

К.Н. Копылов, С.Н. Решетняк, С.С. Кубрин

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Рассмотрены современные, энергоэффективные и безопасные технологические решения повышения конкурентной способности работы угольных шахт на основе использования имитационного моделирования системы электроснабжения выемочного участка. Проведен анализ использования ресурсов выемочным участком, рост его энерговооруженности. Приведен баланс потребления электрической энергии выемочным участком шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс». Разработана имитационная модель системы электроснабжения выемочного участка. Произведено моделирование, позволившее определить коэффициенты мощности выемочного участка в целом и коэффициенты мощности конкретного оборудования выемочного участка.

Ключевые слова: угольная шахта, имитационная модель, комбайн, конвейер, перегружатель, дробильный комплекс, энергоэффективность, система электроснабжения, ресурсы.

В настоящее время угольная промышленность России оказалась в достаточно сложном положении. Это обусловлено рядом факторов как внешних, так и внутренних. Под основным внешним фактором следует понимать значительное снижение стоимости продукции угольных предприятий на мировых рынках (в 2011 г. стоимость энергетического угля на рынке составляла 130 долл. за тонну, в настоящее время стоимость снизилась более чем 2,5 раза и составляет 49 долл. за тонну). Также следует отметить стремление ряда стран снизить зависимость от импорта угля через развитие возобновляемых источников энергии. Под внутренними факторами понимают:

- постоянный рост логистической составляющей в цене угольной продукции для потребителей;
- большое число угольных компаний со значительной долговой нагрузкой; увеличение фиксальной нагрузки на угольную промышленность в части недропользования;

- большое количество предприятий работающих в достаточно сложных горно-геологических условиях;
- ужесточение экологических требований к использованию этого вида топливно-энергетического ресурса [1, 2].

Уголь, в рамках мирового энергетического баланса, продолжает играть значительную роль, так его доля в 2015 г. составляет 29%. Однако, мировой тренд по потреблению угля в мире – отрицательный, и в перспективе его доля в мировом энергетическом балансе будет снижаться до 25% [2].

Несмотря на обострение конкуренции между странами-экспортерами угольной продукции, экспорт российского угля не снижается. В 2015 г. он составил 156 млн т и вырос на 1,2 млн т по сравнению с уровнем 2014 г., а также увеличивается добыча угля, растет качество поставляемой потребителям продукции [3, 8].

Все эти факторы позволяют сделать заключение о необходимости модернизации существующего оборудования предприятий угольной отрасли за счет использования современных, энергоэффективных и безопасных технологических решений. Однако перед принятием решения об энергоэффективных и безопасных способах модернизации оборудования расположенного на производственных участках необходимо провести имитационное моделирование участков угледобывающих предприятий с использованием современных программных продуктов, для качественной и количественной оценки результатов внедренных мероприятий.

Основной производственный участок, который осуществляет выемку полезного ископаемого из массива, является выемочный участок, его энерговооруженность и технологические особенности выемки угля, в значительной степени влияют на себестоимость продукции [6, 7]. Поэтому выемочному участку необходимо уделить особое внимание по разработке эффективных и безопасных мероприятий комплексной механизации и автоматизации позволяющих повысить степень извлечения полезного ископаемого и снижающих себестоимость добычи полезного ископаемого, что в значительной степени позволит улучшить конкурентоспособность продукции и экономической эффективности работы горного предприятия в целом. Данные аспекты позволяют сделать предпосылки к дальнейшему привлечению инвестиций в горнодобывающую отрасль России путем снижения энергоемкости производства предприятий минерально-сырьевого кластера по добычи полезного ископаемого подземным способом [11, 13].

