

## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПОДЗЕМНЫХ СЕТЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

А.В. Ляхомский<sup>1</sup>, Л.А. Плащанский<sup>1</sup>, С.Н. Решетняк<sup>1</sup>, М.Ю. Решетняк<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: reshetniak@inbox.ru

**Аннотация:** Широкое внедрение преобразовательных устройств в комплекс оборудования высокопроизводительных угольных шахт выявило ряд особенностей, которые необходимо учитывать для оценки его эффективной работы. Одной из них является система электроснабжения, структуру которой необходимо скорректировать путем создания вместо единого распределительного пункта или энергопоезда нескольких распределительных пунктов, каждый из которых обеспечивает электроэнергией определенную энергоемкую группу потребителей, соединённых в единую логически связанную систему. Следует отметить, что наличие преобразовательных устройств в системе электроснабжения приводит к снижению качества электрической энергии. Вопросам повышения качества электрической энергии на угольных шахтах уделяется достаточно мало внимания, это обусловлено отсутствием анализаторов качества электрической энергии, способных работать в специфических условиях подземных горных выработок, особенно опасных по внезапным выбросам газа и пыли. Для оценки влияния преобразовательных устройств на питающую сеть и корректировки показателей, оценивающих это влияние, предлагается использовать устройство автоматизированного мониторинга качества электрической энергии в подземных сетях угольных шахт. Представленное в публикации устройство, на которое получен патент, позволяет осуществлять автоматизированный мониторинг показателей качества энергии; производить учет фактического коэффициента мощности, повышая его до нормативного значения, обеспечивая тем самым эффективную работу подземных потребителей угольных шахт.

**Ключевые слова:** угольная шахта, система электроснабжения, качество электрической энергии, автоматизированная система контроля качества электрической энергии, гармонический состав сети, подземные электрические сети, компенсация реактивной мощности, электромагнитная совместимость.

**Для цитирования:** Ляхомский А. В., Плащанский Л. А., Решетняк С. Н., Решетняк М. Ю. Разработка высоковольтного устройства автоматизированного мониторинга качества электрической энергии в подземных сетях угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 7. – С. 207–213. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-207-213.

### High-voltage unit for automated monitoring of electrical energy quality in underground networks of coal mines

A.V. Lyakhomskiy<sup>1</sup>, L.A. Plashchansky<sup>1</sup>, S.N. Reshetnyak<sup>1</sup>, M.Yu. Reshetnyak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS»,  
119049, Moscow, Russia, e-mail: reshetniak@inbox.ru

---

**Abstract:** Widespread introduction of converters in equipment systems of highly productive coal mines reveals some features to be taken into account in performance evaluation. One of such features is the power supply system which should be restructured by means of replacing a common distribution center or a power train by several distribution centers to supply individual power-hungry groups of consumers integrated into a single coherent system. Inclusion of converters in power systems reduces quality of electrical energy. Coal mines pay low attention to the improvement of the electrical energy quality. There are no electrical energy quality analyzers capable to operate in specific conditions of underground mines, especially in case of high hazard of gas and dust outbursts. For estimating effect of converters on the supply mains performance and to adjust the effect indicators, it is proposed to use the developed unit for automated monitoring of electrical energy quality in underground networks of coal mines. The patented unit described in this article enables automated monitoring of the electrical energy quality indexes and elevating actual power factor to a standard value if required, which ensures efficient operation of underground consumers in coal mines.

**Key words:** coal mine, power system, electrical energy quality, automated electrical energy quality control, harmonic composition of network, underground electric mains, wattless power compensation, electromagnetic compatibility.

**For citation:** Lyakhomskiy A. V., Plashchansky L. A., Reshetnyak S. N., Reshetnyak M. Yu. High-voltage unit for automated monitoring of electrical energy quality in underground networks of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(7):207-213. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-207-213.

---

## Введение

Угольная промышленность России развивается достаточно динамично, чему способствует принятая Правительством Российской Федерации долгосрочная Программа развития угольной отрасли России на период до 2030 года (Распоряжение Председателя Правительства Российской Федерации Д.А. Медведева № 1099-р от 21 июня 2014 года). Целью Программы является стабильное развитие внутренних и внешних рынков угля. Однако для повышения конкурентоспособности угля необходимо снижение себестоимости добычи угля, которое может быть обеспечено путем принятия современных энергоэффективных технологических решений [1, 2]. Несмотря на то, что в 2107 г. доля добытого угля открытым способом достигла 74,2 % от общей доли добычи, добыча угля подземным способом также растет. Согласно докладу [3] добыча угля подземным способом в 2017 г. выросла на 5,7% относительно 2016 г., а относительно 2011 г. выросла

на 22%. Рост добычи угля подземным способом неразрывно связан с повышением уровня энергетической эффективности с целью снижения себестоимости добычи.

