

УДК 622.233

© И.Л. Абрамов, 2018

И.Л. АБРАМОВ

к.т.н., доцент,

старший научный сотрудник

ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

e-mail: ilabramov@rambler.ru



РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫМ СПОСОБОМ В ТЕХНОЛОГИЯХ ШАХТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Описан опыт Института угля СО РАН по разработке и проведению испытаний полупромышленной установки для проходки вертикальных выработок с электроимпульсным разрушением горных пород и промывкой раствором на углеводородной основе.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ РАЗРУШЕНИЕ, ШАХТНЫЙ СТВОЛ, БУРОВАЯ УСТАНОВКА, РАСТВОР НА УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ.

Электроимпульсный способ (ЭИ) разрушения конденсированных сред разработан в Томском политехническом университете авторским коллективом под руководством профессора А.А. Воробьёва [1]. Практическое применение способа направлено на создание технологий и технических средств для ЭИ проходки шахтных стволов и бурения скважин, резания горных пород, поверхностной обработки камня, дробления и измельчения руд, утилизации бетонных и железобетонных изделий и др. [2–4].

Актуальность ЭИ разрушения в области горного дела определяется постоянно возрастающими объёмами шахтного строительства, разведочного и промышленного бурения скважин различного назначения и необходимостью решения проблем механического бурения (низкие скорости проходки, ограниченный срок службы рабочих инструментов при бурении крепких горных пород). Одним из принципиально новых методов является электроимпульсный способ бурения скважин, который основан на разрушении горных пород при их электрическом импульсном пробое. Достоинства ЭИ разрушения горных пород определяются его следующими особенностями:

— электрическая энергия непосредственно подводится к забою без промежуточных преобразований;

— эффективность разрушения определяется электрофизическими свойствами горных пород;

— разрушение породы происходит под действием динамических усилий растяжения;

— разрушающим горную породу рабочим органом является электрический разряд в твердом теле;

— отсутствие вращения снаряда;

— возможность концентрации больших мощностей на забое скважины;

— высокие скорости бурения;

— возможности автоматизации процесса бурения;

— создание безлюдной технологии проходки шахтных стволов.

Экспериментальные разработки по ЭИ бурению были реализованы на опытных установках в различных регионах России: Томск, Рудный Алтай, Курская магнитная аномалия, Колыма, Байкало-Амурская магистраль, Казахстан (Лениногорск).

Параметром, определяющим эффективность разрушения горных пород при электро-

импульсной проходке шахтных стволов и бурении скважин большого диаметра, является величина расстояния между электродами бурового наконечника. С этим параметром связаны основные характеристики ЭИ проходки: энергия импульса, производительность отбойки, гранулометрический состав отбитой горной породы и др. С увеличением межэлектродного расстояния снижается энергоемкость отбойки, повышается производительность, возрастает скорость проходки, что определяет перспективность использования субметровых (0,5...0,8 м) межэлектродных промежутков в ЭИ технологиях.

Идея использования субметровых межэлектродных промежутков в ЭИ технологии шахтного строительства реализована на практике совместно Институтом угля СО

РАН и проектно-шахтопроходческим объединением «Спецшахтобурение» (г. Донецк). Коллективом лаборатории электроимпульсной проходки под руководством д. т. н. Коваленко Н.Е. выполнен проект создания полупромышленной установки для проходки вертикальных выработок с электроимпульсным разрушением горных пород и промывкой раствором на углеводородной основе. В работе принимали участие к. т. н. Кочетков В.Н., к. т. н. Скоморохов В.М., инженер Белова Н.В. и др. Выполнены работы по проектированию, разработке, научному сопровождению и испытаниям полупромышленной установки для проходки вертикальных выработок «Комплекс ЭИ 2.08» (рис. 1) [5–10]. Технические характеристики Комплекса ЭИ 2.08 приведены в табл. 1.

