.2020; принята к печати 10.10.2020.

Received by the editors 26.05.2020; received after the review 08.06.2020; accepted for printing 10.10.2020.

