

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, шести глав и заключения. Общий объём работы – 126 страниц. Диссертация содержит 36 рисунков, 35 таблиц, список цитируемой литературы из 40 источников и одно приложение.

Ключевые слова: Электроимпульсное разрушение, электрическая прочность, повышенное давление.

Объектом исследования является: горные породы (песчаник)

Цель работы: – исследовать электрическую прочность, производительность и удельные энергозатраты разрушения горных пород при повышенных давлениях (7 МПа).

В процессе работы: были исследованы производительность и удельные энергозатраты разрушения при повышенных давлениях.

Результаты исследований: необходимы при проектировании, комбинированных (электроимпульсный способ совместно с механическим) электроимпульсных установок.

Степень внедрения: лабораторная установка, научные исследования и разработки.

Область применения: предприятия, занимающиеся по оказанию услуг в области бурения глубоких скважин.

Экономическая эффективность работы: результаты работы необходимы при разработке комбинированных электроимпульсных установок, отличающихся высокой экономической эффективностью по сравнению с традиционными методами бурения.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 10.0 и представлена на диске CD-R.

Abstract

Final qualifying work consists of an introduction, three chapters and a conclusion. The final qualifying work consists of 126 pages, 36 figures, 35 tables and a list of references from 40 sources.

Keywords: Electro pulse destruction, dielectric strength, high blood pressure.

The object of the study are rocks (sandstone)

Objective: to investigate the dielectric strength, performance, and the specific energy consumption of destruction of rocks at high-pressure (7 MPa).

In operation: productivity and specific energy fracture was investigated at high pressures.

Because of research: essential in the design of the combined (electric pulse in conjunction with mechanical) electropulse installations.

Degree of implementation: laboratory facility, research and development.

Application: industrial enterprises engaged in providing services in the field of drilling deep wells.

Cost-effectiveness / value of the work: the work needed to develop combined electropulse plants are characterized by high cost-effectiveness compared to conventional drilling methods

Final qualifying work carried out in Microsoft Word text editor, and is represented on the disc CD-R.

Оглавление

Введение.....	5
1 Литературный обзор по электроимпульсному разрушению горных пород	7
1.1 Физическая суть электроимпульсного разрушения	7
1.2 Инициирование каналом разряда волны давления, трещинообразование и разрушение.....	11
1.3 Достоинства и недостатки ЭИ Способа бурения.....	12
1.4 Использование ЭИ эффекта в бурение горных пород.	14
1.5 Возможность применения комбинированного бурения (ЭИ и механически)	15
1.6 Влияние формы электродов и межэлектродных расстояний на электроимпульсное разрушение горных пород	17
1.7 Влияние давления на электроимпульсные разрушения твердых и жидких диэлектриков	19
2 Цель работы	37
3. Методика эксперимента	38
3.1 Испытательная камера.....	38
3.2 Высоковольтный генератор (ГИН – 300)	39
3.3 Система регистрирования сигналов (напряжения и тока).....	43
3.4 Подготовка образцов с учетом пропитки образцов специальным буровым раствором.	44
4. Результаты экспериментов.....	46
4.1 Влияние рабочего напряжения и энергии на степень нарушения поверхности	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Сравнения глубины внедрения разряда с атмосферным давлением	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Сравнения пробивного напряжения песчаника при повышенных давлениях с атмосферным давлением.....	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.
5. Задание для раздела «социальная ответственность».....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1. Техногенная безопасность	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей.....	Ошибка! Закладка не определена.

- 5.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.2.1. Опасность от электрического тока **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.2.2 Пожара безопасность и работа с повышенным давлением **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4 Экологическая безопасность..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:
..... **Ошибка! Закладка не определена.**
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности иб ресурсосбережение
..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.1.1. SWOT- анализ **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.2. Планирование управления научно-исследовательской работы **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) . **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.3.1 Материальные затраты НИР **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы
..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)
..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.3.5 Накладные расходы **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта
..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.5 Оценка научно-технического уровня НИР..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- Список литературы **Ошибка! Закладка не определена.**

Введение

Развитие горнорудной и нефтегазовой промышленности характеризуется все возрастающими объемами добычи полезных ископаемых, увеличилась доля буровых работ в крепких горных породах. Увеличиваются объемы работ в особо крепких породах для бурения скважин, самых разных назначений, для геолого–разведочных работ, сооружения промышленных объектов и т.д.

На данный момент одним из перспективных способов разрушения горных пород является комбинированное использование электроимпульсного (ЭИ) и механического способов бурения.