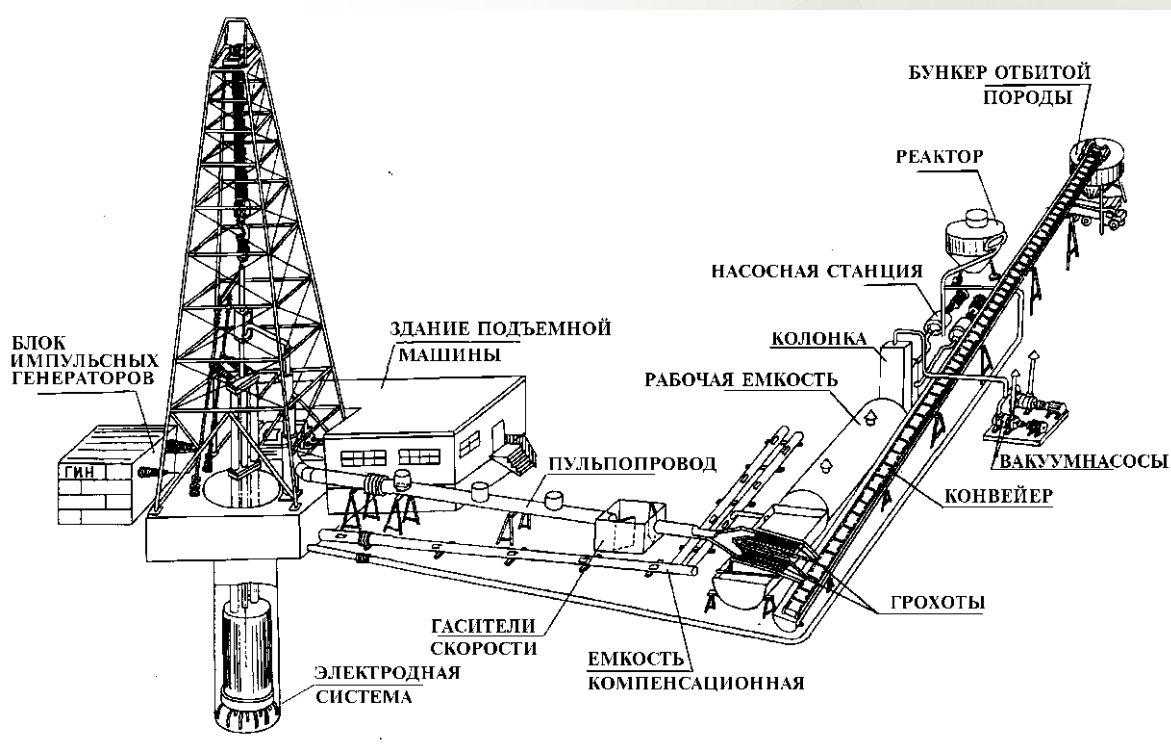


Рис. 1. Схема размещения оборудования Комплекса ЭИ 2.08

Основные системы комплекса:

Блок генераторов импульсов служит для возбуждения высоковольтных электрических импульсов с целью отбойки породы от массива и состоит из трансформаторов, трансформаторных выпрямителей, генераторов импульсов.

Снаряд проходческий — служит для передачи электроэнергии в виде импульсов к забою, формирует импульсный разряд в толще породы и включает в себя эрлифтную систему, посредством которой осуществляется циркуляция промывочной жидкости с целью очистки забоя скважины от отбитой породы.

Снаряд состоит из бурового наконечника, секций токо- и пульпопровода, подвески блоков высоковольтных вводов.

Комплекс спускоподъемный является несущим элементом конструкции и служит для монтажа-демонтажа секций и подвески снаряда в процессе проходки, регулирования подачи в зависимости от скорости проходки, состоит из буровой лебедки, буровой вышки, гидравлического индикатора веса, талевого системы.

Система жидкой изоляции обеспечивает циркуляцию изоляционной жидкости по то-

копроводам секций. Посредством этой системы осуществляется промывка формирующих разрядников снаряда, вынос продуктов разрушения из активных зон разрядников снаряда.

