

Моделирование возникновения резонансных режимов в электротехнических системах угольных шахт

Л.А. Плащанский¹, С.Н. Решетняк^{1,2} ✉, М.Ю. Решетняк¹, Ю.Л. Жуковский³, С.С. Грачева¹

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

² Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ reshetniak@inbox.ru

Резюме: В статье представлены результаты исследования возможности возникновения резонансных режимов в электротехнических системах угольных шахт. Исследование проведено с использованием метода имитационного моделирования в программном продукте Matlab. Разработана имитационная модель в электротехнической системе угольной шахты с возможностью подключения блока статических конденсаторов и антирезонансного дросселя. Установлена возможность возникновения резонансов токов и напряжения на номерах гармоник, соответствующих 6-пульсному преобразовательным устройствам. В результате проведенного исследования установлены зависимости суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения и тока при фиксированных значениях индуктивности антирезонансного дросселя, а также выполнена оценка возможности возникновения резонансных режимов в электротехнической системе с линейной и нелинейной нагрузкой при наличии в ее составе батареи статических конденсаторов. Полученные результаты позволят повысить устойчивость электротехнической системы угольной шахты.

Ключевые слова: угольная шахта, система электроснабжения, электротехническая система, высшие гармонические составляющие, резонансные режимы, батарея статических конденсаторов, антирезонансный дроссель

Для цитирования: Плащанский Л.А., Решетняк С.Н., Решетняк М.Ю., Жуковский Ю.Л., Грачева С.С. Моделирование возникновения резонансных режимов в электротехнических системах угольных шахт. *Горная промышленность*. 2026;(4S):127–133. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-127-133>

Modeling of resonant mode occurrence in electrical systems of coal mines

L.A. Plashchanskiy¹, S.N. Reshetnyak^{1,2} ✉, M.Y. Reshetnyak¹, Yu.L. Zhukovskiy³, S.S. Gracheva¹

¹ National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

² Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

³ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ reshetniak@inbox.ru

Abstract: The publication presents the results of a simulation study into the probability of resonant mode in electrical systems of coal mines. The study was conducted using simulation modeling in the MATLAB software suite. A simulation model has been developed for the electrical system of a coal mine with the possibility of connecting a bank of power capacitors and a detuned reactor. A potential has been established for occurrence of the current and voltage resonances at harmonic numbers corresponding to 6-pulse converter devices. The result of the study helped to establish dependences of the total coefficients of the harmonic components of voltage and current at fixed values of the detuned reactor inductance. An assessment was also conducted of the possibility of resonant mode occurring in an electrical system with linear and nonlinear loads when it includes a bank of power capacitors. The conducted research will improve the stability of the electrical system of the coal mine.

Keywords: coal mine, power supply system, electrotechnical system, higher harmonic components, resonant mode, bank of power capacitors, detuned reactor

For citation: Plashchanskiy L.A., Reshetnyak S.N., Reshetnyak M.Y., Zhukovskiy Yu.L., Gracheva S.S. Modeling of resonant mode occurrence in electrical systems of coal mines. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):127–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-127-133>

Введение

Технологическое оборудование, используемое в условиях угольных шахт, помимо активной составляющей нагрузки имеет и реактивную составляющую, которая состоит из двух составляющих – индуктивной и емкостной [1–3]. Активная составляющая нагрузки присутствует во всех электропотребителях угольных шахт, поэтому их можно классифицировать по виду нагрузки на обладающие активно-индуктивным сопротивлением и обладающие активно-емкостным сопротивлением [4–6]. К электропотребителям угольных шахт с активно-индуктивным сопротивлением относятся трансформаторные подстанции, электрические машины. К электропотребителям угольных шахт с активно-емкостным сопротивлением относятся устройства по преобразованию электрической энергии (выпрямители, преобразователи частоты, устройства плавного пуска) [7–9]. Кабельные и воздушные линии, входящие в электротехническую систему (ЭТС) угольной шахты, имеют активно-индуктивно-емкостное сопротивление [10–12].

