

УДК 622:621.395.66 © С.Н. Решетняк<sup>1,2</sup>, М.Ю. Решетняк<sup>2</sup>, Р.Б. Сапаров<sup>2</sup>, Н.А. Искандяров<sup>2</sup>, Д.А. Кузиев<sup>✉2</sup>, 2026

UUDC 622:621.395.66 © S.N. Reshetnyak<sup>1,2</sup>, M.Yu. Reshetnyak<sup>2</sup>, R.B. Saparov<sup>2</sup>, N.A. Iskandyarov<sup>2</sup>, D.A. Kuziev<sup>✉2</sup>, 2026

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН», 111020, г. Москва, Россия

<sup>1</sup> Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, 111020, Russian Federation

<sup>2</sup> НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

✉ e-mail: da.kuziev@misis.ru

✉ e-mail: da.kuziev@misis.ru

# Повышение эффективности функционирования электротехнических систем угольных шахт

## Enhancing the efficiency of electrical systems in coal mines

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-3-111-115>

В публикации представлены результаты исследования по повышению показателей качества электроэнергии в электротехнических системах угольных шахт. Для проведения исследования система электроснабжения угольной шахты была декомпозитирована на отдельные электротехнические системы. В качестве инструмента использовался программный продукт Matlab, в котором построена имитационная модель электротехнической системы выемочного участка угольной шахты. В результате исследований обосновано использование для электротехнической системы выемочного участка комбинированного фильтра высших гармоник, который позволит повысить уровень показателей качества электроэнергии до требуемых значений.

**Ключевые слова:** угольная шахта, система электроснабжения, электротехническая система, высшие гармонические составляющие, показатели качества электроэнергии, эффективность функционирования, моделирование, выемочный участок.

**Для цитирования:** Повышение эффективности функционирования электротехнических систем угольных шахт / С.Н. Решетняк, М.Ю. Решетняк, Р.Б. Сапаров и др. // Уголь. 2026;(3):111-115. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-3-111-115.

### Abstract

This paper discusses the results of research on improving the quality of electrical power in electrical systems of coal mines. For the purposes of the study, the power supply system of a coal mine was decomposed into separate electrical systems. The Matlab software suite was used as a tool to build a simulation model of the electrical system for a mining block in the coal mine.

The research results justify the use of a combination filter of higher-order harmonics in the mining block's electrical system, which will improve the power quality indicators to meet the required values.

### Keywords

Coal mine, power supply system, electrical system, higher-order harmonics, power quality indicators, operational efficiency, simulation, mining block.

### РЕШЕТНЯК С.Н.

Канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории 2.2 «Геотехнологических рисков при освоении газоносных угольных и рудных месторождений» ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН», 111020, г. Москва, Россия, доцент кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия, e-mail: reshetniak@inbox.ru

### РЕШЕТНЯК М.Ю.

Канд. техн. наук, старший преподаватель Кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия

### САПАРОВ Р.Б.

Аспирант Кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия, e-mail: rejepsaparov@inbox.ru

**ИСКАНДЯРОВ Н.А.***Аспирант**Кафедры горного оборудования,  
транспорта и машиностроения  
НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: super.iskandyarov@mail.ru***КУЗИЕВ Д.А.***Канд. техн. наук, доцент,**доцент Кафедры горного оборудования,  
транспорта и машиностроения  
НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: da.kuziev@misis.ru***For citation**

Reshetnyak S.N., Reshetnyak M.Yu., Saparov R.B., Iskandyarov N.A., Kuziev D.A. Enhancing the efficiency of electrical systems in coal mines. *Ugol'*. 2026;(3): 111-115. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-3-111-115.

**ВВЕДЕНИЕ**

Развитие добычи угля подземным способом вызвало необходимость внедрения новых технологических схем, которые потребовали современных технических средств их реализации путем увеличения мощности выемочной, подготовительной и транспортной техники, систем управления, защиты и информатизации [1, 2].

Электроэнергия составляет до 70-80% в энергетическом балансе угольных шахт. Широкое применение технологического оборудования с использованием регулируемых систем управления электроприводами на основе преобразовательных устройств вносит значительные искажения в питающую сеть посредством генерации высших гармонических составляющих (ВГС) напряжения и тока. Это, в свою очередь, приводит к ложным срабатываниям защит, нарушению режимов работы, простоям технологического оборудования, снижению его производительности. Вместе с этим сокращается срок службы электрооборудования, кабельных линий за счет интенсивного старения изоляции, и, как следствие, повышается вероятность аварий, что является недопустимым, особенно в условиях угольных шахт, опасных по внезапным выбросам газа и пыли [3, 4, 5].