Система промывки предназначена для поддержания циркуляции промывочной жидкости с целью очистки забоя скважины от отбитой породы. Вместе с тем, циркулирующая жидкость служит для удержания стенок скважины от обрушения. Система промывки состоит из пульпопровода секций, эрлифта, пульпопровода телескопического, компрессора, воздухопроводного трубопровода.

Таблица 1

Технические характеристики Комплекса ЭИ 2.08

№	Характеристика	Показатель
1	Диаметр выработки в проходке, м	2,08
2	Глубина проходки, м	350
3	Установленная мощность, кВт	1178
4	Эквивалентный промежуток, м	0,53
5	Амплитуда напряжения, кВ	790
6	Энергия импульса, кДж	60
7	Частота импульсов, с ⁻¹	2
8	Масса основного оборудования, т	406
9	Обслуживание оборудования, чел. в см.	7
10	Крепость пород	8-12
11	Машинная скорость проходки, м/час	8,6
12	Средневзвешенный размер кусков породы, мм	75
13	Энергоемкость проходки, кВт ч/м ³ (с промывкой эрлифтом)	30
14	Производительность труда, м ³ /чел. смену:	
	- на проходке	8,8
	- по готовому стволу	0,32
15	Проходка на комплекте долот (наконечник), м	1000

Эксперимент по проходке вентиляционного шахтного ствола электроимпульсным способом проведен на шахте «Объединенная» ПО «Торезантрацит» [11–14].

Комплекс ЭИ 2.08 смонтирован на базе буровой установки Уралмаш 4Э-76 с электрическим приводом и грузоподъемностью до 200 т.

На ремонтно-механическом заводе шахтопроходческого объединения «Спецшахто-

бурение» изготовлено оригинальное оборудование комплекса:

- проходческий снаряд (рис. 2) с телескопическим пульпопроводом, системой жидкой изоляции и буровым наконечником (рис. 3);
- растворный пункт для подготовки диэлектрического бурового раствора на углеводородной основе (рис. 4);
- система промывки с грохотами для

очистки промывочной жидкости от горной породы и дегазации бурового раствора.

Генератор импульсов высокого напряжения (рис. 5) разработан и смонтирован специалистами ИУ СО РАН.

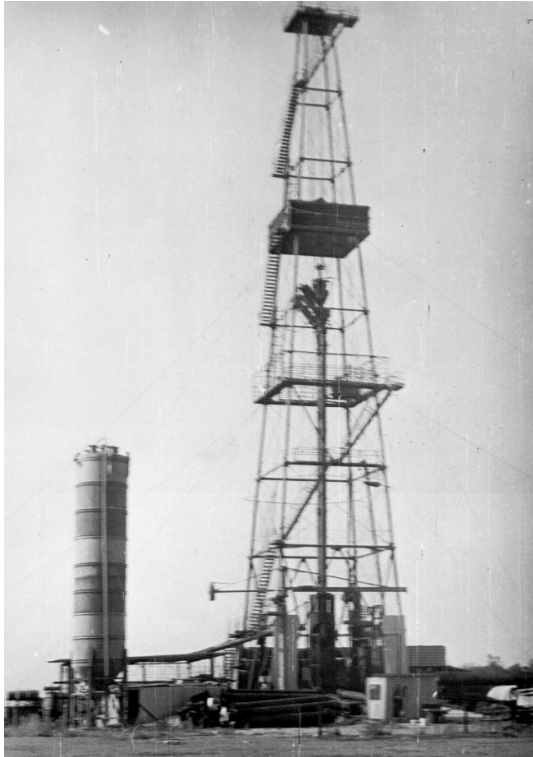


Рис. 2. Установка для электроимпульсного бурения на базе буровой установки Уралмаш 4Э-76

