



УДК 553.9; 621.3; 622.2; 62-9

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО СПОСОБА БУРЕНИЯ СКВАЖИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТДАЧИ НЕФТИ

### PERSPECTIVES OF USE OF THE ELECTRIC PULSE METHOD OF DRILLING WELLS TO IMPROVE THE OIL RECOVERY

#### Потокин А.С.

младший научный сотрудник,  
лаборатория электроэнергетики и электротехнологии  
Центра физико-технических проблем энергетики Севера –  
филиала Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Федерального исследовательского центра  
«Кольский научный центр Российской академии наук»  
(ЦЭС КНЦ РАН)  
electric.pulse@mail.ru

#### Potokin A.S.

Junior researcher,  
Laboratory of Electric Power Engineering  
and Electrotechnology  
Northern Energetics Research Centre –  
Branch of the Federal Research Centre  
«Kola Science Centre of  
the Russian Academy of Sciences»  
(NERC KSC RAS).  
electric.pulse@mail.ru

**Аннотация.** Способ электроимпульсного (ЭИ) разрушения отличается высокой энергетической эффективностью и уникальными технологическими особенностями, и это предопределяет перспективность его универсального использования в процессах добычи и переработки минерального сырья и горнотехнического строительства. Технологии на основе электроимпульсного способа разрушения материалов открывают возможности повышения нефтеотдачи и полноты использования месторождений углеводородов и, прежде всего, тяжелой нефти, что наиболее эффективным может быть в арктических условиях.

Annotation. The method of electric pulse destruction (EPD) is characterized by high energy efficiency and unique technological features, and this predetermines the prospects of its universal use in the processes of mining and processing of mineral raw materials and mining engineering. Technologies based on the EPD open the possibility of increasing oil recovery and the full use of hydrocarbon deposits and, above all, heavy oil, which may be most effective for arctic conditions.

**Ключевые слова:** электроимпульсное дезинтеграция, электроимпульсное бурение скважин, нефтеотдача

Keywords: electric pulse destruction, electric pulse drilling of wells, oil recovery

#### Введение

Запасы нефти, удобные для добычи, истощаются ускоренными темпами, степень выработанности запасов осваиваемых нефтегазовых месторождений достигла 60 %, притом, что извлечение нефти из недр ниже 40 % [1, 2]. В условиях стагнации нефтедобычи в основных регионах страны Арктический шельф России рассматривается как один из ключевых.

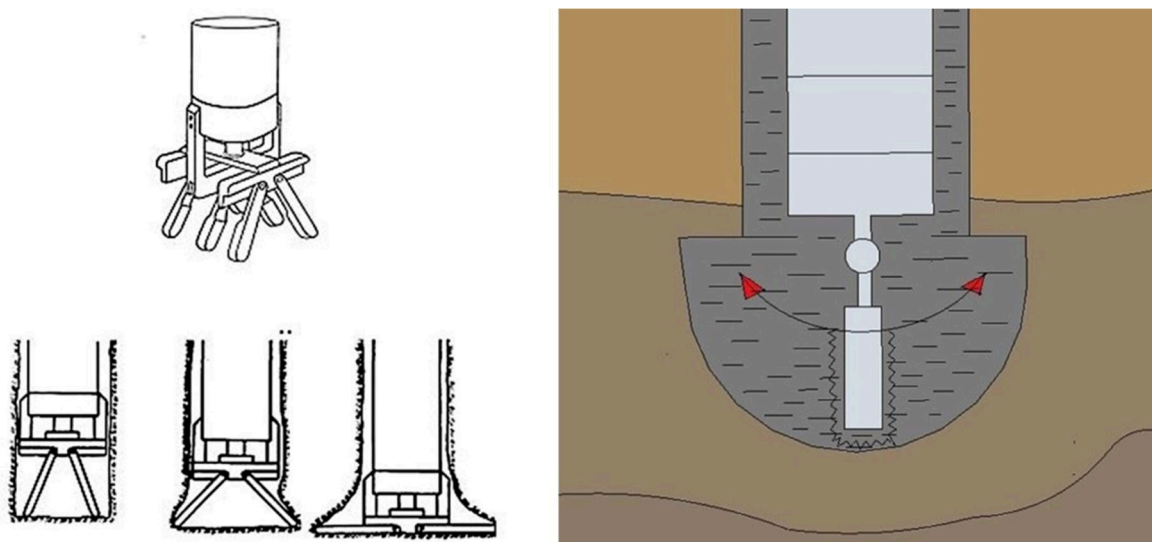
Потенциальные для освоения месторождения в северных районах в большей части содержат трудноизвлекаемые запасы тяжелой нефти и сложные подгазовые залежи. Разработка месторождений высоковязких нефтей (битумы, тяжелые нефти, газовые гидраты) как ценного сырья для получения множества полезных нефтехимических продуктов актуальна как никогда [3]. Однако для добычи нетрадиционных ресурсов требуются новые технологии, многими из которых Россия не располагает и ограничена санкциями на их поставку из-за рубежа. Возможно, что именно здесь ожидается наиболее эффективное использование электроимпульсного бурения для вскрытия месторождений, способствующее полноте извлечения тяжелой нефти [4].