Основной энергетический ресурс угольных шахт, а на ряде угольных шахт и единственный, который непосредственно расходуется на выемку угля, является электрическая энергия [4, 5]. Следует отметить, что интенсификация проходческих и выемочных работ приводит к увеличению доли технологического оборудования, в состав которого входят элементы преобразовательной техники. Использование данного оборудования выявило ряд специфических особенностей негативного влияния на качество электрической энергии (напряжение, частоту, форму кривой электрического тока и т.д.). Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости, характеризующей электромагнитную среду [6]. При этом необходимо учитывать что, параметры

качества электрической энергии являются динамичными величинами и зависят от многих внешних факторов (изменение нагрузки энергосистемы, возникновение аварийных режимов в сети и др.).

Снижение качества электрической энергии в подземных электрических сетях угольных шахт может привести к нарушению номинальных режимов работы основного технологического оборудования, что приведет к снижению производительности, сокращению сроков службы за счет нарушения изоляции как следствие повышения уровня вероятности аварий, в связи с чем разработка устройства, способного осуществлять автоматизированный мониторинг качества электрической энергии в подземных сетях угольных шахт является весьма актуальным.

### **Основная часть**

В силу специфических условий эксплуатации подземных электрических сетей, вопросам качества электрической энергии не уделяется достаточно большое внимание, однако значительный рост мощностей подземных потребителей, а также значительное число преобразовательных устройств, служащих для регулирования скоростей вращения электроприводов различных механизмов, дают предпосылку для повышения уровня качества электрической энергии в этих сетях. Следует отметить, что рядом зарубежных и отечественных авторов ведутся исследования по выявлению влияния высших гармоник на качественные показатели электроэнергии в подземных электрических сетях шахт и рудников [7–9]. Однако все эти исследования сводятся к анализу коэффициентов мощности подземного оборудования и его повышения до приемлемых значений или исследованию гармонического состава сети поверхностных комплексов алмазодобывающих рудников [10, 11]. В ряде публикаций проводятся исследования па-

раметров качества электрической энергии горнодобывающих предприятия, однако все эти исследования были проведены на предприятиях, добывающих полезное ископаемое открытым способом [12–14] и применение результатов этих исследований в условиях подземных горных работ не представляется возможным. Это обусловлено значительными отличиями горного оборудования для подземной добычи, отличием технологических операций добычи и систем транспортировки энергоресурсов в подземных условиях, а также значительным отличием аэрологической обстановки внутри горных выработок и контролем за ней.

Современное развитие преобразовательной техники и, как правило, внедрение ее в состав электромеханических систем, позволило значительно расширить диапазон режимов работы технологического оборудования в подземных горных выработках. Однако применение частотно-регулируемого электропривода и электродвигателей постоянного тока требует использование преобразовательных и выпрямительных устройств, которые являясь нелинейной нагрузкой, требуют повышенного потребления реактивной энергии, в значительной степени ухудшающих параметры качества электрической энергии в подземных электрических сетях. В связи с этим возникает задача выявления влияния высших гармоник на устойчивость работы подземной электрической сети, качественного и количественного состава этих гармоник, возможности снижения их уровня и устранения.