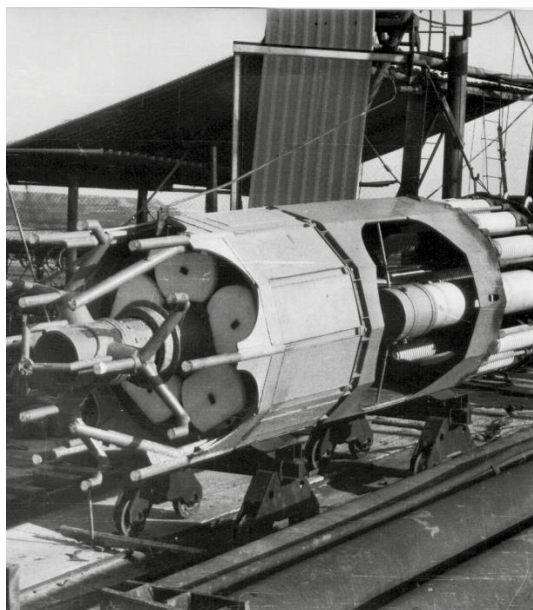


Рис. 3. Буровой наконечник проходческого снаряда

При испытаниях Комплекса ЭИ 2,08 использовалась промывочная жидкость на углеводородной основе — РУО, разработанная на основе известково-битумного раствора (ИБР) с удельным электросопротивлением $8,6 \cdot 10^9$ Ом·см, диэлектрической проницаемостью 3,01, пробивная напряженность электрического поля при фронте импульса 0,22 мкс — 145,8 кВ/см. Плотность раствора 1015 кг/м^3 . Раствор представляет собой многокомпонентную дисперсную систему, состоящую из дисперсионной среды (дизельное топливо) и дисперсной фазы (высокоокисленный битум и негашеная молотая известь с содержанием активных CaO, MgO 70...80 %), воды (в связанном состоянии) и поверхностно-активных веществ. По агрегативному состоянию и механическим свойствам РУО является связнодисперсной системой и имеет сплошную пространственную структуру, обладающую структурно-механическими свойствами: вязкостью, пластичностью и прочностью. При механическом воздействии (перемешивании) пространственная структура разрушается. В состоянии покоя структура восстанавливается.

Раствор приготовлен на рабочей площадке комплекса (рис. 4) методом встречных струй в режиме кавитации с использованием двух углесосов 12У10А и Н-900/90 производительностью по $900 \text{ м}^3/\text{час}$ каждый. Производительность приготовления раствора достигала $30...40 \text{ м}^3$ за 12 часов. Планируемые объемы промывочной жидкости в системе промывки: от 500 до 2000 м^3 при длине пульпопровода 100–350 м [15].

Породы забоя при проведении испытаний представлены алевролитовым сланцем крепостью VII по СУСН-V-84. Коэффициент крепости по Протодьяконову — 6,5. Электросопротивление (удельное) пород, измеренное в процессе испытаний, составило $8,2 \cdot 10^3$ Ом·см.

