ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(2):161-170
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622:621.31 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-161-170

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УДЕЛЬНЫЕ НОРМЫ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

С.С. Кубрин[1], С.Н. Решетняк[1,2], А.М. Бондаренко[3]

[1] ИПКОН РАН, Москва, Россия, e-mail: s_kubrin@mail.ru
[2] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия
[3] АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия

Аннотация: Рассмотрены вопросы нормирования электропотребления применительно к выемочным участкам высокопроизводительных угольных шахт на основе разработанного факторного пространства. Рассматривается возможность применения технологии бенчмаркинга в специфических условиях угольных шахт. Анализ факторного пространства позволил получить математическую модель процесса электропотребления высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты. На основе кластерного анализа с учетом факторного пространства для угольных шахт высокой производительности разработана структурная схема выемочного участка. Данная математическая модель и структурная схема позволят проанализировать процессы и взаимосвязи, возникающие при добыче угля подземным способом, определить основные и косвенные элементы факторного пространства, процесса добычи высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты, что даст возможность оптимизировать параметры электропотребления и снизить себестоимость добычи продукции. Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенные на действующей, высокопроизводительной угольной шахте, в частности на ее выемочном участке, по определению фактических значений параметров удельного электропотребления основного технологического оборудования и суммарной фактической нормы электропотребления выемочного участка при различных скоростях движения выемочного комбайна.

Ключевые слова: нормирование, электрическая энергия, угольная шахта, выемочный участок, факторное пространство, энергетическая эффективность, бенчмаркинг.

Для цитирования: *Кубрин С. С., Решетняк С. Н., Бондаренко А. М.* Анализ влияния технологических факторов на удельные нормы электропотребления оборудования выемочных участков угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 161–170. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-161-170.

Impact of technology factors on specific power demands of equipment in extraction districts of coal mines

S.S. Kubrin[1], S.N. Reshetnyak[1,2], A.M. Bondarenko[3]

[1] Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: s_kubrin@mail.ru
[2] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia
[3] JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, Russia

© С.С. Кубрин, С.Н. Решетняк, А.М. Бондаренко. 2020.

Abstract: This publication raises a question of setting rates of power demand in extraction districts of highly productive coal mines based on the developed factor space. Applicability of the benchmarking theory in the specific conditions of coal mines is considered. The factor space analysis produced the mathematical model of power consumption in a highly productive extraction district of a coal mine. Based on the cluster analysis with regard to the factor space, the functional chart is developed for an extraction district of highly productive coal mines. The mathematical model and functional chart can help analyze processes and interrelationship during underground coal mining, determined basic and secondary elements of the factor space and of the high-production process in an extraction district of a coal mine, which can enable optimization of power consumption parameters and reduction of mining cost. The article presents the test data obtained in a highly productive district of an operating coal mine. The tests were aimed to determine the actual parameters of specific power demand of the main process equipment and the total actual rate of power consumption in the extraction district at different travelling speeds of cutter–loader.

Key words: rating, power, coal mine, extraction district, factor space, energy efficiency, benchmarking.

For citation: Kubrin S. S., Reshetnyak S. N., Bondarenko A. M. Impact of technology factors on specific power demands of equipment in extraction districts of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(2):161-170. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-161-170.

В настоящее время угольная промышленность России является одним из локомотивов технологического развития. Модернизация оборудования, разработка новых технологических решений являются основой для уверенного технологического развития страны, в том числе в минерально-сырьевом кластере России. Министерство энергетики России в достаточно сложных макроэкономических условиях разработало ряд документов по внедрению инновационных технологий и современных материалов в отраслях Топливно-энергетического комплекса [1].