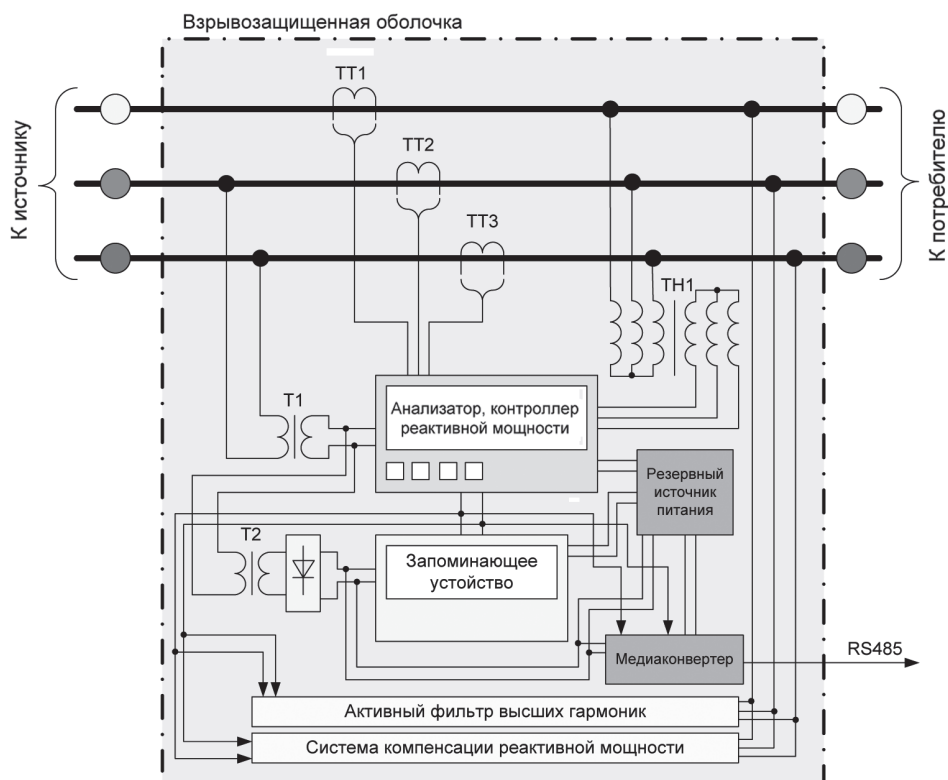
В настоящее время ведется ряд исследований по снижению негативного влияния преобразовательной техники на питающую сеть с помощью активных фильтров высших гармоник [14, 16], а также повышению параметров электромагнитной совместимости в электрических машинах [17]. Однако в силу спе-

цифических условий угольных шахт, опасных по внезапным выбросам газа и пыли, использование результатов исследований весьма затруднительно. Это объясняется тем, что общепромышленные устройства (анализаторы качества электрической энергии) для измерения показателей качества электрической энергии требуют непосредственного присоединения (электрического контакта) с питающей сетью подземных потребителей, что недопустимо согласно «Правил безопасности в угольных шахтах».

Решению этой научно-прикладной задачи способствует разработанное и запатентованное кафедрой «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ «МИСиС» устройство автоматизированного мониторинга качества

электрической энергии. Устройство предназначено для работы в сетях напряжением выше 1 кВ (1140 В, 3300 В) в среде, опасной по внезапным выбросам газа и пыли [18]. На рисунке представлена структурная схема данного устройства.

Предлагаемое переносное устройство во взрывозащищенной оболочке состоит из трех измерительных трансформаторов тока, измерительного трехфазного трансформатора напряжения, анализатора качества электрической энергии со встроенным контроллером реактивной мощности, медиаконвертера, запоминающего устройства, активного фильтра высших гармоник, блока компенсации реактивной мощности, резервного источника питания, понижающего трансформатора



Структурная схема высоковольтного устройства автоматизированного мониторинга качества электрической энергии в подземных сетях угольных шахт

Block diagram of high-voltage device for automated monitoring of electrical energy quality in underground coal mine networks

для питания анализатора качества электрической энергии со встроенным контролером реактивной мощности, понижающего трансформатора с неуправляемым выпрямителем для питания медиаконвертера, запоминающего устройства и подзаряда аккумуляторов резервного источника питания.

Устройство предусматривает технологию Ethernet (10/100 mb/s), организованную по медным или оптическим линиям связи, может иметь дополнительные средства коммутации связи при использовании сетевого интерфейса RS-485 для создания с помощью технологии Ethernet локальной сети.

Принцип действия данного устройства можно описать следующим образом. Высоковольтное переносное устройство, во взрывозащищенной оболочке, присоединяется к сети между источником питания и потребителем.

Анализатор качества электроэнергии получает питание от сети через понижающий трансформатор Т1. Контролируемые параметры сети с точки зрения гармонического состава — ток и напряжение — поступают на анализатор качества электроэнергии от трансформатора тока ТТ1 — ТТ3 и трехфазного трансформатора напряжения ТН1. От анализатора сигналы передаются на медиаконвертер, преобразующий их для дальнейшей передачи на запоминающее устройство и транспортировки по линиям связи. Одновременно сигналы поступают на контроллер реактивной мощности и активный фильтр высших гармоник который, демпфирует негативное влияние гармонического состава сети в автоматическом режиме. Сигнал также поступает на блок компенсации реактивной мощ-

ности, который в автоматическом режиме производит мониторинг значения коэффициента мощности и при необходимости повышает его до нормативных значений. Для питания медиаконвертера и запоминающего устройства, предусмотрен понижающий трансформатор с неуправляемым выпрямителем, используемый также для подзарядки аккумуляторных батарей, как резервного источника питания.