Увеличение доли реактивной нагрузки в значительной степени повышает капитальные затраты на транспортировку электрической энергии с поверхности до конечных электропотребителей [13–15]. Это связано с дополнительными затратами на увеличение полной мощности понижающих подстанций, увеличением сечения кабельных линий и т.д. [16–18]. Снижение реактивной составляющей нагрузки осуществляется путем применения компенсирующих устройств в виде батарей статических конденсаторов (БСК), обладающих значительным емкостным сопротивлением и устанавливаемых на поверхности [19–21].

В ЭТС угольных шахт возможны случаи, когда алгебраическая сумма индуктивного и емкостного сопротивления оказывается равна нулю, т.е. ток в цепи и напряжение будут совпадать по фазе, а эквивалентное сопротивление цепи будет активным, – данное явление называется резонансом [22–24]. В отношении повышения уровня надежности потребителей электрической энергии резонансные режимы представляют значительную опасность, поэтому не должны допускаться [25–27]. Это обеспечивается применением в ЭТС антирезонансных дросселей (АРД), которые позволяют устранить резонансный контур на частотах высших гармонических составляющих (ВГС) [28–30]. При резонансных режимах в электрической сети происходит обмен энергией между индуктивностью и емкостью, при этом суммарная величина ее остается константой, т.е. активная составляющая нагрузки останется постоянной и не будет зависеть от величины индуктивности и емкости [31–33]. Согласно проведенным исследованиям в ЭТС угольных шахт применяются, как правило, 6-пульсные преобразовательные устройства, которые генерируют 5, 7, 11 и 13-ю гармоники, что подтверждается исследованиями в смежных областях [34–36].

Материалы и методы

Для исследования возможности возникновения резонансных режимов в ЭТС угольных шахт был применен метод имитационного моделирования в программном продукте *Matlab*, который позволяет создать имитационную модель и без рисков поломки оборудования провести соответствующие исследования.

На рис. 1 приведена схема замещения ЭТС с БСК и АРД для оценки возможности возникновения резонансных режимов. В схему входят: X_2 – приведенное реактивное (индуктивное) сопротивление обмотки трансформатора, электрической сети; R_2 – приведенное активное сопротивление обмотки трансформатора, электрической сети; X_3 – приведенное реактивное сопротивление (емкостное) электрической сети; X_1 – приведенное реактивное сопротивление (индуктивное) линейных и нелинейных потребителей; R_1 – приведенное активное сопротивление линейных и нелинейных потребителей; X_3 – приведенное реактивное сопротивление (емкостное) нелинейных потребителей; X_3 – реактивное сопротивление (емкостное) БСК; K_1 – ключ для подключения БСК; K_2 – ключ для подключения БСК с АРД.

Приведенная схема легла в основу создания имитационной модели ЭТС для оценки возможности возникновения резонансных режимов, приведенных на рис. 2.

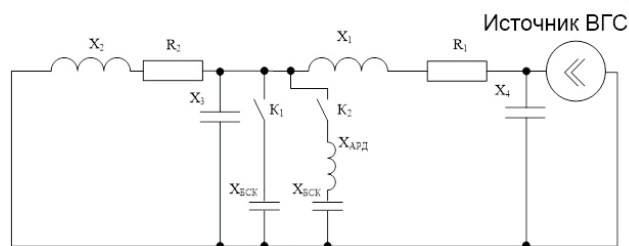


Рис. 1
Схема замещения системы электроснабжения с блоком статических конденсаторов и антирезонансным дросселем для оценки возможности возникновения резонансных явлений

Fig. 1
An equivalent circuit of the power supply system with a bank of power capacitors and a detuned reactor to assess the possibility of resonant phenomena

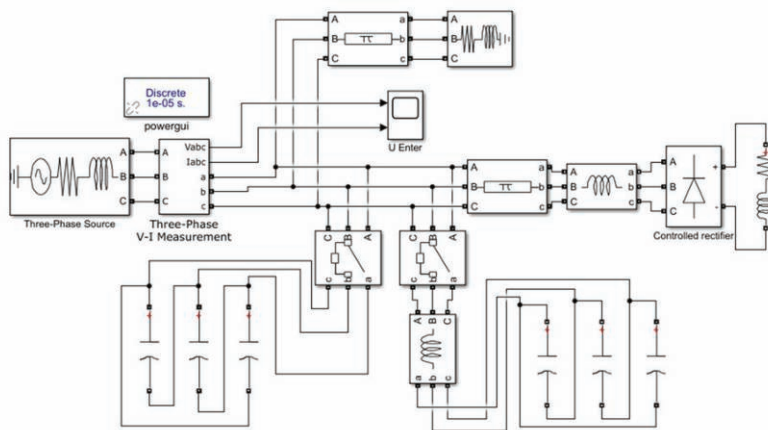


Рис. 2
Имитационная модель электротехнической системы для оценки возможности возникновения резонансных режимов