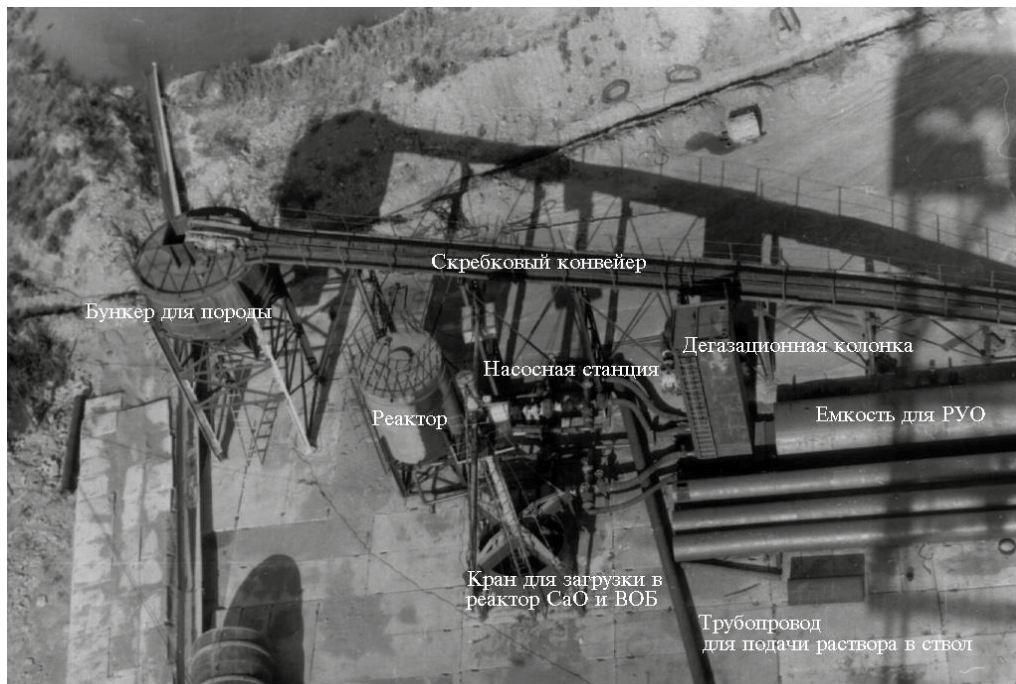


Рис. 4. Растворный пункт для подготовки диэлектрического бурового раствора на углеводородной основе, элементы системы очистки промывочной жидкости от горной породы и дегазационная колонка

После монтажа, отладки оборудования, приготовления промывочной жидкости и получения разрешительной документации были проведены испытания. Испытания комплекса ЭИ 2,08 проводились в интервале глубин 34–35 м.

Всего за время испытаний на забой было подано 83800 импульсов. Это соответствует пятидесяти часам непрерывной работы им-

пульсного генератора. Частота срабатывания генератора (рис. 5) задавалась в диапазоне от 4...5 импульсов в минуту до 90...100 импульсов в минуту. Максимальная разность потенциалов (разность амплитуд контраполярных импульсов) на выходе генератора при отключенном проходческом снаряде составляла 900...950 кВ. Энергия в импульсе — 60 кДж.



Рис. 5. Генератор импульсов высоких напряжений

Испытано две модификации наконечника: наконечник со штыревыми электродами, эквивалентный разрядный промежуток $L_3 = 0,53$ м (рис. 3), и наконечник с пластинчатыми электродами, эквивалентный разрядный промежуток $L_3 = 0,22$ м.

Установлено, что только отдельные импульсы работали с высокой эффективностью. В результате работы этих импульсов получены куски отбитой породы, линейные размеры которых соизмеримы с расстоянием в свету (0,5 м) между электродами наконечника.

Несмотря на отсутствие полномасштабной проходки в процессе подготовки и проведения эксперимента получены ценные научные результаты, отработаны отдельные технические узлы и элементы технологии, подтвердившие свою эффективность. Вместе с тем, был выявлен ряд серьезных проблем, требующих проведения дополнительных научных исследований и конструктивной доработки.

Вывод

В рамках эксперимента проведены исследования процессов ЭИ разрушения горных пород, установлены закономерности ЭИ разрушения, исследованы реологические и электрофизические свойства промывочных растворов на углеводородной основе, разработана технология их приготовления, разработана технология и созданы технические средства проходки шахтных стволов с электроимпульсным разрушением горных пород

на субметровых электродных промежутках.

На основе анализа результатов эксперимента получено подтверждение технической и технологической возможности электроимпульсной проходки вертикальных горных выработок, ЭИ отбойка осуществлялась крупным сколом, крупность отдельных кусков достигала 350 мм.