### **Заключение**

Предложенное устройство позволяет осуществлять автоматизированный мониторинг показателей качества электрической энергии, устранять негативное влияние высших гармоник на сеть, производить учет фактического коэффициента мощности повышая его по необходимости до нормативного значения, что обеспечивает эффективную работу подземных потребителей угольных шахт.

Применение предлагаемого изобретения поможет оперативно реагировать на изменение уровня напряжения в подземных электрических сетях, планировать рациональное размещение энергопоездов, тем самым снижая затраты на создание участков подземных систем электроснабжения.

Установка данного устройства на ряде понизительных подстанций, расположенных в специфических условиях подземных горных выработок угольных шахт, будет способствовать созданию современной автоматизированной информационно-измерительной системы непрерывного мониторинга качества электрической энергии с возможностью автоматизированного воздействия на показатели качества энергии.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. 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.

2. Козовой Г. И., Кузнецов Ю. Н., Рыжов А. М. Гибкие технологические системы высокопроизводительных угольных шахт. — М.: Международная академия связи, 2003. — 501 с.
3. Министерство энергетики РФ. Презентационный материал к выступлению министра энергетики А.В. Новака на итоговой коллегии минэнерго России-2018. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/11279>.
4. 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.
5. Кубрин С. С., Решетняк С. Н. Автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электроэнергии для подземных горных работ // Горный журнал. — 2016. — № 1. — С. 87–90.
6. Жежеленко И. В., Шидловский А. К., Пивняк Г. Г., Саенко Ю. Л., Нойберггер Н. А. Электромагнитная совместимость потребителей. Монография. — М.: Машиностроение, 2012. — 351 с.
7. Xu X. Research on power quality control of coal mine power grid // Industry Hi-Tech. 2017, 28(1), pp. 1690–1694.
8. Fangxia L., Xia S. Research on reactive power compensation in coal power system // Machine Building and Automation, 2009, 38 (5), pp. 147–149.
9. Michalak M., Szafranska M., Spalt K. Large equipment emission testing in underground mines / IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility 2016. pp. 855–858.
10. Semenov A. S., Kuznetsov N. M. An analysis of the results of monitoring the quality of electric power in an underground mine // Measurement Techniques. 2014. vol. 57, no 4. pp. 417–420.
11. Кузнецов Н. М., Семенов А. С., Бебихов Ю. В., Рыбников А. В. Результаты мониторинга показателей качества электрической энергии потребителей подземного рудника // Горный журнал. — 2014. — № 1. — С. 23–26.
12. Cheng M., Yanbin L. Research on application of active power filter in harmonic wave suppression of coal mine // Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2014, 28 (11), pp. 107–110.
13. Regula M., Szabo D., Otcenasova A. Voltage quality analyses in laboratory environment / Proceedings of the 7th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering Elektroenergetika 2013, Stara Lesna, Slovakia, 2013, pp. 300–303.
14. Шевырёв Ю. В., Шевырева Н. Ю. Улучшение формы напряжения в системах электропитания предприятий минерально-сырьевого комплекса с активным выпрямителем // Горный журнал. — 2019. — №1. — С. 66–69. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.14.
15. De Paula H., Fuccio C. G. D., Pereira P. C. T., Silveira A. W. F., Gomes L. C. Inverter-based motor drive systems: An overview from the electromagnetic compatibility perspective / 14-th Brazilian Power Electronics Conference, COBEP 2017 2018-January, pp. 1–6.
16. Litran S. P., Salmeron P. Electromagnetic compatibility analysis of a control strategy for a hybrid active filter // Electric Power Systems Research. 2017. 144, pp. 81–88.
17. Nicolae P. M., Nicolae M. S., Smarandescu I. D., Nicolae I. D. Concerns on electromagnetic compatibility and power quality issues at a three-phase transformer / IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. 2017. pp. 377–382.
18. Плащанский Л. А., Ляхомский А. В., Решетняк М. Ю., Решетняк С. Н. Высоковольтное устройство автоматизированного мониторинга качества электрической энергии в подземных сетях угольных шахт. Патент на полезную модель № 185421 от 04.12.2018 г. **ГАЗ**