Fig. 2
Simulation model of an electrical system for assessing the possibility of resonant mode

В модель входят: источник напряжения, измеритель напряжения и тока, электрическая сеть до потребителей с линейной и нелинейной нагрузкой, электропотребители с линейной и нелинейной нагрузкой, коммутационные аппараты, блок статических конденсаторов, антирезонансный дроссель, осциллограф и блок измерения дополнительных параметров модели.

Результаты

В качестве примера на рис. 3 приведены результаты моделирования ЭТС с БСК: синусоида напряжения и тока с искажениями, гармонический состав и суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I . Параметры моделирования: $P_{\text{нн}} = 2500$ кВт; $P_{\text{лн}} = 1000$ кВт; $U = 6$ кВ; $C_{\text{БСК}} = 20$ мкФ. Результаты моделирования ЭТС с БСК показали значительные искажения формы кривой напряжения и тока: $K_U = 20,44$; $K_I = 34,55\%$. Осциллограммы напряжения и тока на источнике ЭТС с БСК подтверждают искажения формы кривой напряжения и тока. Анализ осциллограмм тока показал, что амплитудные значения имеют значительные колебания (пиковое значение тока оставляет 810 А), вызванные наличием емкостной составляющей нелинейной нагрузки в виде БСК.

На рис. 4 приведены результаты моделирования ЭТС с БСК и АРД: синусоида напряжения и тока с искажениями, гармонический состав и суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I . Параметры моделирования: $P_{\text{нн}} = 2500$ кВт; $P_{\text{лн}} = 1000$ кВт; $U = 6$ кВ; $C_{\text{БСК}} = 20$ мкФ; $L_{\text{АРД}} = 0,001$ Гн.

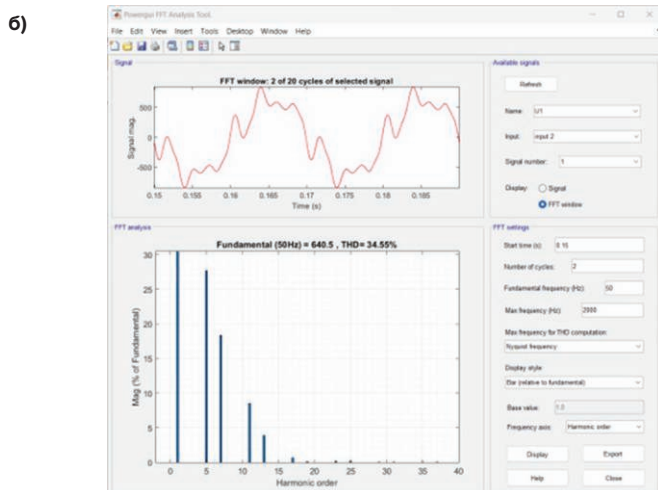
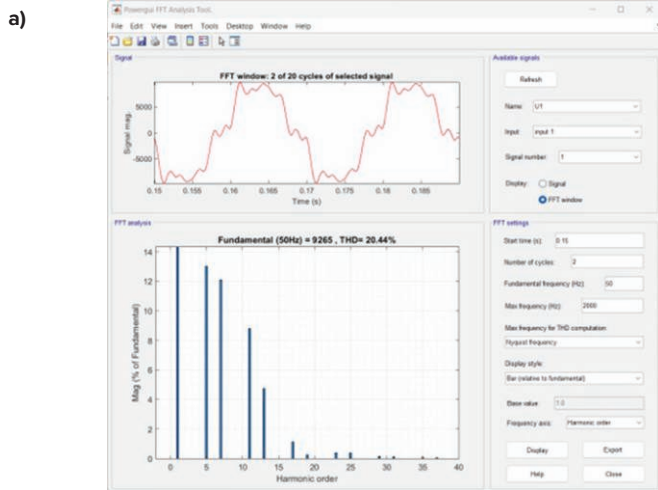