По проблеме влияния ВГС электрической энергии на эффективность работы оборудования выполнено значительное число исследований, в частности, рассмотрены электромагнитные процессы, возникающие при этом помехи и возможности снижения их влияния на электрическую сеть в условиях общепромышленных предприятий, рассмотрен ряд аспектов в области исследований качества электрической энергии [6, 7, 8]. Вместе с тем недостаточно исследований режимов генерирования и снижения негативного влияния высших гармонических составляющих в электротехнических системах угольных шахт. При всей своей общности процессов технического и экономического характера система электроснабжения угольной шахты обладает специфическими качествами, связанными с высокой пространственно-временной динамичностью, близостью электрооборудования к технологическим зонам, значительной интенсивностью использования оборудования, неоднородностью, неопределенностью производственных процессов, сложностью и интенсивным воздействием внешней окружающей среды [10, 11].

Интенсификация добычи угля обусловлена увеличением технологического оборудования с использованием регулируемых систем управления электроприводами на основе преобразовательных устройств, вносит значительные искажения в питающую сеть посредством генерации высших гармонических составляющих напряжения и тока, при этом отсутствуют исследования, связанные с влиянием генерации высших гармонических составляющих напряжения и тока потребителей поверхности угольной шахты с преобразовательной нагрузкой на подземные потребители.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Для повышения уровня показателей качества электроэнергии (ПКЭ) применяют специальные устройства ФКУ (фильтрокомпенсирующие устройства), симметрирующие устройства, а также разнообразные их комбинации. Специальные устройства, повышающие уровень показателей качества электрической энергии, не являются унифицированными. При выборе устройств необходимо руководствоваться следующими субъективными факторами: иметь представление о причинах возникновения электромагнитных помех (высших гармоник напряжения и

тока), а также спектральный анализ этих помех; знать местоположения источников электромагнитных помех в схеме электроснабжения, а также мощности системы в точках подключения источников электромагнитных помех; иметь представление о наличии в системе электроснабжения других, ранее установленных специализированных средств повышения качества электрической энергии; учитывать влияние источников электромагнитных помех на ряд других потребителей электрической энергии, расположенных в непосредственной близости от источника и питающихся от одного фидера; знать частотные характеристики системы электроснабжения, с целью недопущения появления резонансных явлений на частотах, генерируемых источниками электромагнитных помех [12, 13, 14, 15].

Оценку качества электрической энергии следует производить, определяя степень соответствия параметров электрической энергии (напряжения, частоты, формы кривой электрического тока и т.д.) установленным значениям. Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости, характеризующей электромагнитную среду. Параметры качества электрической энергии являются динамическими величинами и зависят от многих внешних факторов, таких как изменение нагрузки энергосистемы, возникновение аварийных режимов в сети, изменение горно-геологических условий месторождения и т.д.

В настоящее время, в специфических условиях подземных горных работ, в том числе и угольных шахт, опасных по внезапным выбросам газа и пыли, устройства по повышению качества электроэнергии не используются ввиду фактического отсутствия ФКУ во взрывозащищенном исполнении. Однако исследования по разработке данных устройств для подземных электротехнических систем угольных шахт подтверждают актуальность и значимость этой научной проблемы [16].

Имитационная модель ЭТС выемочного участка угольной шахты для исследования возможности ограничения уровня ВГС с применением ФКУ (рис. 1) состоит из: трехфазного программируемого источника переменного напряжения, с помощью которого задается напряжение, поступающее на выемочный участок (*3-Phase Source*); трехфазных универсальных измерителей (*Three-Phase V-I Measurement*), которые позволяют оценить формы сигнала на источнике и в ключевых точках ЭТС выемочного участка; осциллографов *Scope*; анализаторов  $K_U$ ; системы *Powergui*, служащей для дополнительного анализа, в том числе по гармоническому составу имитационной модели. В имитационной модели также присутствует ряд элементов устройства повышения качества электроэнер-