Под понятием энергоемкости горнодобывающего предприятия следует понимать отношение потребленного энергетического ресурса на основные и вспомогательные технологические процессы по добыче полезного ископаемого, на единицу произведенной (добытой) продукции [10]. Помимо экономического эффекта, внедрение энергоэффективных и безопасных технологий позволит стимулировать научно-технический прогресс и техническое перевооружение производства, а также значительно повысить культуру производства [12]. Важным фактором на горном предприятии является обеспечение высокого уровня надежности и безопасности эксплуатации оборудования, для обеспечения выполнения требований и нормативов по безопасной эксплуатации [14].

Основной энергетический ресурс, который расходуется на выемочном участке угольной шахты, это электрическая энергия. Снабжение электроэнергией очистного участка осуществляется от ЦПП (центральной подземной подстанции) по кабельным линиям. До недавнего времени уровень напряжения кабельных линий не превышал значения 1140 В, однако применение современных зарубежных высокопроизводительных очистных комплексов потребовали увеличить уровень напряжения кабельных линий до значений 3300 В. Требования увеличения уровня напряжения были обусловлены увеличением энергоемкости оборудования выемочного участка и как следствие значительные потери в кабельных линиях при протекании больших токов, а также низкими масса габаритными показателя высоковольтных двигателей сопоставимой мощности. Росгортехнадзор разработал и утвердил «Методические указания по электроснабжению, выбору и проверке электрических аппаратов, кабелей и устройств релейной защиты в участковых сетях угольных шахт (рудников) напряжением 3300 В» в 2011 г. что позволило эксплуатацию высоко энерговооруженную горную технику напряжением уровня 3300 В на передвижных потребителях выемочных и проходческих участках угольных шахт [5].

В частности на шахте «Польсаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» лава оборудована очистным комбайном SL-300 немецкой фирмы Eickhoff Gmb с напряжением питания 3300 В, помимо этого лава оснащена 176 секциями шахтной крепи FRS Glinik -12/25 (Польша), специально изготовленными под параметры отработки пласта Бреевского. В комплектацию забоя польским оборудованием входят забойный конвейер FFC-9 Glinik, штрековый перегружатель FSL-9 Glinik, поворотное-передвижное

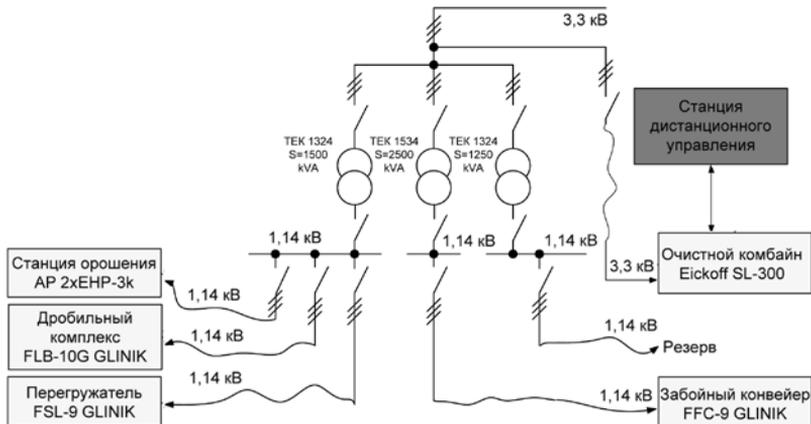


Рис. 1. Схема электроснабжения выемочного участка угольной шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс»

устройство FBE-1200 Glinik, дробильная установка FLB-10G Glinik, насосные станции [4].