Рис. 3
Синусоиды с искажениями, гармонический состав, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I электротехнической системы с батареей статических конденсаторов

Fig. 3
Sine waves with distortions, harmonic composition, total coefficient of harmonic components of voltage (K_U) and current (K_I) of an electrical system with a bank of power capacitors

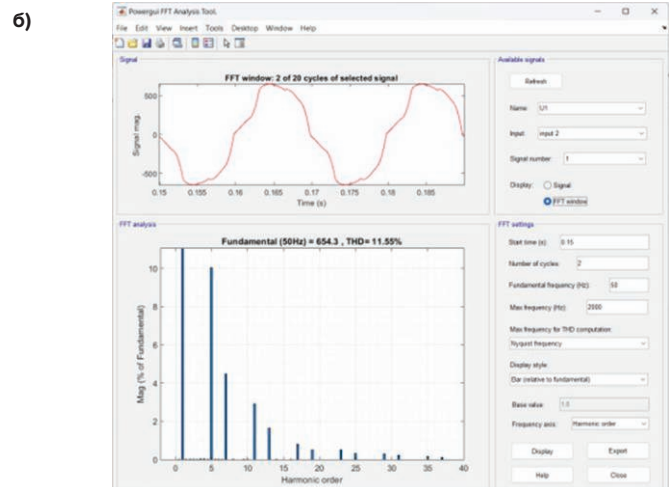
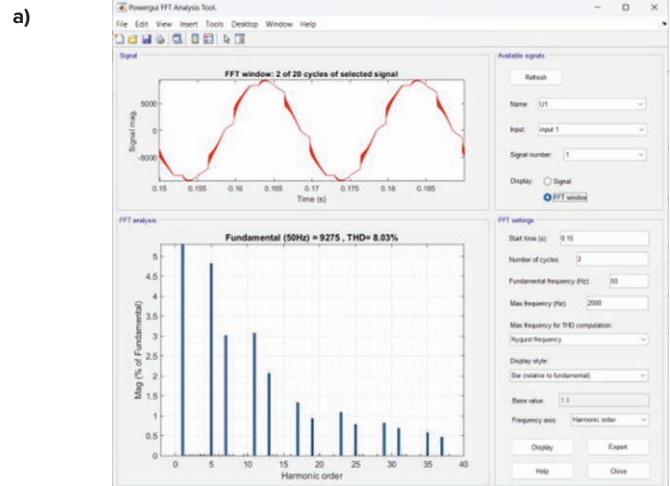


Рис. 4
Синусоида с искажениями, гармонический состав, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I электротехнической системы с батареей статических конденсаторов и антирезонансным дросселем

Fig. 4
A sine wave with distortions, harmonic composition, total coefficient of harmonic components of voltage (K_U) and current (K_I) of an electrical system with a bank of power capacitors and a detuned reactor

Результаты моделирования ЭТС с БСК и АРД показали снижение искажения формы кривой напряжения и тока. Так, уровень суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_U составляет 8,02%. Уровень суммарного коэффициента гармонических составляющих тока K_I составляет 11,55%. При этом применение АРД позволило снизить значение K_U на 12,42%, а значение K_I на 23%. Анализ осциллограмм тока подтвердил снижение искажения формы кривой до амплитудного значения равного 630 А. Проведенное исследование позволило определить суммарные коэффициенты гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I при различных уровнях индуктивности АРД и построить зависимости $K_U = f(L_{\text{АРД}})$ и $K_I = f(L_{\text{АРД}})$ для определения возможности резонансных явлений в СЭС, а также значения индуктивности АРД (рис. 5).

Гармонический состав, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I , форма кривой напряжения на нагрузке ЭТС с БСК и АРД (резонансный режим) в качестве примера приведены на рис. 6.