Доказаны эффективность работы эрлифта при промывке скважины высокоструктурированным раствором на углеводородной основе и работоспособность систем комплекса. Установлена возможность применения углеводородной суспензии в эрлифтной системе промывки и определены параметры, обеспечивающие устойчивую работу установки: расход сжатого воздуха, количество компрессоров, оптимальный режим работы.

Исследована возможность применения электроимпульсной технологии для проходки шахтных стволов и определены пути ее совершенствования и развития: развитие схемы размещения генератора импульсных напряжений на поверхности с передачей энергии на забой и разработка технологий комбайновой проходки с размещением генератора разрушающих импульсов непосредственно на забое.

Намечены основные этапы проведения работ по созданию комбайна для ЭИ проходки, включающие в себя расчет параметров разрушения и характеристик высоковольтного электрооборудования, разработку и расчет исполнительного органа комбайна, определение параметров системы промывки, разработку технологии комбайновой проходки, конструкторскую проработку деталей и узлов, расчет и испытание изоляции тоководов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АС 237073 СССР Е 21С. Способ бурения электроимпульсными разрядами в породе / А.А. Воробьев, Г.А. Воробьев, Т.Ю. Могилевская, А.Т. Чепиков. — 1959.
2. Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. — СПб.: Наука, 1993. — 276 с.
3. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. — Апатиты: изд. КНЦ РАН, 2002. — 324 с.
4. Важов В.Ф., Зиновьев Н.Т., Ушаков В.Я. Электроразрядная технология бурения скважин и разрушения железобетонных изделий. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — 311 с.
5. Проект производства работ на проходку вентиляционной скважины 2.08 м ЭИ способом на шахте «Объединенная» ПО «Торезантрацит». ПЗ 158.89-П-00-00 / рук. Н.Е. Коваленко. — Донецк: ПШО «Спецшахтобурение», 1989. — 22 с.

6. Коваленко Н.Е. Основы создания технических средств и технологии электроимпульсной проходки вертикальных выработок: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. — Кемерово: ИУ СО АН СССР, 1990. — 53 с.

7. Технико-экономическое обоснование (ТЭО) на работу «Создание технических средств и технологии электроимпульсной проходки шахтных стволов»: отчет о НИР / Институт угля СО АН СССР; рук. Коваленко Н.Е. — Кемерово, 1989.

8. АС 1295822 СССР Е21 С37/18, Е21 Д1/03. Наконечник для электроимпульсной проходки шахтных стволов / Коваленко Н.Е., Горбунов В.Ф. — № 39129856; заявл. 01.04.85.

9. АС 1459316 СССР Е21 С37/18, Е21 Д1/06. Снаряд для электроимпульсной проходки шахтных стволов / Коваленко Н.Е., Скоморохов В.М., Белова Н.В., Бобылева Н.В. — № 4240463; заявл. 04.05.87.

10. АС 1540350 СССР Е21 В7/15, Е21 С37/18. Устройство для электроимпульсного бурения / Коваленко Н.Е., Горбунов В.Ф., Скоморохов В.М., Белова Н.В. — № 4396214.; заявл. 24.03.88.

11. Абрамов И.Л. Электроимпульсная технология разрушения горных пород // Опыт и перспективы наукоемких технологий в угольной промышленности Кузбасса: Науч.-техн. конф. — Кемерово: ИУУ СО РАН, 1998. — С. 295–299.

12. Абрамов И.Л., Кочетков В.Н. Исследование реологических свойств раствора на углеводородной основе для электроимпульсного бурения скважин большого диаметра // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Тез. докл. VII междунар. научн. школы. — Николаев, 1995. — С. 168.

13. Авторский надзор и техническое сопровождение работ с исследованием системы промывки и гидротранспорта отбитой породы при ЭИ проходке ствола экспериментальным комплексом оборудования. Этап I. Исследование электрофизических свойств трехкомпонентной среды: горная порода — ИБР — поверхность их раздела для условий шахты «Объединенная» ПО «Торезантрацит»: отчет о НИР / рук. Коваленко Н.Е.; исполн.: Абрамов И.Л., Важов В.Ф., Скоморохов В.М., Швайка Ю.А. — М.: ВНИИЦентр, 1996. — 19 с. — Деп. рук. № 02.9.50004333.