Рядом ученых проводятся научные исследования по повышению уровня эффективности добычи угля подземным способом за счет внедрения современных технологических решений. В частности, в публикации [2, 3] представлен критериальный анализ угледобывающего предприятия на примере угольной шахты с целью повышения ее эффективности. Также имеются ряд научных исследований по построению системы контрольных показателей эффективности при добыче угля на основе технологии Бенчмаркинга (от англ. Benchmarking) [4]. Данная технология включает в себя два равнозначных процесса: «оценивание» и «сопоставление» как внешнее, так и внутреннее [5]. Данная технология предусматривает введение в технологический процесс выемки угля этапов определения, понимания и адаптации имеющихся эталонных примеров функционирования угольной шахты для существующих угледобывающих предприятий, работающих в схожих геотехнологических и производственных условиях.

В частности, на основе технологии Бенчмаркинга представлен сравнительный анализ восьми китайских угольных шахт, принадлежащих группе Yankuang [6].

Однако в настоящее время большое число предприятий по добыче и переработке угля в Российской Федерации работают в сложных горно-геологических и технологических условиях, и внедрение технологии Бенчмаркинга весьма затруднительно. Это особенно заметно при отработке высокопроизводительных забоев в метанообильных шахтах [7, 8].

Модернизация оборудования, участвующего в технологической цепочке выемки угля, в том числе в системах электроприводов горного оборудования [9—11],

вызывает необходимость в корректировке технологических показателей работы, что в значительной степени влияет на нормативные и нормируемые величины, участвующие в расчетах при определении себестоимости продукции и плановых показателях угледобывающего предприятия [12—15]. Данный аспект также приведет к корректировке технологических параметров угольной шахты, что, в свою очередь, вызовет значительное изменение нормативных показателей работы как отдельных элементов технологической цепочки выемки угля, так и угледобывающего предприятия в целом.

Основной энергетический ресурс, участвующий в технологическом процессе выемки угля, — электрическая энергия. Объемы используемых энергоресурсов на единицу продукции велики, что в значительной степени влияет на себестоимость добытой продукции, снижая ее конкурентоспособность [16—18]. Поэтому для снижения энергозатрат необходимо провести исследования по разработке модели факторного пространства для определения удельных норм электропотребления выемочных участков угольных шахт. Это научная задача становится все более значимой и актуальной ввиду нестабильности стоимости угля на мировых торговых площадках.

Под факторным пространством следует понимать совокупность внешних и внутренних параметров высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт [19]. Для определения факторного пространства выемочного участка угольной шахты необходимо провести факторный анализ, под которым следует понимать многомерную методику, позволяющую изучить взаимосвязи между параметрами переменных факторов, влияющих на выемку угля. В настоящее время факторный анализ для определения факторного поля высокопроизводительно выемочного участка угольной шахты возможно провести с помощью двух основных методов, а именно детерминированного и стохастического.

Методы факторного анализа могут использоваться как совместно, так и раздельно. Под детерминированным методом следует понимать возможность выявить ряд основных факторов, влияющих на выемку угля, относительно критерия повышенной эффективности. Под стохастическим методом следует понимать возможность определения ряда косвенных факторов, влияющих на выемку угля, относительно критерия повышенной эффективности. Однако, с точки зрения построения факторного поля высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты, учет только лишь основных факторов, влияющих на выемку угля по критерию повышенной эффективности, явно недостаточен ввиду большого количества косвенных связей. Поэтому для получения качественного факторного пространства выемочного участка угольной шахты необходимо совместное использование обоих методов факторного анализа.

Для применения факторного анализа в условиях высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт необходимо решение ряда задач:

- обнаружение существующих значений факторов, влияющих на выемку угля;
- подбор факторов для полноценного анализа значений, влияющих на выемку угля;
- классификация этих факторов для системной работы;
- обнаружение взаимосвязей между результативными и факторными значениями;
- определение степени влияния на выемку угля каждого из факторов;
- анализ роли каждого из выделенных факторов;
- применение факторной модели высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты.

Следует отметить, что все факторы, влияющие на выемку угля, возможно классифицировать по трем основным видам:

- нерегулируемые (природные) факторы;
- регулируемые технологические факторы на стадии проектирования;
- регулируемые технологические факторы на стадии ведения горных работ.