Схема электроснабжения выемочного участка угольной шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» представлена на рис. 1. В состав энергопоезда входят две трансформаторные подстанции ТЕК 1324 (компания «Беккер Майнинг Системс», Германия)

Таблица 1

Основные энергетические характеристики оборудования очистного участка шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс»

№	Тип оборудования	Марка	Мощность, кВт	Мощность приводов, кВт
1	Очистной комбайн	Eickhoff SL-300 (вариант 4)	1138	привод резания 2×480
				привод подачи 2×80
				привод гидравлики 2×9
2	Забойный конвейер	FFC-9 GLINIK	1500	3×500
3	Перегружатель	FSL-9 GLINIK	500	500
4	Дробильный комплекс	FLB-10G GLINIK	200	200
5	Станция орошения	VIHARI AP 2×ENP-3K 200/70/SM	110	110
6	Суммарная мощность очистного участка		3448 кВт	

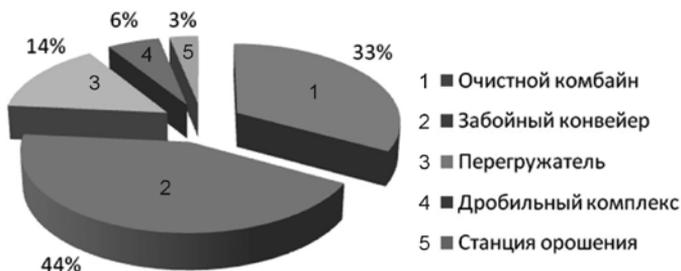


Рис. 2. Баланс потребления электрической энергии выемочным участком шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс»

с установленной мощностью 1500 и 1250 кВА соответственно и трансформаторная подстанция ТЕК 1534 (компания «Беккер Майнинг Системс», Германия) с установленной мощностью 2500 кВА, которые преобразуют первичное напряжение 3300 В во вторичное напряжение значением 1140 В. Этот уровень напряжения служит для питания оборудования расположенного на выемочном участке.

Перечень оборудования и основные энергетические характеристики представлены в табл. 1. На рис. 2 представлен баланс потребления электрической энергии выемочным участком шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс».

Схема разработанной имитационной модели системы электроснабжения выемочного участка шахты «Полысаевская» с учетом параметров оборудования расположенного на выемочном участке и кабельных линий производящих транспортировку энергетического ресурса выполненная на платформе программного продукта Matlab представлена на рис. 3. Данная модель схемы электроснабжения позволяет:

1. Определить потери электрической энергии в кабельных линиях выемочного участка как высоковольтных, так и низковольтных;

2. Определить потери электрической энергии в трансформаторных подстанциях энергопоезда выемочного участка;

3. Определить потери в высоковольтных и низковольтных коммутационных аппаратах;

4. Определить объем электрической энергии, потребляемой выемочным участком;

5. Определить объемы электрической энергии конкретным оборудованием выемочного участка;

6. Определить коэффициенты мощность выемочного участка (в целом) и конкретного оборудования выемочного участка.