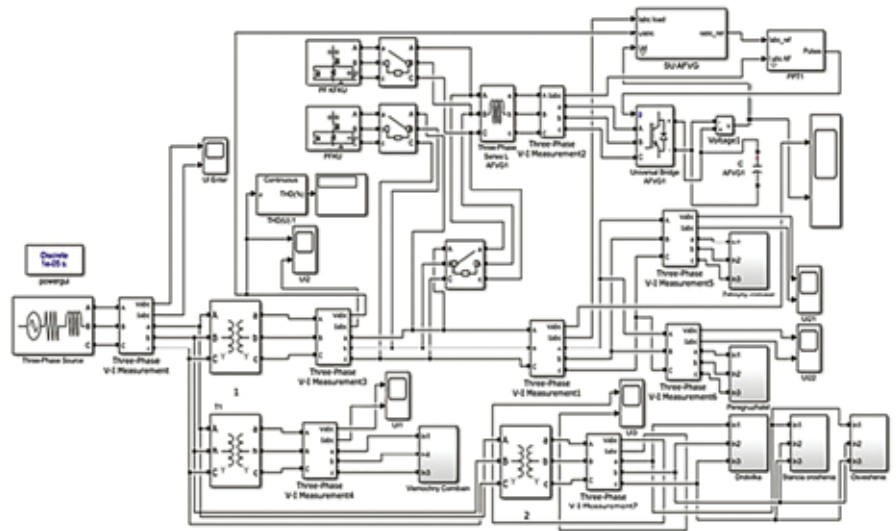


Рис. 1. Имитационная модель электротехнической системы выемочного участка угольной шахты для исследования возможности ограничения уровня высших гармонических составляющих с применением фильтрокомпенсирующих устройств

Fig. 1. Simulation model of the electrical engineering system of a coal mine excavation site to study the possibility of limiting the level of higher harmonic components using filter compensating devices

гии: пассивный ФКУ с соединением элементов в треугольник, настроенный на подавление 5 и 7 гармоник; АФВГ: *Three-Phase Series AFVG* – вводной дроссель АФВГ; *Universal Bridge AFVG* – активный выпрямитель выполнен на 6 IGBT, соединенных по трехфазной мостовой схеме; *CAFGV* – емкостной накопитель АФВГ; комбинированное фильтрокомпенсирующее устройство (КФКУ), состоящее из пассивного ФКУ и АФВГ.

При моделировании принято допущение, что сопротивлением коммутационных аппаратов, соединительных проводников внутри электрооборудования можно пренебречь.

Имитационная модель ЭТС выемочного участка позволяет определять ПКЭ в подземных электрических сетях угольных шахт при использовании различных видов ФКУ (ПФКУ, АФВГ, КФКУ).

Моделирование режимов генерирования ВГС показало, что применение ПФКУ для повышения ПКЭ в ЭТС выемочного участка обуславливает отклонение уровня питающего напряжения выше допустимого по ГОСТ 32144-2013 значения. Применение АФВГ для повышения ПКЭ в ЭТС выемочного участка не обеспечивает требуемого согласно ГОСТ 32144-2013 значения при уровне мощности нелинейной нагрузки выше 250 кВт.

Применение КФКУ для повышения ПКЭ в ЭТС выемочного участка обеспечивает повышение ПКЭ, при этом уровень напряжения находится в допустимом диапазоне  $1140 \pm 10\%$  В.

С учетом того, что по ГОСТ 32144-2013 суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения ( $K_U$ ) для электрических сетей напряжения 6 кВ не должен превышать 5%, а для электрических сетей напряжением 0,4 кВ – 8%, для электрических сетей с напряжением 1,14 кВ при линейной итерации значение  $K_U$  может быть 6,1%.