14. Авторский надзор и техническое сопровождение работ с исследованием системы промывки и гидротранспорта отбитой породы при ЭИ проходке ствола экспериментальным комплексом оборудования: отчет о НИР (заключит.) / Институт угля СО РАН; рук. Коваленко Н.Е.; исполн.: Абрамов И.Л., Кочетков В.Н., Скоморохов В.М., Швайка Ю.А. — Кемерово, 1992.

15. Коваленко Н.Е., Логвинов Н.Г., Скоморохов В.М. и др. Исследование эрлифта, работающего на ИБР. — Донецк, 1992. — 22 с. — Деп. в ГРНТБ УкрНИИТИ 26.10.92; № 1733.

UDC 622.233

© I.L. Abramov, 2018

I.L. Abramov

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Senior Researcher
The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, Kemerovo
e-mail: ilabramov@rambler.ru

ROCKS DESTRUCTION BY THE ELECTRO-IMPULSE IN THE MINE CONSTRUCTION TECHNOLOGY

The paper presents the experience of the Institute of Coal of the SB RAS on the development and proceeding semicommercial installation with electro-impulse destruction of rocks and use of hydrocarbon drilling mud for vertical working.

Key words: ELECTRO-IMPULSE DESTRUCTION, MINE SHAFT, DRILLING DEVICE, HYDROCARBON DRILLING MUD.

REFERENCES

1. Vorobiev A.A., Vorobiev G.A., Mogilevskaya T.Yu., Chepikov A.T. Sposob bureniya elektroimpulsnymi razryadami v porode (Drilling procedure with electro-impulse discharges in rocks). AS 237073 SSSR E 21S. 1959.
2. Semkin B.V., Usov A.F., Kurets V.I. Osnovy elektroimpulsnogo razrusheniya materialov (Fundamentals of materials electro-impulse destruction). SPb.: Nauka, 1993. 276 p.
3. Kurets V.I., Usov A.F., Tsukerman V.A. Elektroimpulsnaya dezintegratsiya materialov (Electro-impulse disintegration of materials). Apatity: izd. KNTS RAN, 2002. 324 p.
4. Vazhov V.F., Zinoviev N.T., Ushakov V.Ya. Elektrozaryadnaya tekhnologiya bureniya skvazhin i razrusheniya zhelezobetonnykh izdeliy (Electrodischarge technology for drilling and destruction of concrete products). Tomsk. Izd-vo TPU, 2016. 311 p.
5. Proekt proizvodstva rabot na prokhodku ventilyatsionnoy skvazhiny 2.08 m EI sposobom na shakhte «Obiedinnennaya» PO «Torezanratsit» (The project for the production of works for the drilling of the vent hole 2.08 m by the electro-impulse disintegration in the mine «Obiedinnennaya» PO «Torezanratsit»). P3 158.89-P-00-00. Ruk. N.E. Kovalenko. Donetsk: PSHO «Spetsshakhtoburenje», 1989. 22 p.
6. Kovalenko N.E. Osnovy sozdaniya tekhnicheskikh sredstv i tekhnologii elektroimpulsnoy prokhodki vertikalnykh vyrabotok: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. dokt. tekhn. nauk (Fundamentals of the creation of technical means and technology of electro-impulse shaft driving: Thesis... Doctor of Engineering Sciences). Kemerovo: IU SO AN SSSR, 1990. 53 p.
7. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie (TEO) na rabotu «Sozdanie tekhnicheskikh sredstv i tekhnologii elektroimpulsnoy prokhodki shakhtnykh stvolov»: otchet o NIR (Feasibility study for the work «The creation of technical means and technologies of the electro-impulse shaft deepening»). Institut uglia SO AN SSSR; ruk. Kovalenko N.E. Kemerovo, 1989.
8. Kovalenko N.E., Gorbunov V.F. Nakonechnik dlya elektroimpulsnoy prokhodki shakhtnykh stvolov (Nose-piece for electro-impulse shaft deepening). AS 1295822 SSSR E21 S37/18, E21 D1/03. № 39129856. Applied: 01.04.85.
9. Kovalenko N.E., Skomorokhov V.M., Belova N.V., Bobyleva N.V. Snaryad dlya elektroimpulsnoy prokhodki shakhtnykh stvolov (Rotary head for electro-impulse shaft deepening). AS 1459316 SSSR E21 S37/18, E21 D1/06. № 4240463. Applied: 04.05.87.
10. Kovalenko N.E., Gorbunov V.F., Skomorokhov V.M., Belova N.V. Ustroystvo dlya elektroimpulsnogo bureniya (Device for electro-impulse deepening). AS 1540350 SSSR E21 V7/15, E21 S37/18 / № 4396214. Applied: 24.03.88.
11. Abramov I.L. Elektroimpulsnaya tekhnologiya razrusheniya gornyykh porod (Electro-impulse technology rocks destruction). Opyt i perspektivy naukoemkikh tekhnologiy v ugolnoy promyshlennosti Kuzbassa: Nauch.-tekhn. konf. Kemerovo: IUU SO RAN, 1998. pp. 295–299.
12. Abramov I.L., Kochetkov V.N. Issledovanie reologicheskikh svoystv rastvora na uglevododorodnoy osnove dlya elektroimpulsnogo bureniya skvazhin bolshogo diametra (Investigation of the flow characteristics of a hydrocarbon drilling mud for electro-impulse deepening of large-size hole). Fizika impulsnykh razryadov v kondensirovannykh sredakh: Tez. dokl. VII mezhdunar. nauchn. shkoly. Nikolaev, 1995. 168 p.
13. Abramov I.L., Vazhov V.F., Skomorokhov V.M., Shvayka Yu.A. Avtorskiy nadzor i tekhnicheskoe soprovozhdenie rabot s issledovaniem sistemy promyvki i gidrotransporta otbitoy porody pri EI prokhodke stvola elektrofizicheskikh svoystv trekhkomponentnoy sredy: gornaya poroda — IBR —