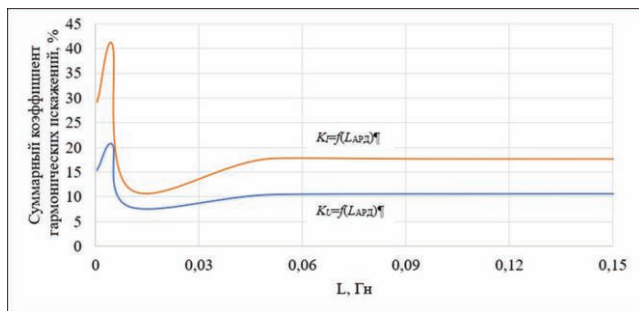


Рис. 5
Зависимости суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I при фиксированных значениях индуктивности антирезонансного дросселя $K_U = f(L_{APD})$, $K_I = f(L_{APD})$

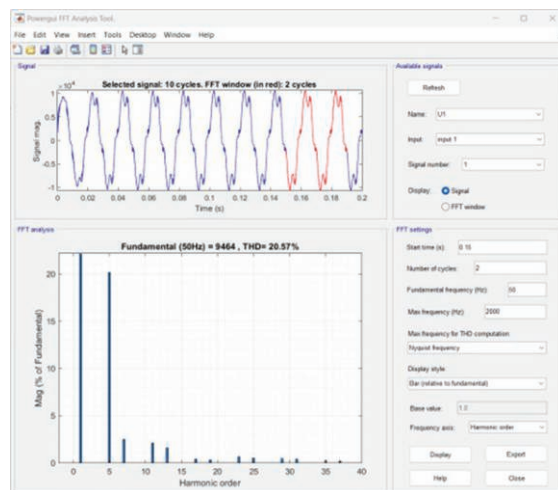
Fig. 5
Dependences of the total coefficients of harmonic components of voltage (K_U) and current (K_I) at fixed values of the detuned reactor inductance $K_U = f(L_{APD})$, $K_I = f(L_{APD})$

Анализ спектрограмм напряжения и тока показал, что резонансный режим произошел на 5-й гармонике, при этом суммарные коэффициенты гармонических составляющих: K_U увеличился до 20,57%, K_I увеличился до 40,76%. Осциллограммы напряжения и тока на источнике ЭТС с БСК и АРД (резонансный режим) подтверждают искажения формы кривой напряжения и тока, а амплитудные значения имеют значительные колебания (пиковое значение тока оставляет 990 А), вызванные резонансным режимом ЭТС с БСК и АРД, при этом амплитудные значения тока при нормальном режиме работы не превышают значений 630 А.

Закключение

Проведенное исследование позволило определить зависимости суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I при фиксированных значениях индуктивности антирезонансного дросселя $K_U = f(L_{APD})$ и $K_I = f(L_{APD})$ для установления уровня индуктивности АРД, а также оценить возможность возникновения резонансных режимов в ЭТС с линейной и нелинейной нагрузкой при наличии в ее составе БСК, что позволит повысить устойчивость ЭТС угольной шахты.

a)



b)

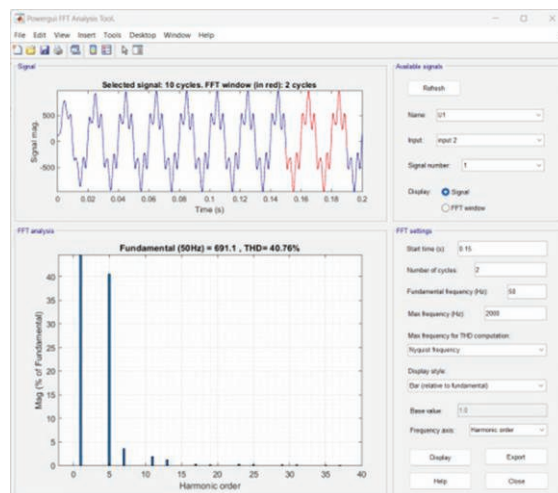


Рис. 6
Синусоида с искажениями, гармонический состав, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U и тока K_I электротехнической системы с батареей статических конденсаторов и антирезонансным дросселем (режим резонанса)

Fig. 6
A sine wave with distortions, harmonic composition, total coefficient of harmonic components of voltage (K_U) and current (K_I) of an electrical system with a bank of power capacitors and a detuned reactor (resonance mode)