Классификационный анализ данных факторов представлен на рис. 1.

К нерегулируемым (природным) факторам следует отнести:

Факторы кровли:

- тип кровли по устойчивости;
- тип кровли по обрушаемости;
- тип кровли по трещиноватости;
- тип кровли по коэффициенту крепости;
- тип кровли по мощности;
- тип кровли по метанообильности.

Факторы пласта:

- мощность пласта;
- угол падения пласта;
- строение пласта;
- глубина залегания пласта;
- степень метаморфизма пласта;
- прочностные свойства пласта;
- метанноносность пласта.

Факторы почвы:

- тип почвы по мощности;
- тип почвы по коэффициенту крепости;
- тип почвы по устойчивости.

К регулируемым технологическим факторам на стадии проектирования угледобывающего предприятия следует отнести:

- схему подготовки выемочного пласта;
- схему разработки выемочного пласта;
- схему проветривания угольной шахты;
- схему транспортировки отбитого угля;
- длину лавы;
- систему предварительной дегазации;

Рис. 1. Классификационный анализ факторов, влияющих на выемку угля
Fig. 1. Ranging analysis of factors influencing coal extraction

• выемочный комплекс.

К регулируемым технологическим факторам на стадии ведения горных работ следует отнести:

• систему текущей дегазации;
• скорость передвижения крепи;
• производительность транспортного кластера;
• скорость выемочного комбайна;
• длительность цикла выемки.

Классификационный анализ факторов, представленный на рис. 1, позволил выявить ряд основных элементов факторного пространства высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты, которые поддаются регулированию на стадии ведения выемки угля.

К влияющим факторам следует отнести горно-технологические и горно-геологические факторы, которые действуют на технологию добычи угля в совокупности. Основными технологическими процессами при добыче угля подземным способом являются:

• скорость подачи комбайна;
• производительность транспортной цепочки;
• скорость подвигания забоя;
• численность персонала;
• текущая газоносность пласта;
• объем добытой продукции.

В результате проведенных исследований была построена структурная схема выемочного участка на основе кластерного анализа с учетом факторного пространства для угольных шахт высокой производительности (рис. 2). Согласно представленной структурной схеме, на выемочном участке угольной шахты имеется три основных кластера: кластер извлечения; кластер крепи; транспортный кластер. Кластер извлечения включает в себя выемочный комбайн и станцию орошения. Кластер крепи включает в себя механизированную крепь и маслостанцию. Транспортный кластер включает в себя лавный конвейер, дробилку и перегружатель. На основе представленной структурной схемы разработана математическая модель электропотребления высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт с учетом факторного пространства.

На основе представленной структурной схемы разработана математическая модель электропотребления высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт с учетом факторного пространства.

$$\omega_{в.у.} = A + B_1 \cdot f(x_1) + B_1 \cdot f(x_2) + B_1 \cdot f(x_3) + B_1 \cdot f(x_4) + B_1 \cdot f(x_5) + B_1 \cdot f(x_6) + B_2 \cdot f(x_1) + B_2 \cdot f(x_2) + B_2 \cdot f(x_3) + B_2 \cdot f(x_4) + B_2 \cdot f(x_5) + B_2 \cdot f(x_6) + B_3 \cdot f(x_1) + B_3 \cdot f(x_2) + B_3 \cdot f(x_3) + B_3 \cdot f(x_4) + B_3 \cdot f(x_5) + B_3 \cdot f(x_6) + B_4 \cdot f(x_1) + B_4 \cdot f(x_2) + B_4 \cdot f(x_3) + B_4 \cdot f(x_4) + B_4 \cdot f(x_5) + B_4 \cdot f(x_6),$$

где $\omega_{в.у.}$ — удельное электропотребление выемочного участка кВт*ч/т; А — удельное потребление электроэнергии, не зависящей от объемов добычи, кВт*ч/т; B_1 — удельное потребление электроэнергии выемочным комбайном, кВт*ч/т; B_2 — удельное потребление электроэнергии лавным конвейером, кВт*ч/т; B_3 — удельное потребление электроэнергии дробилкой, кВт*ч/т; B_4 — удельное потребление электроэнергии перегружателем, кВт*ч/т; f — функция; x_1 — скорость подачи комбайна, м/мин; x_2 — производительность транспортной цепочки, т/ч; x_3 — скорость подвигания забоя, м/сут; x_4 — численность персонала, чел.; x_5 — текущая газовыделение разрабатываемого пласта м^3/т; x_6 — объем добытой продукции, т.