poverkhnost ikh razdela dlya usloviy shakhty «Obiedinennaya» PO «Torezanratsit»: otchet o NIR (Design Author Supervision and technical support of researches of mud systems and hydrotransport of the broken rock during the electro-impulse shaft deepening with the testing equipment system. Stage 1. Research on the electrophysical properties of the three-component medium: rock — IBR — the surface of their separation for the conditions of the mine «Obiedinennaya» PO «Torezanratsit»: research report). Ruk. Kovalenko N.E. Ispoln.: I.L. Abramov, V.F. Vazhov, V.M. Skomorokhov, Yu.A. Shvayka. M.: VNTITSentr, 1996. 19 p. Dep. ruk. № 02.9.50004333.

14. Avtorskiy nadzor i tekhnicheskoe soprovozhdenie rabot s issledovaniem sistemy promyvki i gidrotransporta otbitoy porody pri EI prokhodke stvola eksperimentalnym kompleksom oborudovaniya: otchet o NIR (zaklyuchit.) (Design Author Supervision and technical support of researches of mud systems and hydrotransport of the broken rock during the electro-impulse shaft deepening with the testing equipment system: research report: concluding stage). Institut uglia SO RAN; ruk. Kovalenko N.E.; ispoln.: Abramov I.L., Kochetkov V.N., Skomorokhov V.M., Shvayka Yu.A. Kemerovo, 1992.

15. Kovalenko N.E., Logvinov N.G., Skomorokhov V.M. Issledovanie erlifita, rabotayushchego na IBR (Airlift researches with bitumen-lime drilling mud). Donetsk, 1992. 22 p.