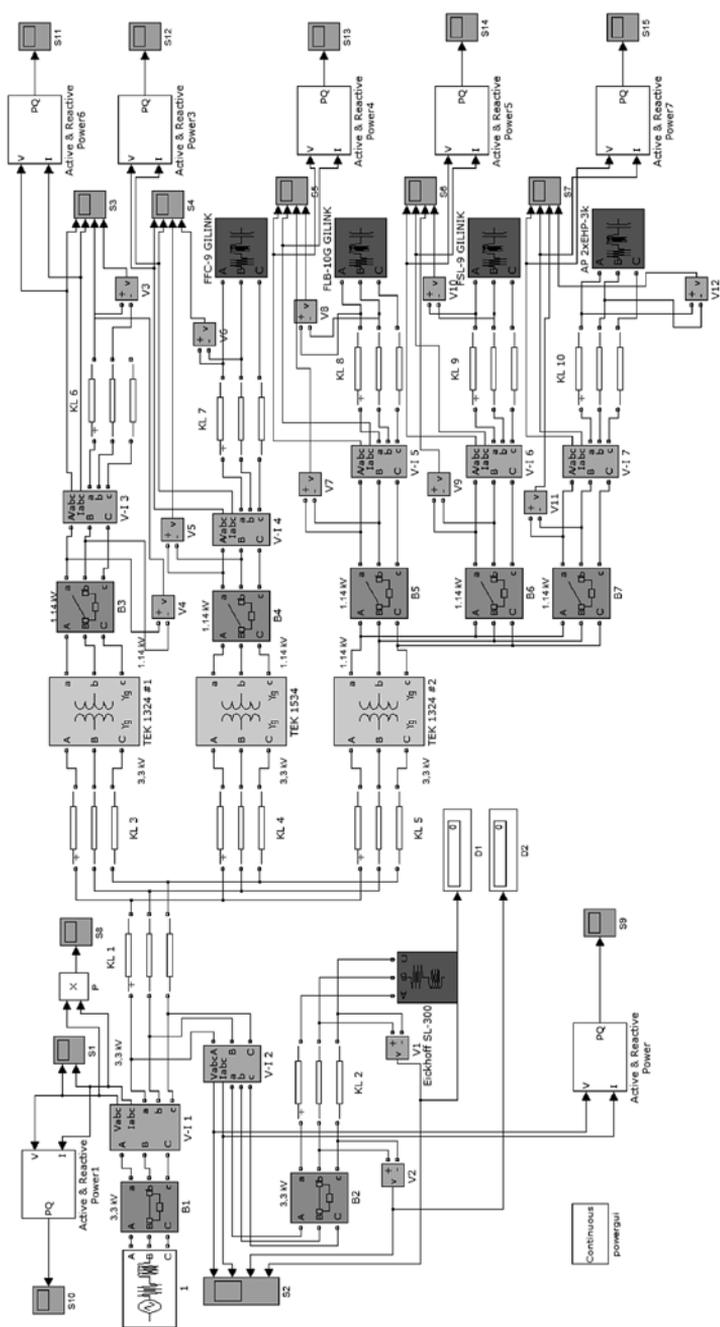


Рис. 3. Схема имитационной модели системы электроснабжения выемочного участка шахты «Польсаевская» АО «СУЭК-Кузбасс»

На выемочный участок поступает напряжение 3,3 кВ (имитационная модель источника напряжения обозначена 1), после чего располагается вводной высоковольтный выключатель В1, и высоковольтный выключатель В2 служащий для питания выемочного комбайна. Переключатели В3, В4, В5, В6, В7 служат для оперативных коммутаций низковольтного напряжения (1140 В) ряда потребителей выемочного участка. Кабельные линии как высоковольтные (KL1, KL2, KL3, KL4) так и низковольтные (KL6, KL7, KL8, KL9, KL10) также представлены на схеме имитационной модели. Передвижные понизительные подстанции ТЕК 1324 и ТЕК 1534, представлены в имитационной модели в виде трехфазных двухобмоточных трансформаторов. Потребителя участка представлены в виде активно-реактивной нагрузки. Измерительные комплексы представлены в виде осциллографов подключенных к измерителям тока и напряжения (однофазных и трехфазных), а также к измерителям активной и реактивной мощности.

В случае, при котором не происходит учет потерь электрической энергии в кабельных линиях выемочного участка и потерь электрической энергии в коммутационных электрических аппаратах (выключателях) возможно построение упрощенной схемы имитационной модели системы электроснабжения выемочного участка (рис. 4), позволяющая оценить коэффициенты мощности выемочного участка в целом и конкретного оборудования выемочного участка. Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) (безразмерная величина) – отношение активной мощности P к полной мощности S , является одним из показателей позволяющих судить об качестве потребления электрической энергии как конкретного потребителя, так и отдельного участка предприятия.

Данный коэффициент лежит в пределах от 1 до 0 и позволяет судить о нелинейных искажениях вносимых нагрузкой в систему электроснабжения предприятия. Соответственно, чем ниже коэффициент мощности, тем ниже качество потребления электроэнергии, и имеется необходимость для принудительного повышения низкого коэффициента мощности, с помощью дополнительного оборудования, до приемлемых значений. Значения коэффициентов мощности представлены в табл. 2.