Анализ факторного пространства угольной шахты позволил сделать следующие заключения: к основному элементу факторного пространства относится скорость подачи выемочного комбайна и производительность транспортного кластера угольной шахты.

К элементам транспортного кластера относится оборудование выемочного

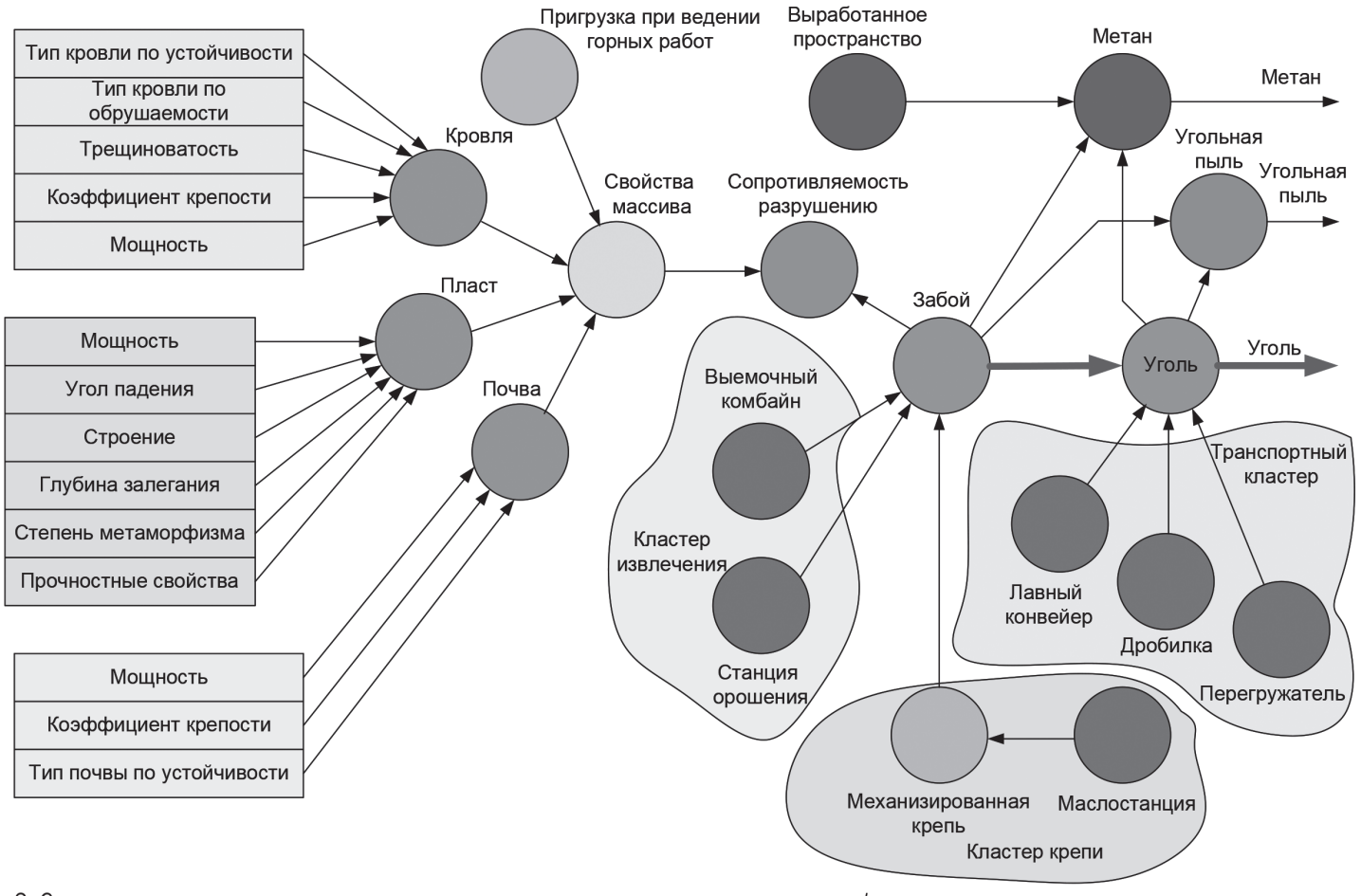

Рис. 2. Структурная схема выемочного участка на основе кластерного анализа с учетом факторного пространства для угольных шахт высокой производительности

Fig. 2. Functional chart of extraction district based on cluster analysis with regard to factor space for highly productive coal mine

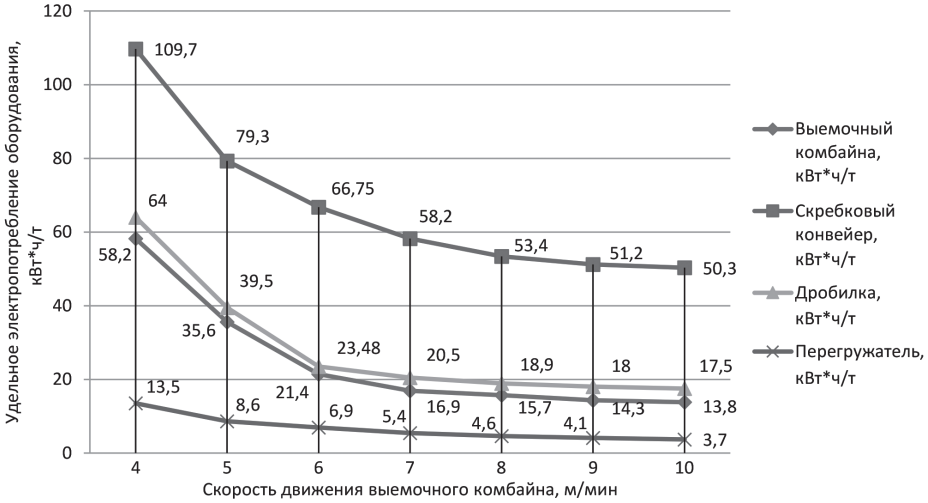

Рис. 3. Параметры удельного электропотребления основного технологического оборудования выемочного участка при различных скоростях движения выемочного комбайна
Fig. 3. Specific power demand parameters of the main process equipment of extraction district at different travelling speeds of cutter–loader

участка — скребковый (лавный) конвейер, дробилки и перегружатель, — а также элементы магистрального транспорта угольной шахты (магистральный конвейерный транспорт, электровозная откатка, подъемные установки и т.д.). Такие элементы факторного пространства, как длительность цикла выемки, система текущей дегазации, скорость передвижки крепи относятся к косвенным элементам факторного пространства высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты.

В условиях высокопроизводительного выемочного участка ПЕ шахта «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» были проведены экспериментальные исследования по определению фактического удельного электропотребления основным технологическим оборудованием участка. К данному оборудованию относятся: выемочный комбайн SL-300 фирмы «Айкхофф»; скребковый конвейер FFC-9; перегружатель FSL-9; дробилка FLB-10B. В результате экспериментальных исследований получены параметры удельного электропотребления всего основного технологического оборудования при различных скоростях движения выемочного комбайна, результаты представлены на рис. 3.

Параметры удельного электропотребления выемочного участка при различных скоростях движения выемочного комбайна представлены на рис. 4.