Список литературы / References

1. Reshetnyak S.N., Zotov V.V., Kuziev D.A., Kozlova O.Yu. Enhancing performance efficiency of electric consumers within surface infrastructure of coal mines. *Eurasian Mining*. 2025;(1):100–104. <https://doi.org/10.17580/em.2025.01.20>
2. Решетняк С.Н., Решетняк М.Ю., Сапаров Р.Б., Искандаров Н.А., Кузиев Д.А. Повышение эффективности функционирования электротехнических систем угольных шахт. *Уголь*. 2026;(3):111–115. Режим доступа: <https://ugolinfo.ru/index.php?article=202603111> (дата обращения: 27.03.2026).
Reshetnyak S.N., Reshetnyak M.Yu., Saparov R.B., Iskandarov N.A., Kuziev D.A. Enhancing the efficiency of electrical systems in coal mines. *Ugol'*. 2026;(3):111–115. (In Russ.) Available at: <https://ugolinfo.ru/index.php?article=202603111> (accessed: 27.03.2026).



3. 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.: ИПКОН РАН; 2009. 395 с.
4. Babaei Z., Samet H., Serikov V.A. New power balance equations for modelling electric arc furnace. *IET Generation, Transmission and Distribution*. 2025;19(1):e70116. <https://doi.org/10.1049/gtd2.70116>
5. Zhang Z., Serikov V. Modeling of non-sinusoidal modes of operation of the power supply system at resonance. *E3S Web of Conferences*. 2023;470:01032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202347001032>
6. Abramovich B.N., Sychev Yu.A., Zimin R.Yu. Hybrid harmonic compensation device adapted for variable speed drive system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;87(3):032002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/3/032002>
7. Abramovich B.N., Sychev Yu.A. Shunt active correction system analysis in conditions of industrial enterprises networks. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016;11(4):2640–2645.
8. Samet H., Sadeghi R., Ghanbari T. Time-varying frequency model for electric arc furnaces. *IET Generation, Transmission & Distribution*. 2022;16(6):1122–1138. <https://doi.org/10.1049/gtd2.12355>
9. Yanchenko S., Kulikov A., Tsyruk S. Modeling harmonic amplification effects of modern household devices. *Electric Power Systems Research*. 2018;163:28–37. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.05.021>
10. Bulycheva E.A., Yanchenko S.A. Real-time harmonic identification under varying grid conditions. *Serbian Journal of Electrical Engineering*. 2021;18(1):29–48. <https://doi.org/10.2298/SJEE2101029B>
11. Tien D.L., Trung T.V., Anh S.D., Babyr N.V. Ground pressure and methods to enhance roof stability in mechanized coal mining. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2026;39(4):862–869. <https://doi.org/10.5829/ije.2026.39.04a.05>
12. Phuc L.Q., Linh N.K., Babyr N.V., Thang N.V. Stress environment and roof support needs for roadways ahead of the coal face: Case study from Ha Lam coal mine. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025;15(4):270–284. <https://doi.org/10.46698/o0885-5581-1938-j>
13. Zhilin E.V., Prasol D.A., Savvin N.Yu. Optimization of the structure of filter-compensating devices in networks with powerful non-linear power consumers based on fuzzy logic. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2022;12(6):5730–5737. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i6.pp5730-5737>
14. Averbukh M.A., Zhilin E.V. Optimization of coefficients specified with non-sinusoidal and non-symmetry feeding voltage in electrical supply systems in individual residential sector. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;1066:012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1066/1/012019>
15. Клюев Р.В. Разработки методики расчета качаний в электрической системе. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(3):1205–1213. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-1205-1213>
Klyuev R.V. Development of a methodology for calculating swings in an electrical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(3):1205–1213. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-1205-1213>
16. Клюев Р.В. Разработка методики планирования эксперимента для исследования параметров мельниц горно-обогатительного комбината. *Горная промышленность*. 2024;(5S):105–109. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-105-109>
Klyuev R.V. Development of a methodology for planning an experiment to study the parameters of mills at a mining and processing plant. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):105–109. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-105-109>
17. Карпенко С.М., Карпенко Н.В., Безгинов Г.Ю. Прогнозирование электропотребления на горнопромышленных предприятиях с использованием статистических методов. *Горная промышленность*. 2022;(1):82–88. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-82-88>
Karpenko S.M., Karpenko N.V., Bezginov G.Y. Forecasting of power consumption at mining enterprises using statistical methods. *Russian Mining Industry*. 2022;(1):82–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-82-88>
18. Petrochenkov A.B., Mishurinskikh S.V. Development of a method for optimizing power consumption of an electric driven centrifugal pump. In: *2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg, Moscow, 26–29 January 2021*. IEEE; 2021, pp. 1520–1524. <https://doi.org/10.1109/ElConRus51938.2021.9396730>
19. Cheremushkina M.S., Poddubniy D.A. Reducing the risk of fires in conveyor transport. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;50:012043. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/50/1/012043>
20. Lyakhomskii A., Petrochenkov A., Romodin A., Perfil'eva E., Mishurinskikh S., Kokorev A. et al. Assessment of the harmonics influence on the power consumption of an electric submersible pump installation. *Energies*. 2022;15(7):2409. <https://doi.org/10.3390/en15072409>