Таблица 2

Нормативные значения коэффициентов мощности ($\cos \varphi$)

Значение	Высокое	Хорошее	Удовл.	Низкое	Неудовл.
$\cos \varphi$	0,95–1,0	0,8–0,95	0,65–0,8	0,5–0,65	0–0,5

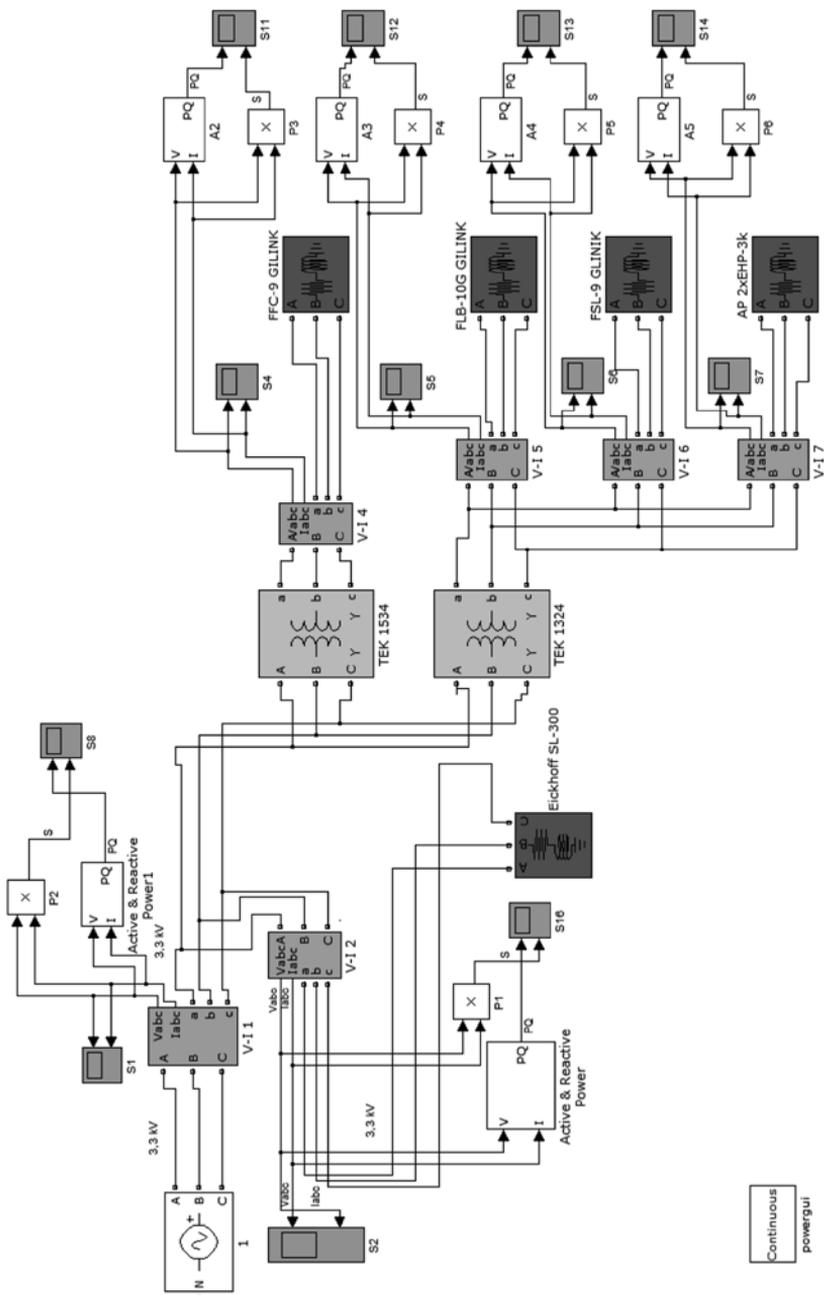


Рис. 4. Упрощенная схема имитационной модели системы электроснабжения выемочного участка