Следует отметить способность транспортной цепи выемочного участка к перемещению отбитого угля при максимальной скорости движения выемочного комбайна (скорость 10 м/мин), однако при повышении скорости выемочного комбайна в лаве возрастает текущее газовыделение разрабатываемого пласта и газовыделение из отбитого угля. Поэтому фактор метановыделения является основным сдерживающим фактором по увеличению скорости отработки угольного пласта. В связи с этим появляется необходимость проводить эффективные дегазационный мероприятия при работах по выемке угля. В заключение следует отметить, что представленная математическая модель электропотребления выемочного участка, а также проведенные экспериментальные исследования

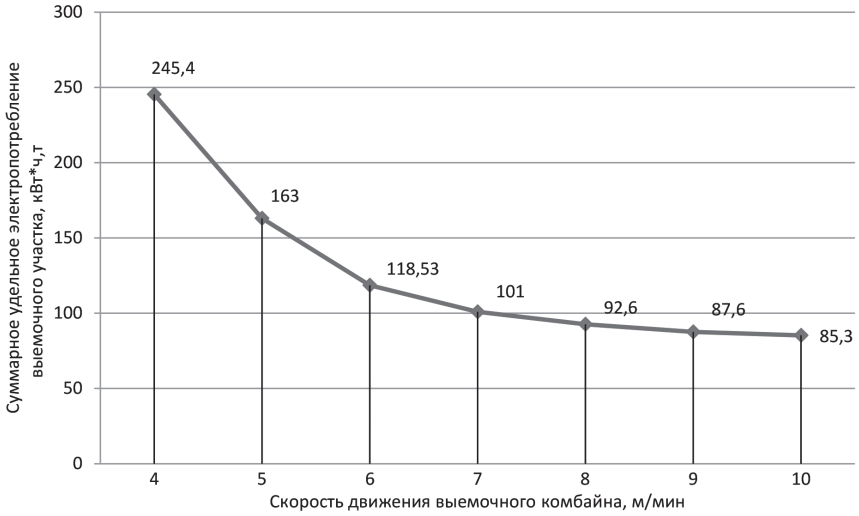

Рис. 4. Параметры удельного электропотребления выемочного участка при различных скоростях движения выемочного комбайна

Fig. 4. Parameters of specific power consumption in extraction district at different travelling speeds of cutter–loader

на высокопроизводительном выемочном участке угольной шахты позволят проанализировать процессы и взаимосвязи, возникающие при добыче угля подземным способом, и оптимизировать параметры электропотребления технологического оборудования, тем самым снизив себестоимость добычи угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Экономические* данные (Электронный ресурс). URL: http://economicdata.ru (дата обращения 13.01.2019).

2. *Bogacka M.* Multicriteria analysis of coal mine / International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2015, pp. 493—500.

3. *Jonek-Kowalska I., Turek M.* Dependence of total production costs on production and infrastructure parameters in the polish hard coal mining industry. Energies. 2017, No 10. https://doi.org/10.3390/en10101480 (дата обращения 13.01.2019).

4. *Topno S. A.*, *Sahoo L. K.*, *Junghare A. S.*, *Umre B. S.* Energy efficiency benchmarking of power consumption for an opencast coal mine / 30th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2017. http://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/ECOS_2017 (дата обращения 13.01.2019).

5. *Ning Wang, Zongguo Wena, Mingqi Liu, Jie Guo* Constructing an energy efficiency benchmarking system for coal production. Applied Energy. 2016, Vol. 169, pp. 301—308.

6. *Овакимян Г. С.*, *Шибина М. А.* Современные методы повышения конкурентоспособности предприятия: бенчмаркинг и аутсорсинг // Экономика и управление: проблемы, решения. — 2015. — № 7. — С. 119—123.

7. *Рубан А. Д.*, *Артемьев В. Б.*, *Забурдяев В. С.*, *Забурдяев Г. С.*, *Руденко Ю. Ф.* Проблемы обеспечения высокой производительности очистных забоев в метанообильных шахтах. — М.: Московский издательский дом, 2009. — 396 с.