Физическая природа электроимпульсного (ЭИ) способа дает возможность достижения более низкой энергоемкости разрушения в сравнении с традиционными способами. Источником нагружения является канал разряда, который находится непосредственно в твердом теле, и разрушение твердого тела происходит за счет растягивающих напряжений. Это обеспечивает достижение минимальных затрат энергии на разрушение, так как прочность материалов на разрыв почти на порядок ниже, чем на сжатие, собственное разрушению твердых тел механическим способом. Динамический характер нагружения обеспечивает хрупкое разрушение материала с минимальными потерями энергии на пластическую деформацию. Энергосодержание канала разряда, обеспечиваемое подводом энергии извне от емкостного накопителя, может оперативно, практически от импульса к импульсу, простыми способами регулироваться в широких пределах по величине и продолжительности, создавая оптимальные условия нагружения твердого тела в зависимости от его природы и размера разрушаемых фрагментов материала. Энергетическая эффективность электроимпульсного разрушения мало критична к механической прочности пород, благодаря чему наибольший технико-экономический эффект применения способа достигается на особо крепких горных породах и мерзлых грунтах. В приложении к бурению все это убедительно иллюстрируется экспериментальными данными [5, 6].



### Перспективы бурение скважин электроимпульсным способом

ЭИ-способ применим для бурения скважин любого сечения и профиля [8]. Породоразрушающим устройством является электродная конструкция, в которой распределение разрядов по площади забоя происходит автоматически без вращения устройства. Это позволяет придавать скважине за счет соответствующей конструкции породоразрушающего инструмента любую произвольную форму сечения – круглую, прямоугольную, щелевую, кольцевую и т.д. и профиль забоя – прямой, конический, ступенчатый. Имеется возможность изменения диаметра скважины по мере ее бурения.



**Рисунок 1** – Формирование направленной проходки скважинами электроимпульсного бурения.  
Котловая скважина

Рабочим инструментом ЭИ-способа по существу является искра и в отличие от механических способов не требуется прилагать к инструменту каких-либо значительных усилий – достаточно лишь обеспечивать контакт инструмента с массивом. Электроимпульсное бурение отличается исключительно малым износом бурового инструмента и допускает его изготовление из обычных конструкционных сталей. Доказана перспективность использования ЭИ способа в частности бурения скважин, как наименее энергоемкого способа разрушения горных пород, наиболее производительного и экономичного способа проходки скважин в силу более высокой стойкости породоразрушающего инструмента и требующего меньших затрат времени на спуско-подъемные операции [9, 8].