Таблица 3

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ выемочного участка шахты «Полысаевская» и оборудования

Тип оборудования	Марка	Коэффициент мощности
Очистной комбайн	Eickhoff SL-300	0,46
Забойный конвейер	FFC-9 GLINIK	0,47
Перегрузатель	FSL-9 GLINIK	0,46
Дробильный комплекс	FLB-10G GLINIK	0,48
Станция орошения	VIHARI AP 2×EHP-3K 200/70/SM	0,46
Коэффициент мощности выемочного участка		0,42

Результаты имитационного моделирования схемы электропитания выемочного участка шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» позволяют определить коэффициенты мощности как выемочного участка в целом, так и коэффициенты мощности конкретного оборудования выемочного участка. Результаты расчетов коэффициента мощности выемочного участка шахты «Полысаевская» представлены в табл. 3.

Представленная имитационная модель схемы электропитания выемочного участка шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» позволяет получить следующие результаты:

1. Определить потери электрической энергии в кабельных линиях выемочного участка как высоковольтных, так и низковольтных;
2. Определить потери электрической энергии в трансформаторных подстанциях энергопоезда в высоковольтных и низковольтных коммутационных аппаратах выемочного участка;
3. Определить объем электрической энергии, потребляемой выемочным участком;
4. Определить объемы электрической энергии конкретным оборудованием выемочного участка;
5. Определить коэффициенты мощность выемочного участка (в целом) и конкретного оборудования выемочного участка, что позволит определить пути повышения энергетической эффективности как конкретного оборудования, так и выемочного участка полностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://minenergo.gov.ru/node/4912>
2. http://minenergo.gov.ru/sites/default/files/reports/06/28/5514/Doklad_Kongress_obogashchenie_uglya.docx

3. <http://minenergo.gov.ru/node/5659>
4. <https://rg.ru/2015/08/13/reg-sibfo/lava-anons.html>
5. *Беляк В. Л., Плащанский Л. А.* Увеличение напряжения участковых сетей как способ повышения эффективности использования горных машин в высоконагруженных забоях угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 5. – С. 286–290.
6. *Черняк И. Л., Ярунин С. А., Бурчаков Ю. И.* Технология и механизация подземной добычи угля. – М.: Недра, 1981. – 384 с.
7. *Бабочкин Г. И., Шуцкий В. И.* Автоматизированный электропривод очистных комбайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 9. – С. 214–216.
8. *Kubrin S. S., Zhuravlev E. I.* Geoinformation monitoring of geodynamic and gas-dynamic state of the rock mass. Geoinformatics research papers, Vol. 4, BS4002, doi:10.2205/2016BS06 Sochi, 2016.
9. *Temkin I. O., Kubrin S. S., Kulyanitsa A. L.* Application of intellectual systems for robotic coal plough machine control in complex mine-geological conditions. Miner's week – 2015 reports of the XXIII International scientific symposium. 2015. Pp. 274–280.
10. *Пичуев А. В., Овсянников Н. Б.* Методы прогнозирования электрической нагрузки на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 1. – С. 292–296.
11. *Fashilenko V. N., Reshetnyak S. N.* Improving the energy performance of industrial enterprises. Miner's week–2015 Reports of the XXIII International scientific. 2015. p. 570–573.
12. *Petrochenkov A. B.* An information of industrial electrotechnical complexes. Russian Electrical Engineering. 2015. T. 86. № 6. p. 692–696.
13. *Lyakhomskii A. V., Perfil'eva E. N., Petrochenkov A. B.* Conceptual design and engineering strategies to increase energy efficiency at enterprises. Russian Electrical Engineering. 2015. T. 86. № 6. pp. 305–308.
14. *Pichuev A. V., Shevurev Y. V.* Legal aspects of electrical safety at mining enterprises of Russia. Miner's week – 2015 Reports of the XXIII International scientific. 2015. p. 605–612. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Копылов Константин Николаевич – технический директор, АО «СУЭК»,
*Решетняк Сергей Николаевич*¹ – кандидат технических наук, доцент,
 НИТУ «МИСиС»; старший научный сотрудник, e-mail: reshetniak@inbox.ru,
*Кубрин Сергей Сергеевич*¹ – доктор технических наук, профессор,
 зав. лабораторией,
¹ ИПКОН РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 12, pp. 222–224.