## REFERENCES

1. Ruban A. D., Artem'ev V. B., Zaburdyayev V. S., Zaburdyayev G. S., Rudenko Yu. F. *Problemy obespecheniya vysokoy proizvoditel'nosti ochistnykh zaboev v metanoobil'nykh shakhtakh* [Problems of high performance mines in metanopoli mines], Moscow, Moskovskiy izdatel'skiy dom, 2009, 396 p.
2. Kozovoy G. I., Kuznetsov Yu. N., Ryzhov A. M. *Gibkie tekhnologicheskie sistemy vysokoproizvoditel'nykh ugol'nykh shakht* [Flexible manufacturing systems a high-performance coal mines], Moscow, Mezhdunarodnaya akademiya svyazi, 2003, 501 p.
3. The Ministry of energy of the Russian Federation. Presentation material for the speech of the Minister of energy A.V. Novak at the final Board of the Ministry of energy of Russia-2018, available at: <https://minenergo.gov.ru/node/11279>.

4. 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].
5. Kubrin S.S., Reshetnyak S.N. Automated information-measuring system of technical electricity metering for underground mining. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 1, pp. 87–90. [In Russ].
6. Zhezhenlenko I.V., Shidlovskiy A.K., Pivnyak G.G., Saenko Yu.L., Noyberger N.A. *Elektromagnitnaya sovместimost' potrebiteley*. Monografiya [Electromagnetic compatibility of consumers. Monograph], Moscow, Mashinostroenie, 2012, 351 p.
7. Xu X. Research on power quality control of coal mine power grid. *Industry Hi-Tech*. 2017, 28(1), pp. 1690–1694.
8. Fangxia L., Xia S. Research on reactive power compensation in coal power system. *Machine Building and Automation*, 2009, 38 (5), pp. 147–149.
9. Michalak M., Szafranska M., Spalt K. Large equipment emission testing in underground mines. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2016. pp. 855–858.
10. Semenov A.S., Kuznetsov N.M. An analysis of the results of monitoring the quality of electric power in an underground mine. *Measurement Techniques*. 2014. vol. 57, no 4. pp. 417–420.
11. Kuznetsov N.M. Semenov A.S., Bibikov Y.V., Rybnikov A.V. Results of monitoring of indicators of quality of electric energy of consumers of the underground mine. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 1, pp. 23–26. [In Russ].
12. Cheng M., Yanbin L. Research on application of active power filter in harmonic wave suppression of coal mine. *Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science)*, 2014, 28 (11), pp. 107–110.
13. Regula M., Szabo D., Otcenasova A. Voltage quality analyses in laboratory environment *Proceedings of the 7th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering Elektroenergetika*, 2013, Stara Lesna, Slovakia, 2013, pp. 300–303.
14. Shevryev Yu. V., Shevryeva N. Yu. Improving the form of voltage in power supply systems of enterprises of mineral complex with an active rectifier. *Gornyy zhurnal*. 2019, no 1, pp. 66–69. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.14. [In Russ].
15. De Paula H., Fuccio C.G.D., Pereira P.C.T., Silveira A.W.F., Gomes L.C. Inverter-based motor drive systems: An overview from the electromagnetic compatibility perspective. *14-th Brazilian Power Electronics Conference, COBEP 2017 2018-January*, pp. 1–6.
16. Litran S.P., Salmeron P. Electromagnetic compatibility analysis of a control strategy for a hybrid active filter. *Electric Power Systems Research*. 2017. 144, pp. 81–88.
17. Nicolae P.M., Nicolae M.S., Smarandescu I.D., Nicolae I.D. Concerns on electromagnetic compatibility and power quality issues at a three-phase transformer. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. 2017. pp. 377–382.
18. Plashchansky L.A., Lyakhomskii A.V., Reshetnyak M.Yu., Reshetnyak S.N. *Patent for useful model No 185421* from 04.12.2018.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ляхомский Александр Валентинович<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,  
 Плащанский Леонид Александрович<sup>1</sup> — канд. техн. наук, профессор,  
 Решетняк Сергей Николаевич<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент, e-mail: reshetniak@inbox.ru,  
 Решетняк Мария Юрьевна<sup>1</sup> — аспирант,  
<sup>1</sup> МГИ НИТУ «МИСиС».