**Таблица 1** – Показатели ЭИ-бурения для разных пород

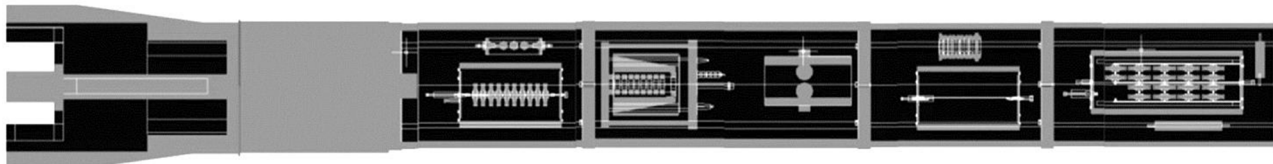
Условия и место проведения испытаний	Породы	Уд. скорость бурения м/ч на 1имп/с
Бурение взрывных скважин в подземной выработке: • диаметр 130 мм, глубина до 50 м, промывка водой; Кировский рудник АО «Апатит»: • диаметр 150 мм, глубина до 50 м, промывка водой; Рудник «Ена» ГОК «Ковдорслюда»	апатитовая руда гнейс – слюда кварц – слюда плагноклаз	0,35 (/-25 мм) 0,6 (/-30 мм) 0,25 0,3 0,35
Бурение взрывных скважин в карьере (ПМК Лениногорск) диаметр 150 мм, диз. топливо	микрочварцит	1,5
Бурение разведочной скважины, г. Томск: • без отбора керна, диаметр 160 мм., диз. топливо; • с отбором керна, диз. топливо; • с отбором керна, вода, нефтеводные растворы	песчаник песчаник сланец	0,5 0,6 0,8
Бурение скважин 800–1200 мм, Апатиты: • сплошным забоем, 800 мм. диз. топливо; • кольцевым забоем, 700 мм, диз. топливо; • расширение от 600 до 800 мм, диз. топливо; • расширение от 800 до 1000 мм, диз. топливо	филлитовый сланец	0,05 0,15 0,3 0,7
Бурение скважин диаметром 1000–1200 мм, /-300 мм, промывка дизельным топливом, БАМ	вечномерзлый грунт	0,75–1,0

Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. Апатиты : КНЦ РАН, 2002, 324 с.



Главным техническим фактором, продолжительное время сдерживавшим производственное использование электроимпульсного (ЭИ) способа разрушения материалов, в том числе способ электроимпульсного бурения, являются неудовлетворительные эксплуатационно-технические (масса, габариты, удобство обслуживания, ресурс работы) характеристики электротехнического оборудования, обеспечивающего генерирование высоковольтных импульсов [10–12].

Создание новых электротехнических решений в отношении генерирования высоковольтных импульсов позволит создавать компактные буровые снаряды на основе погружных генераторов (рис. 2), обеспечивая высокую маневренность продвижения бурового снаряда в толще пород, позволяя наиболее эффективное вскрытие нефтеносных пластов [13].



**Рисунок 2** – Макет погружного генератора высоковольтных импульсов (ПГВВИ) для электроимпульсного бурения скважин

Энергетическая оптимизация электроимпульсного способа и совершенствование электротехнических средств его реализации для ЭИ бурения, помимо возможности повышения нефтеотдачи и полноты использования месторождений углеводородов, может дать возможность использовать его для более широкого практического применения:

- бурение скважин большого диаметра для термальной энергетики;
- бурение скважин для свайных оснований инженерных объектов в зоне вечной мерзлоты, в том числе, хранилищ СПГ (сжиженного природного газа);
- бурение котловых скважин большого диаметра для создания хранилищ ядерных и химических отходов;
- переработка попутных нефтяных газов.