ЭИ способ использует для разрушения твердых диэлектрических и полупроводящих материалов энергию разрядного канала при электрическом пробое горной породы. ЭИ способ разрушения был открыт в начале шестидесятых годов в Томском политехническом университете [1].

По сравнению с традиционными способами ЭИ способ разрушения позволяет снизить энергоемкость буровых работ, за счет силы растяжения, которая оказывает разрушающее действие. Энергетическая эффективность разрушения мало зависит от прочности горной породы. Максимальный технико-экономический эффект достигается при разрушении особо крепких горных пород и бурения скважин больших диаметров. [2]

Одним из недостатков ЭИ бурения являются высокие градиенты напряжения, жесткие требования к параметрам импульса, что является сдерживающим фактором для внедрения ЭИ технологии в производство, в частности для применения при бурении скважин.

На данный момент для разрушения (бурения) крепких горных пород, ведется разработка погружных генераторов импульсных напряжений. Следующим этапом развития технологии бурения является комбинирование электроимпульсного и механического метода бурения. Здесь важна достаточная

гибкость в энергии импульса, подаваемого на забой, и возможность справиться с окружающими условиями, присущим глубоким скважинам.

В скважинах глубиной 3-4 км характерно повышенное давление, что сказывается на производительности буровых работ ЭИ способом. В связи с этим возникает вопрос исследования эффективности бурения различных горных пород при повышенных давлениях [3].

Также актуален вопрос определения оптимального межэлектродного расстояния и энергии единичного импульса при ЭИ разрушении горных пород и бурении скважин.

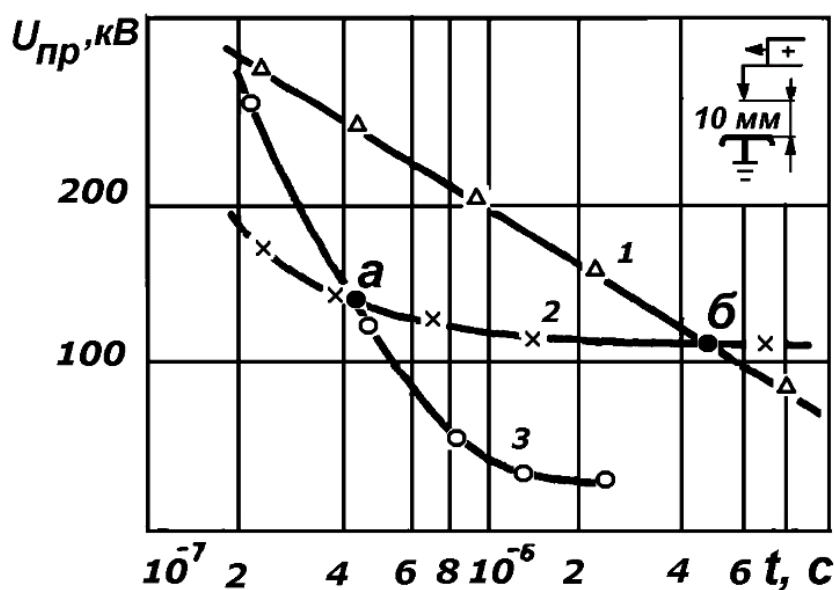
Данная выпускная квалификационная работа посвящена исследованию эффективности технологии электроразрядного повреждения поверхностного слоя горных пород при повышенных гидростатических давлениях.

1 Литературный обзор по электроимпульсному разрушению горных пород

1.1 Физическая суть электроимпульсного разрушения

Сущность электроимпульсного способа состоит в разрушающем действии электрического разряда при пробое твердых тел. Динамическое поле механических напряжений возбуждается ударными волнами, вызванными переменным во времени давлением в канале электрического пробоя.

При исследовании электрической прочности твердых и жидких диэлектриков на импульсных напряжениях при временах экспозиции порядка ($10^{-6} - 10^{-7}$) с. скорость нарастания их электрической прочности изменяется по-разному (рисунок 1). Снижение электрической прочности твердых диэлектриков по сравнению с жидкими, можно добиться изменением времени воздействия напряжения или увеличением крутизны фронта импульса. [1,2,]