21. Morenov V., Buslaev G., Leusheva E., Lavrik A., Alikhanov N., Parsaei R. Assessing possibility of carbon dioxide injection into formations of oil and gas fields for geothermal energy production: a case study. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*. 2025;38(11):2486–2492. <https://doi.org/10.5829/ije.2025.38.11b.01>
22. Charafeddine K., Tsyruk S., Matiunina Yu. Integration on the consumer side to improve energy efficiency and power system reliability. In: *2025 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Magnitogorsk, 25–28 September 2025*. IEEE; 2025, pp. 101–106. <https://doi.org/10.1109/UralCon67204.2025.11206628>
23. Соснина Е.Н., Асабин А.А., Бедретдинов Р.Ш., Крюков Е.В., Гусев Д.А. Тиристорное вольтодобавочное устройство для снижения колебаний напряжения в системах электроснабжения горно-рудных предприятий. *Записки Горного института*. 2025;272:159–170. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16450> (дата обращения: 25.03.2026).
Sosnina E.N., Asabin A.A., Bedretdinov R.S., Kryukov E.V., Gusev D.A. Thyristor booster device for voltage fluctuation reduction in power supply systems of ore mining enterprises. *Journal of Mining Institute*. 2025;272:159–170. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16450> (accessed: 25.03.2026).
24. Nazarychev A., Tereshchenko I. Power quality disturbances and operating regimes as determinants of reliability and technical condition of industrial electrical equipment: a comprehensive review. *Energies*. 2026;19(11):2685. <https://doi.org/10.3390/en19112685>
25. Nazarychev A., Iliev I., Manukian D., Beloev H., Suslov K., Beloev I. Methodology for developing a maintenance action program for power units of captive power plants based on an integrated priority indicator. *Energies*. 2026;19(6):1584. <https://doi.org/10.3390/en19061584>
26. Avdeev B.A., Vyngra A.V., Chernyi S.G., Zhilenkov A.A., Degtyarev A., Mamunts D., Kustov A. Parametric correction in the control system of the electric propulsion of autonomous underwater vehicles affected by random inputs. *Discover Applied Sciences*. 2024;6(10):510. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06199-0>
27. Avdeev B., Vyngra A., Chernyi S. Improving the electricity quality by means of a single-phase solid-state transformer. *Designs*. 2020;4(3):35. <https://doi.org/10.3390/designs4030035>
28. Muratbakeev E., Kozhubaev Y., Novak D., Kuzmenko E., Yao Y. Research of control systems and predictive diagnostics of electric motors. *Symmetry*. 2025;17(5):751. <https://doi.org/10.3390/sym17050751>
29. Петров В.Л., Кузнецов Н.М. Энергетический комплекс добывающей отрасли Ямало-Ненецкого автономного округа. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(11):166–181. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_11_0_166
Petrov V.L., Kuznetsov N.M. The energy complex of the Yamalo-Nenets autonomous okrug. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(11):166–181. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_11_0_166
30. Фазылов И.Р., Гендлер С.Г., Прохорова Е.А. Особенности тепловых расчетов горных выработок в условиях искусственных температурных аномалий. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(2):86–100. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2/Фазылов_86-100.pdf (дата обращения: 25.03.2026).
Fazylov I. R., Gendler S. G., Prokhorova E. A. Peculiarities of thermal design of mine openings in case of induced temperature anomalies. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(2):86–100. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2/Фазылов_86-100.pdf (accessed: 25.03.2026).
31. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н., Кутепов А.Г. Анализ деятельности организаций угольной отрасли по обеспечению повышения энергоэффективности. *Уголь*. 2021;(4):32–36. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-4-32-36>
Lyakhomskii A.V., Perfil'eva E.N., Kutepov A.G. Analysis of the coal industry organizations activities on provision improve energy efficiency. *Ugol'*. 2021;(4):32–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-4-32-36>
32. Коржев А.А., Маларев В.И., Минакова Т.Е. Исследование схем измерительных автогенераторов для контроля влажности жидких нефтепродуктов диэлькометрическим методом. *Горный журнал*. 2025;(9):58–62. <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.09.07>
Korzhev A.A., Malarev V.I., Minakova T.E. Measuring self-oscillator circuits for oil humidity control using dielcometric method. *Gornyi Zhurnal*. 2025;(9):58–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.09.07>
33. Подаревский Р.Д., Меркулов М.В., Кормес А.А., Адамова Л.С. Повышение энергоэффективности горного производства в условиях севера за счет теплоэнергетических комплексов с утилизацией вторичных энергоресурсов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(6):145–158. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/6/06_2026_145-158.pdf (дата обращения: 25.03.2026).
Podarevsky R.D., Merkulov M.V., Kormes A.A., Adamova L.S. Enhancement of energy efficiency of mining industry in the North owing to heat energy facilities with recycling of secondary energy resources. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(6):145–158. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/6/06_2026_145-158.pdf (accessed: 25.03.2026).