UDC 622.031.
 56 622:
 621.31
 622.817.47
 622.83.35

K.N. Kopylov, S.N. Reshetnyak, S.S. Kubrin
IMITATING MODELING OF SYSTEM
OF POWER SUPPLY OF THE EXTRACTION SITE
OF THE COAL MINE

The article considers the modern, energy-efficient and safe technological solutions to improve the competitive ability of the coal mines based on the use of simulation modeling of

the supply system of the extraction area. The analysis of resource usage, excavation of land, the growth of its power. Given the balance of electrical energy consumption of the extraction area of the mine «Polysaevskaya» JSC «SUEK-Kuzbass». Developed a simulation model of the power system extraction area. Produced simulation enabled to determine the coefficients of the power extraction area as a whole and the coefficients of the power hardware-specific extraction area.

Key words: coal mine, simulation model, combine, conveyor, loading crane, crushing complex, energy efficiency, system electric power, resource.

AUTHORS

Kopylov K.N., Technical Director, JSC «SUEK», 115054, Moscow, Russia,
*Reshetnyak S.N.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia;
Senior Researcher, e-mail: reshetniak@inbox.ru,
*Kubrin S.S.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory,
¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. <http://minenergo.gov.ru/node/4912>
2. http://minenergo.gov.ru/sites/default/files/reports/06/28/5514/Doklad_Kongress_obogashchenie_uglya.docx
3. <http://minenergo.gov.ru/node/5659>
4. <https://rg.ru/2015/08/13/reg-sibfo/lava-anons.html>
5. Belyak V. L., Plashchanskiy L. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 5, pp. 286–290.
6. Chernyak I. L., Yarunin S. A., Burchakov Yu. I. *Tekhnologiya i mekhanizatsiya podzemnoy dobychi uglya* (Technology and mechanization of underground coal mining), Moscow, Nedra, 1981, 384 p.
7. Babokin G. I., Shchutskiy V. I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2003, no 9, pp. 214–216.
8. Kubrin S. S., Zhuravlev E. I. Geoinformation monitoring of geodynamic and gas-dynamic state of the rock mass. *Geoinformatics research papers*, Vol. 4, BS4002, doi:10.2205/2016BS06 Sochi, 2016.
9. Temkin I. O., Kubrin S. S., Kulyanitsa A. L. Application of intellectual systems for robotic coal plough machine control in complex mine-geological conditions. *Miner's week 2015 reports of the XXIII International scientific symposium*. 2015. Pp. 274–280.
10. Pichuev A. V., Ovsyannikov N. B. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 1, pp. 292–296.
11. Fashilenko V. N., Reshetnyak S. N. Improving the energy performance of industrial enterprises. *Miner's week—2015 Reports of the XXIII International scientific*. 2015. pp. 570–573.
12. Petrochenkov A. B. An information of industrial electrotechnical complexes. *Russian Electrical Engineering*. 2015. T. 86, no 6, pp. 692–696.
13. Lyakhomskii A. V., Perfil'eva E. N., Petrochenkov A. B. Conceptual design and engineering strategies to increase energy efficiency at enterprises. *Russian Electrical Engineering*. 2015. T. 86, no 6, pp. 305–308.
14. Pichuev A. V., Shevyrev Y. V. Legal aspects of electrical safety at mining enterprises of Russia. *Miner's week 2015 Reports of the XXIII International scientific*. 2015, pp. 605–612.