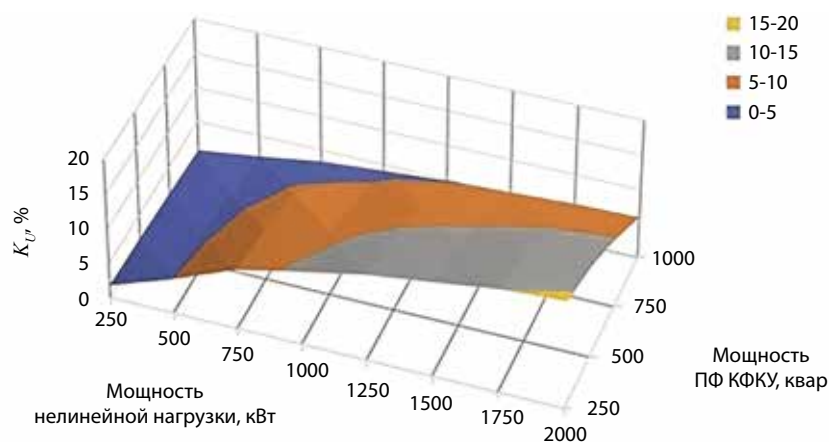
При моделировании режимов генерирования ВГС в подземных участковых ЭТС с применением комбинированного ФКУ получена зависимость суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения  $K_U$  на вторичной обмотке понижительной подстанции энергопоезда, питающей забойный конвейер и перегружатель, от мощностей нелинейной нагрузки и пассивного фильтра (ПФ) КФКУ в виде поверхности в трехмерном пространстве, которая приведена на *рис. 2*.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования разработана имитационная модель системы электроснабжения высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты с фильтрами высших гармоник (пассивным, активным и комбинированным). Доказана эффективность функционирования комбинированного ФКУ в условиях ЭТС выемочного участка. Установлена зависимость суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения ( $K_U$ ) с учетом мощностей нелинейной нагрузки ( $P_{н.н.}$ ) и пассивного фильтра комбинированного ФКУ ( $Q_{ф.к.у.}$ ).

### Список литературы • References

1. Проблемы обеспечения высокой производительности очистных забоев в метанообильных шахтах / А.Д. Рубан, В.Б. Артемьев, В.С. Забурдяев и др. М.: Издательство ООО «Московский издательский дом», 2009. 396 с.
2. Разработка мероприятий по совершенствованию вращательно-падающего механизма бурового станка / Р.О. Муминов, А.Н. Рузibaев, Н.Н. Жураев и др. // Уголь. 2024;(1):94-99. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-94-99.  
Muminov R.O., Ruzibaev A.N., Juraev N.N., Ravshanov J.R., Kuziev D.A. Development of measures to enhance the rotation and feed mechanism of a drill rig. *Ugol'*. 2024;(1):94-99. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-94-99.
3. Reshetnyak S., Zotov V., Kuziev D., Kozlova O. Enhancing performance efficiency of electric consumers within surface infrastructure of coal mines. *Eurasian mining*. 2025;(1):100-104. DOI: 10.17580/em.2025.01.20.
4. Декомпозиционный анализ системы электроснабжения угольных шахт для оценки генерации высших гармоник технологическим оборудованием поверхностного комплекса / С.Н. Решетняк, В.В. Зотов, Д.С. Сучко и др. // Уголь. 2025;(1):93-99. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-1-93-99.  
Reshetnyak S.N., Zotov V.V., Suchko D.S., Mustafaev S.V. Decomposition analysis of coal mine power supply system to evaluate the higher harmonic components generated by the process equipment of the surface complex. *Ugol'*. 2025;(1):93-99. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-1-93-99.
5. Serikov V.A., Kostin V.N., Sychev Yu.A., Samet H. Evaluation method of power quality in mine supply systems with high-powered high-voltage variable frequency drives. *MIAB*. 2024;(12):162-177. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2024\\_12\\_0\\_162](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_12_0_162).



*Рис. 2. Геометрическая интерпретация зависимости суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения ( $K_U$ ) от мощностей нелинейной нагрузки ( $P_{н.н.}$ ) и пассивного фильтра комбинированного фильтрокомпенсирующего устройства ( $Q_{пф\ кфку}$ )*

*Fig. 2. Geometric interpretation of the dependence of the total coefficient of harmonic voltage components on the power of the nonlinear load and the passive filter of the combined filter compensating device*

6. 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/gtd.2.70116>.
7. Abramovich B.N., Sychev Yu.A., Kuznetsov P.A., Zimin R. Efficiency Estimation of Hybrid Electrotechnical Complex for Non-Sinusoidal Signals Level Correction in Autonomous Power Supply Systems for Oil Fields. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018;194(5):052001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/5/052001>.
8. Abramovich B.N., Sychev Yu.A., Zimin R.Y. 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>.
9. 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.
10. Булдыско А.Д., Жуковский Ю.Л. Комплекс программных сервисов для управления эффективностью эксплуатации электрического привода горно-транспортного комплекса // Горная промышленность. 2025;(15):41-46. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-15-41-46>.  
Buldysko A.D., Zhukovsky Yu.L. A set of software services for managing the efficiency of operation of an electric drive of a mining and transport complex. *Mining industry*. 2025;(15):41-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-15-41-46>.
11. Жуковский Ю.Л., Сусликов П.К. Идентификация и классификация электрической нагрузки горных предприятий на основе методов декомпозиции сигналов // Записки Горного института. 2025;(275):5-17.  
Zhukovsky Yu.L., Suslikov P.K. Identification and classification of the electrical load of mining enterprises based on signal decomposition methods. *Notes of the Mining Institute*. 2025;(275):5-17. (In Russ.).
12. Thuyen C.M. Improved p-q harmonic detection method for hybrid active power filter. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2018;8(5):2910-2919. DOI: 10.11591/ijece.v8i5.pp2910-2919.