По мере совершенствования высоковольтной импульсной техники отмечается увеличение внимания зарубежных и отечественных исследователей к электроимпульсным технологиям для специфических условий их использования, в том числе в арктической зоне. При этом непреложным фактом является то, что основные предложения базируются на разработках российских ученых и работы выполняются с привлечением российских научных организаций. THK Schlumberge, Statoil and Unodril привлекли НИИ Высоких напряжений, г.Томск, к совершенствованию технологии бурения глубоких нефтяных скважин В соответствии с Соглашением о научно-техническом сотрудничестве между Кольским научным центром РАН и Университетом науки и технологии Хуажонг (Huazhong University of Science and Technology, HUST), КНР с 2012 года начата разработка энергоэффективной и ресурсосберегающей техники и технологии вскрытия и разработки нефтяных месторождений в арктических условиях. Все это требует, чтобы опережающим темпом шло совершенствование научно-технологических основ электроимпульсного способа разрушения геоматериалов применительно к разработке технологий добычи и переработки минерального сырья, для различных инженерно-технических работ.

### **Заключение**

Технологии на основе электроимпульсного способа разрушения материалов открывают множество возможностей повышения нефтеотдачи и полноты использования месторождений углеводородов, прежде всего тяжелой нефти. Разработки в отношении техники генерирования импульсов, разработки технических средств разрушения, аппаратных методов контроля процесса разрушения и управления работой установки могут найти применение: для бурения скважин для повышения коэффициента отдачи нефти также могут найти применение для термальной энергетики; для бурения котловых скважин большого диаметра с целью создания хранилищ ядерных отходов; для бурения скважин для свайных оснований инженерных объектов в зоне вечной мерзлоты, в том числе хранилищ СПГ; в модульных установках для разработки месторождений особо ценного сырья в сложных географических и климатических условиях Севера и др.

### **Благодарности**

Статья подготовлена в рамках работы по проекту «Исследование электрофизических и электротехнических аспектов получения и применения низкотемпературной плазмы импульсного электрического пробоя твердых диэлектриков и горных пород» программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Конденсированное вещество и плазма при высоких плотностях энергии» программа I.1П(13). Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории электроэнергетики и электротехнологии №33 ЦФТПЭС КНЦ РАН за консультирование и помощь при проведении исследований: Селиванову В.Н., Данилину А.Н., Колобову В.В., Прокопчуку П.И. Бараннику М.Б., Ильину Д.В., Климову А.А.



### Литература:

1. Ившина О. «Тяжелая нефть» России: отрасль на пороге кризиса. – URL : [http://www.bbc.com/russian/business/2014/11/141127\\_oil\\_russia\\_salym](http://www.bbc.com/russian/business/2014/11/141127_oil_russia_salym) (дата обращения 03.04.2018).
2. Наши нефтегазовые технологии порой самые революционные, но...: интервью акад. А.Н. Дмитриевско-го. – URL : <http://teknoblog.ru/2015/03/14/35031> (дата обращения 03.04.2018).
3. Николин И.В. Методы разработки тяжелых нефтей и природных битумов // Наука – фундамент решения технологических проблем развития России. – 2007. – № 2. – С. 54–68.
4. Усов А.Ф., Хи М. Арктические перспективы электроимпульсного способа разрушения материалов и задачи их научно-технического обеспечения // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2016. – № 2 (25). – С. 111–123.
5. Электроимпульсное бурение скважин большого диаметра / В.Ф. Важов [и др.] // Материалы Всероссийского форума с международным участием, посвященного 150-летию академика Обручева В.А., 130-летию академика Усова М.А. и 120-летию профессора Урванцева Н.Н. – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2013. – С. 360–363.
6. Жгун Д.В., Важов В.Ф., Журков М.Ю. Электроимпульсный способ разрушения горных пород и бурение скважин // Записки Горного института. – Т. 148 (2). – С. 146–152. – ISSN 0135-3500.
7. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. – Апатиты : КНЦ РАН, 2002. – 324 с.
8. Фурман Э.Г., Муратов В.М., Степанов А.В., Важов В.Ф., Макеев В.А. Погружной электроразрядный генератор. Патент на изобретение RUS 2340081 25.04.2007.
9. Муратов В.М., Адам А.М., Важов В.Ф., Лопатин В.В. Электроимпульсная буровая установка. Патент на изобретение RUS 2445430 04.08.2010.
10. The experience in development of technique and technology of electric pulse disintegration of rocks and ores / A. Usov [etc.] // TMS Annual Meeting. – 2016. – № 145. – P. 325–332.
11. Usov A., Potokin A., Mengbing H. Prospects creation technological systems electric pulse fracture ores based on new electrical base // IMPC 2014 – 27th International Mineral Processing Congress 27, 2014.
12. Electric pulse disintegration of rocks and ores – russian experience / A. Usov [etc.] // 26th International Mineral Processing Congress, IMPC 2012: Innovative Processing for Sustainable Growth – Conference Proceedings, 2012. – P. 5610–5617.
13. Способы энергетической оптимизации процесса генерирования высоковольтных импульсов для электроимпульсного бурения скважин / А.С. Потокин [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. – 2017. – № 8–15 (50). – С. 93–103.