**Для контактов:** Решетняк С.Н., e-mail: reshetniak@inbox.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.V. Lyakhomskiy<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department,  
 L.A. Plashchansky<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair,  
 S.N. Reshetnyak<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: reshetniak@inbox.ru,  
 M.Yu. Reshetnyak<sup>1</sup>, Graduate Student,  
<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,  
 119049, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** S.N. Reshetnyak, e-mail: reshetniak@inbox.ru.

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОПОРЫ  
ЛЭП НА ДЕЙСТВИЕ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОК**

(2019, СВ 5, 16 с.)

*Гильманов Рафаэль Абдулхакович* — канд. техн. наук, главный инженер ООО «Экспотехвзрыв»,  
*Коршунов Геннадий Иванович*<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор, e-mail: korshunov\_gi@pers.spmi.ru,  
*Беляков Никита Андреевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент, e-mail: Belyakov\_NA@pers.spmi.ru,  
*Бульбашева Инна Александровна*<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: ines-77@yandex.ru,

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет.

В настоящее время разработка ряда месторождений полезных ископаемых осложнена наличием воздушных линий электропередачи, располагающихся в непосредственной близости от фронта добычных работ или являющихся объектом инфраструктуры электроснабжения карьера. Среди таких предприятий можно выделить Афанасьевское месторождение цементного сырья Московской области (ВЛ-110 кВ), Борщевское месторождение строительных материалов Калужской области (ВЛ-35 кВ), Олимпиадинское месторождение Красноярского края (ВЛ-6 кВ) и т.д. При динамическом воздействии от взрывных работ на такое сооружение может возникнуть опасность его раскачки свыше предельно допустимых амплитуд, вызывающих опрокидывание конструкции, а также после каждого цикла воздействия возникают остаточные отклонения, которые впоследствии могут привести к потере устойчивости. Целью выполненных исследований являлось определение реакции опоры ЛЭП при действии сейсмозрывных нагрузок. В результате была разработана трехмерная численная модель, применение которой при проведении динамических расчетов позволило определить значения остаточных и максимальных отклонений опоры ВЛ-110, а также величины раскачки при действии сейсмических сил. Установлено, что основными параметрами сейсмозрывных волн, влияющими на величину остаточного отклонения опоры и ее раскачку, являются амплитуда и количество ступеней замедления при суперпозиции волн.

Ключевые слова: численный анализ, динамическая реакция, железобетонная опора ЛЭП, амплитуда сейсмозрывной волны, суперпозиция сейсмозрывных волн, идеализированная сейсмограмма, максимальное отклонение, остаточное отклонение.

**NUMERICAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE POLE RESPONSE  
TO DYNAMIC BLASTING-INDUCED LOADS**

*R.A. Gil'manov*, Chief Engineer of LLC «Jekspotehvzryv», Moscow, Russia,  
*G.I. Korshunov*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: korshunov\_gi@pers.spmi.ru,  
*N.A. Belyakov*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: Belyakov\_NA@pers.spmi.ru,  
*I.A. Bulbasheva*<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: ines-77@yandex.ru,

<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

At the moment, the development of some deposits is complicated due to the proximity of the overhead electricity power lines to the excavation front or when they are a part of the electricity supply system of a quarry. The following enterprises face with such a problem: Afanasevskoye deposit of cement raw materials (HV line 110 kV), Borshevskoye deposit of construction materials at Kaluga region (VL line 35 kV), Olimpiadinskoye deposit at Krasnoyarsk area (VL line 6 kV), etc. The dynamic blast-induced loading of such type of a construction may cause the build-up of oscillations exceeding maximum allowable amplitudes provoking jump-up of a construction as well as each cycle of dynamic loading results in occurring of the residual deflections of a pole which may consequently lead to the loss of stability. The objective of the performed studies was to determine the reaction of a pole under blast-induced loading. As the result, the three-dimensional model was created; the application of the model during dynamic analysis allowed to calculate the values of maximum and residual deflections of a pole (HV line 110 kV) as well as the values of build-up oscillations under blasting loading. The main parameters of seismic waves influencing on the value of the residual deflection of a pole and its build-up oscillations was found to be the amplitude and number of delay groups in case of waves superposition. The scientific novelty of the obtained results consists in evaluation of the values of maximum and residual deflections of a high voltage pole of 110 kV subjected to the blast-induced ground vibrations with various parameters.

Key words: numerical analysis, dynamic response, reinforced concrete pole, ground vibration amplitude, superposition of waves, idealized curve of ground displacement, maximum deflection, residual deflection.