8. *Кубрин С. С.*, *Решетняк С. Н.*, *Бондаренко А. М.* Анализ технологических показателей работы выемочного участка шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 3. — С. 14—21. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-14-21.

9. *Blagodarov D. A.*, *Dulnev N. N.*, *Fedortsov N. N.*, *Kostin A. A.*, *Kryukov O. V.* Intelligent control of electric machine drive systems / X International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS). Novocherkassk, Russia, 3—6 Oct. 2018. DOI: 10.1109/ICEPDS.2018.8571670.

10. *Blagodarov D.A., Safonov Y.M., Gosteva L.O., Fedortsov N.N., Schernikov S.Yu.* Reference Trajectory Optimization for an Industrial Robot / X International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS). Novocherkassk, Russia, 3—6 Oct. 2018. DOI: 10.1109/ICEPDS.2018.8571726.

11. *Semenov A.S., Semenova M.N., Bebikhov Y.V.* Development of universal mathematical model of electrical power supply system of area of industrial enterprise / Proceedings of International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867704.

12. *Semenov A.S., Kugusheva N.N., Khubieva V.M.* Modeling modes of variable frequency electric drive the ventilation fan at the mine for the extraction kimberlites. Fundamental Research, 2013, Vol. 5(8), pp. 1066—1070.

13. *Semenov A.S., Yakushev I.A., Egorov A.N.* Mathematical modeling of technical systems in the Matlab. Modern High Technologies, 2017, Vol. 8, pp. 56—64.

14. *Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V.* The analysis of the practice of using of high-voltage frequency converters ACS5000. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, art. no. 8602676. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.

15. *Шевырёв Ю.В., Шевырева Н.Ю.* Улучшение формы напряжения в системах электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса с активным выпрямителем // Горный журнал. — 2019. — № 1. — С. 66—69. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.14.

16. *Reshetnyak S., Bondarenko A.* Analysis of technological performance of the extraction area of the coal mine / III-rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018 Kemerovo. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101014 (дата обращения 13.01.2019).

17. *Захарова А.Г.* Закономерности электропотребления на угольных шахтах Кузбасса: монография. — Кемерово: КузГТУ, 2002. —198 с.

18. *Копылов К.Н., Кубрин С.С., Решетняк С.Н.* Актуальность повышения уровня энергоэффективности и безопасности выемочного участка угольной шахты // Уголь. — 2018. — № 10. — С. 66—70. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-66-70.

19. *Агафонов В.В., Воропаева Е.В.* Выявление диспропорций в технологических системах угольных шахт на основе факторного анализа // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № S9. — С. 8—13. ГИАБ

REFERENCES

1. *Ekonomicheskie dannye* [Economic data]. URL: http://economicdata.ru (accessed 13.01.2019).

2. Bogacka M. Multicriteria analysis of coal mine. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, SGEM, 2015, pp. 493—500.

3. Jonek-Kowalska I., Turek M. Dependence of total production costs on production and infrastructure parameters in the polish hard coal mining industry. *Energies*. 2017, No 10. https://doi.org/10.3390/en10101480 (accessed 13.01.2019).

4. Topno S.A., Sahoo L.K., Junghare A.S., Umre B.S. Energy efficiency benchmarking of power consumption for an opencast coal mine. *30th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, ECOS 2017. http://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/ECOS_2017 (accessed 13.01.2019).

5. Ning Wang, Zongguo Wena, Mingqi Liu, Jie Guo Constructing an energy efficiency benchmarking system for coal production. *Applied Energy*. 2016, Vol. 169, pp. 301—308.

6. Ovakimyan G.S., Shibina M.A. Modern methods of increasing the competitiveness of the enterprise: benchmarking and outsourcing. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2015, No 7, pp. 119—123. [In Russ].

7. Ruban A.D., Artem'ev V.B., Zaburdyaev V.S., Zaburdyaev G.S., Rudenko Yu.F. *Problemy obespecheniya vysokoj proizvoditel'nosti ochistnyh zaboev v metanoobil'nyh shahtah* [Problems of high performance mines in metanopoli mines], Moscow, Moskovskiy izdatel'skiy dom, 2009, 396 p.