### References:

1. Ivshyna O. "Heavy oil" of Russia: the industry is on the verge of a crisis. – URL : [http://www.bbc.com/russian/business/2014/11/141127\\_oil\\_russia\\_salym](http://www.bbc.com/russian/business/2014/11/141127_oil_russia_salym) (reference date 03.04.2018).
2. Our oil and gas technologies are sometimes the most revolutionary, but ...: interview of Acad. A.N. Dmitrievsky. – URL : <http://teknoblog.ru/2015/03/14/35031> (circulation date is 03/04/2018).
3. Nikolin I.V. Methods of development of heavy oils and natural bitumen // Science is the foundation for solving the technological problems of Russia's development. – 2007. – № 2. – P. 54–68.
4. Usov A.F., He. M. Arctic perspectives of the electric pulse method of material destruction and the tasks of their scientific and technical support // Bulletin of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. – 2016. – № 2 (25). – P. 111–123.
5. Electric pulse drilling of large diameter wells / V.F. Vazhov [etc.] // Materials of the All-Russian forum with international participation, dedicated to the 150th anniversary of Academician Obruchev V.A, 130th anniversary of Academician Usov M.A. and the 120th anniversary of Professor Urvantsev N.N. National Research Tomsk Polytechnic University. – 2013. – P. 360–363.
6. Zhgun D.V, Vazhov V.F, Zhurkov M.Yu. Electric pulse method of destruction of rocks and drilling of wells // Notes of the Mining Institute. – V. 148 (2). – P. 146–152. – ISSN 0135-3500.
7. Kurets V.I, Usov A.F., Tsukerman V.A. Electric pulse disintegration of materials. – Apatity: KSC RAS, 2002. – 324 p.
8. Furman E.G., Muratov V.M., Stepanov A.V., Vazhov V.F., Makeev V.A. Submersible electric discharge generator. Patent for invention RUS 2340081 25.04.2007.
9. Muratov V.M., Adam A.M., Vazhov V.F., Lopatin V.V. Electric pulse drilling installation. Patent for invention RUS 2445430 04/08/2010.
10. The experience in development of technique and technology of electric pulse disintegration of rocks and ores / A. Usov [etc.] // TMS Annual Meeting. – 2016. – № 145. – P. 325–332.
11. Usov A., Potokin A., Mengbing H. Prospects creation technological systems electric pulse fracture ores based on new electrical base // IMPC 2014 – 27th International Mineral Processing Congress 27, 2014.
12. Electric pulse disintegration of rocks and ores – russian experience / A. Usov [etc.] // 26th International Mineral Processing Congress, IMPC 2012: Innovative Processing for Sustainable Growth – Conference Proceedings, 2012. – P. 5610–5617.
13. Methods of energy optimization of the process of generating high-voltage pulses for electrically pulsed drilling of wells / A.S. Potokin [etc.] // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2017. – № 8–15 (50). – P. 93–103.