13. 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. DOI: 10.11591/ijeecs.v25.i3.pp1236-1245.
14. Bulycheva E.A., Yanchenko S.A. Real-time harmonic identification under varying grid conditions. *Serbian Journal of Electrical Engineering*. 2021;18(1):29-48.
15. Rao N.S., Rao P.V.R. Novel multi-device unified power quality conditioner for power quality improvement. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*. 2022;13(1):390-400. DOI: 10.11591/ijpeds.v13.i1.pp390-400.
16. Плащанский Л.А., Решетняк С.Н., Решетняк М.Ю. Повышение качества электрической энергии в подземных электрических сетях высокопроизводительных угольных шахт // Горные науки и технологии. 2022;7(1):66-77. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-1-66-77>.
- Platschansky L.A., Reshetnyak S.N., Reshetnyak M.Yu. Improving the quality of electric energy in underground electric networks of high-performance coal mines. *Mining Sciences and Technologies*. 2022;7(1):66-77. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-1-66-77>.

#### Authors Information

**Reshetnyak S.N.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory No. 2.2 'Geotechnological risks in mining of gas-bearing coal and ore fields', Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, 111020, Russian Federation, Associate Professor, Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry, National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: reshetniak@inbox.ru

**Reshetnyak M.Yu.** – PhD (Engineering), Senior Lecturer, Department of Energy and Energy Efficiency in the Mining Industry, National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

**Saparov R.B.** – Postgraduate Student, Department of Mining Equipment, Transport and Mechanical Engineering, National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: rejepsaparov@inbox.ru

**Iskandaryarov N.A.** – Postgraduate Student, Department of Mining Equipment, Transport and Mechanical Engineering, National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: super.iskandaryarov@mail.ru

**Kuziev D.A.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Departments of Mining Equipment, Transport and Mechanical Engineering, National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: da.kuziev@misis.ru

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.01.2026

Поступила после рецензирования: 17.02.2026

Принята к публикации: 27.02.2026

#### Paper info

Received January 24, 2026

Reviewed February 17, 2026

Accepted February 27, 2026



## ЕМО будет доставлять уголь и продовольствие для компаний Чукотки

**ТАСС. Единый морской оператор (ЕМО) в 2026 г. возьмет на себя доставку нефтепродуктов и продовольствия для муниципальных компаний Чукотского АО, сообщил ТАСС руководитель окружного Департамента промышленной политики Ярослав Мамонов.**

«В 2026 г. взаимодействие Правительства Чукотки с группой компаний «Росатом» выходит на новый уровень. С учетом полученных результатов достигнуто соглашение о расширении функционала единого морского оператора. Опираясь на результаты прошлого года, мы расширяем взаимодействие с ЕМО. Теперь единый морской оператор задействован в северном завозе по всем ключевым направлениям. Губернатор Владислав Кузнецов выступил компетентным стратегом, способным находить точки соприкосновения с федеральными игроками для качественного улучшения, расширения и стабилизации механизмов северного завоза», – сказал **Ярослав Мамонов**.

В предстоящую навигацию ЕМО обеспечит доставку грузов по трем направлениям: нефтепродукты – по аналогии с 2025 г., объемы будут доставлены в полном объеме с сохранением надежной схемы поставок; продовольствие – к завозу через ЕМО подключаются муниципальные торговые предприятия: Билибинская и Чаунская торговые компании; уголь – весь объем будет доставлен через единого морского оператора, включая доставку в отдаленные села с выгрузкой на необорудованный берег.

Муниципалитеты актуализируют потребности в грузах, а правительство округа совместно с ЕМО приступит к проработке логистических схем доставки угля, включая самые сложные участки на необорудованном берегу и завоза продовольствия. На Чукотке нет железных дорог, вся продукция и грузы доставляются в регион по морю или по воздуху во время летней навигации.

Источник фото: Госкорпорация «Росатом»