8. Kubrin S.S., Reshetnyak S.N., Bondarenko A.M. Analysis of technological indicators of the excavation site of the mine «Polysaevskaya» JSC «SUEK-Kuzbass». *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(3):14-21. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-14-21.

9. Blagodarov D.A., Dulnev N.N., Fedortsov N.N., Kostin A.A., Kryukov O.V. Intelligent control of electric machine drive systems. *X International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS)*. Novocherkassk, Russia, 3—6 Oct. 2018. DOI: 10.1109/ICEPDS.2018.8571670.

10. Blagodarov D.A., Safonov Y.M., Gosteva L.O., Fedortsov N.N., Schernikov S.Yu. Reference Trajectory Optimization for an Industrial Robot. *X International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS)*. Novocherkassk, Russia, 3—6 Oct. 2018. DOI: 10.1109/ICEPDS.2018.8571726.

11. Semenov A.S., Semenova M.N., Bebikhov Y.V. Development of universal mathematical model of electrical power supply system of area of industrial enterprise. *Proceedings of International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019*. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867704.

12. Semenov A.S., Kugusheva N.N., Khubieva V.M. Modeling modes of variable frequency electric drive the ventilation fan at the mine for the extraction kimberlites. *Fundamental Research*, 2013, Vol. 5(8), pp. 1066—1070.

13. Semenov A.S., Yakushev I.A., Egorov A.N. Mathematical modeling of technical systems in the Matlab. *Modern High Technologies*, 2017, Vol. 8, pp. 56—64.

14. Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V. The analysis of the practice of using of high-voltage frequency converters ACS5000. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018*, art. no. 8602676. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.

15. Shevyrev Yu.V., Shevyreva N.Yu. Улучшение формы напряжения в системах электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса с активным выпрямителем. *Gornyy zhurnal*. 2019, no 1, pp. 66—69. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.14.

16. Reshetnyak S., Bondarenko A. Analysis of technological performance of the extraction area of the coal mine. *III-rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018, Kemerovo*. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101014 (accessed 13.01.2019).

17. Zakharova A.G. Zakonomernosti elektropotrebleniya na ugol'nykh shakhtakh Kuzbassa, monografiya [Patterns of power consumption in the coal mines of Kuzbass, monograph], Kemerovo: KuzGTU, 2002, 198 p.

18. Kopylov K.N., Kubrin S.S., Reshetnyak S.N. The relevance of improving the level of energy efficiency and safety of the coal mine excavation site. *Ugol'*. 2018, no 10, pp. 66—70. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-66-70. [In Russ].

19. Agafonov V.V., Voropaeva E.V. Identification of disproportions in technological systems of coal mines on the basis of factor analysis. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no S9, pp. 8—13. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кубрин Сергей Сергеевич[1] — д-р техн. наук, профессор,
зав. лабораторией, e-mail: s_kubrin@mail.ru,
Решетняк Сергей Николаевич[1] — канд. техн. наук,
старший научный сотрудник; НИТУ «МИСиС», доцент,
Бондаренко Александр Михайлович — заместитель главного энергетика,
АО «СУЭК-Кузбасс».
[1] Институт проблем комплексного освоения недр РАН
Для контактов: Кубрин С.С., e-mail: s_kubrin@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.S. Kubrin[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Laboratory, e-mail: s_kubrin@mail.ru,
S.N. Reshetnyak[1], Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher;
Assistant Professor, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia,
A.M. Bondarenko, Deputy Chief Power Engineer,
JSC «SUEK-Kuzbass», 652507, Leninsk-Kuznetsky, Russia.
[1] Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.
Corresponding author: S.S. *Kubrin*, e-mail: s_kubrin@mail.ru.

Получена редакцией 11.03.2019; получена после рецензии 23.09.2019; принята к печати 20.01.2019.
Received by the editors 11.03.2019; received after the review 23.09.2019; accepted for printing 20.01.2019.