34. Дмитриева В.В., Аринич А.Э., Кравченко В.А., Сизин П.Е. Виртуальный стенд релейной защиты и автоматики систем электроснабжения и электроустановок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(5):95–109. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/5/05_2026_95-109.pdf (дата обращения: 25.03.2026).
Dmitrieva V.V., Arinich A.E., Kravchenko V.A., Sizin P.E. Virtual lab-scale simulator of relay protection and automation for power supply systems and electrical installations. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(5):95–109. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/5/05_2026_95-109.pdf (accessed: 25.03.2026).
35. Карпенко С.М., Карпенко Н.В., Ематин Е.А., Абелянц У.В. Статистический анализ и прогнозное моделирование электропотребления экскаваторов и участков угольного разреза. *Уголь*. 2024;(3):79–86. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-3-79-86>
Karpenko S.M., Karpenko N.V., Ematin E.A., Abelyants U.V. Statistical analysis and predictive modelling of electric power consumption of excavators and sites of a coal strip mine. *Ugol'*. 2024;(3):79–86. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-3-79-86>
36. Rao K.V.G., Kumar M.K. The harmonic reduction techniques in shunt active power filter when integrated with non-conventional energy sources. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2022;25(3):1236–1245. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v25.i3.pp1236-1245>

Информация об авторах

Плащанский Леонид Александрович – кандидат технических наук, профессор кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

Решетняк Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; старший научный сотрудник лаборатории геотехнологических рисков при освоении газоносных угольных и рудных месторождений, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-6982-5583>; e-mail: reshetniak@inbox.ru

Решетняк Мария Юрьевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

Жуковский Юрий Леонидович – доктор технических наук, заведующий кафедрой электроэнергетики и электромеханики, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-0312-0019>

Грачева Софья Сергеевна – студент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

Information about the authors

Leonid A. Plashchanskiy – Cand. Sci. (Eng.), Professor at the Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

Sergey N. Reshetnyak – Dr. Sci. (Eng.), Professor at the Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; Senior Research Associate, Laboratory of Geotechnological Risks in Mining of Gas-Bearing Coal and Ore Fields, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-6982-5583>; e-mail: reshetniak@inbox.ru

Maria Y. Reshetnyak – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

Yuriy L. Zhukovskiy – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Electric Power and Electromechanics, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-0312-0019>

Sofya S. Gracheva – Student of the Department of Mining Equipment, Transport and Mechanical Engineering, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

Article info

Received: 03.06.2026

Revised: 29.07.2026

Accepted: 03.08.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.06.2026

Поступила после рецензирования: 29.07.2026

Принята к публикации: 03.08.2026