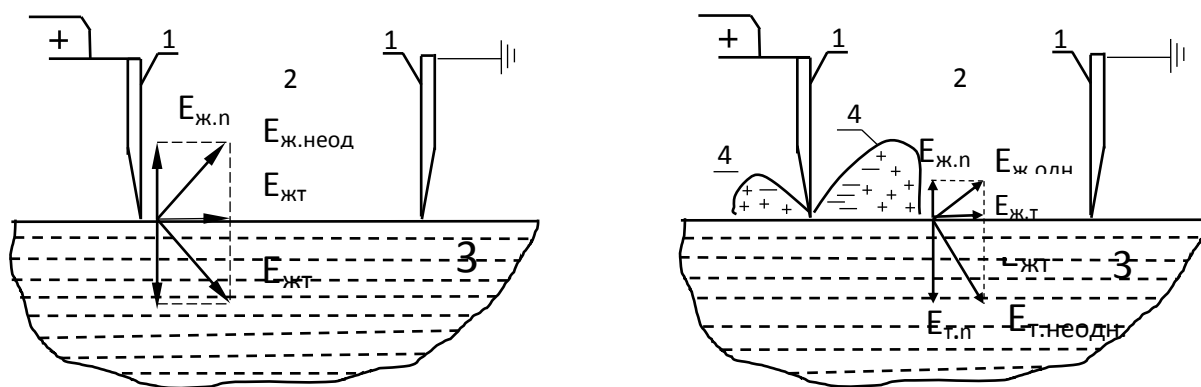


1 - трансформаторное масло, 2 – гранит, 3 – техническая вода.

Рисунок 1 – Вольт-секундные характеристики пробоя диэлектриков

По теории Г.А Воробьёва [4] одним из основных факторов, влияющих на развитие канала пробоя, является объемный заряд (ОЗ), накапливающийся в жидкости вблизи стержневых электродов по мере осуществления

ионизационных и лавинно–стримерных процессов (рисунок 2). Объемный заряд в первую очередь приводит к выравниванию электрического поля в жидкости. Процесс этот динамически и в очень значительной степени зависит от напряженности электрического поля на острие и времени воздействия напряжения. Происходит накопление объемного заряда в жидкости, что приводит к уменьшению напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке между границей ОЗ и выравниванию поля в жидкости. В связи с этим дальнейшее продвижение стримерных разрядов вглубь межэлектродного промежутка снижается, а лавинно стримерные процессы происходят между границей ОЗ. и противоположенным электродом.



1–электроды; 2–жидкий диэлектрик; 3–твёрдый диэлектрик; 4–объёмный заряд; $E_{т.п.}$, $E_{ж.п.}$ – нормальная; $E_{т.т.}$, $E_{ж.т.}$ – тангенциальная; $E_{т.неодн.}$, $E_{ж.неодн.}$, $E_{ж.одно.}$ – суммарные составляющие напряженности в неоднородных полях в твердых и жидких диэлектриках соответственно; а – до образования ОЗ; б – ОЗ образован [4].

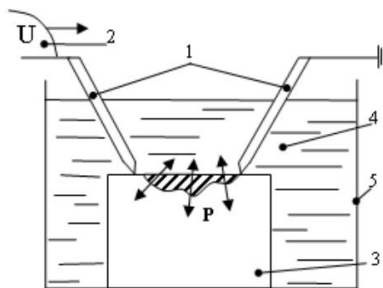
Рисунок 2 – Схематичное распределение напряженности электрического поля в диэлектриках;

При необходимой величине напряжения (напряженности) на остром электроде напряженность на головке стримера оказывается достаточной для зажигания разряда в твердом теле. Таким образом, вблизи острого электрода возникает зона, занятая ОЗ, в которой разряд в твердое тело не может быть внедрен. Внедрение канала разряда в твердое тело всегда начинается на

границе ОЗ. Это зона представляет собой эллипс вокруг острейшего электрода, большая ось которого направлена в сторону противоположенного электрода. Таким образом, можно предположить, что объёмный заряд в жидкости в близи острейшего электрода создает квазиоднородное поле, что препятствует дальнейшему развитию напряженности электрического поля на границе объемного заряда. Пробивное напряжение жидкого диэлектрика в пределе будет соответствовать однородному полю $U_{ж.одн.}$. В твердом диэлектрике поле будет оставаться резконеоднородным и определяется конфигурацией каналов стримерных разрядов по поверхности раздела твердого тела–жидкость. Стримерные каналы будут распространяться в твердом и в жидком диэлектрике. Будет идти конкуренция двух разрядов в жидком и в твердом диэлектрике. Скорость развития разряда в жидком диэлектрике меньше ($v_{жид.} \sim 10^5$ см/с), по сравнению с твердым диэлектриком $v_{тверд.} \sim 10^6$ см/с [4,5]. Стримерные каналы по твердому диэлектрику замкнутся в противоположенный электрод быстрее, чем в жидком диэлектрике. Произойдет пробой твердого диэлектрика. Далее выделяется энергия в разрядный канал в твердом диэлектрике.

1.2 Возможности внедрения разряда в твердое тело в жидкой среде

При подаче импульсного напряжения, с соответствующей крутизной фронта в системе наложенных электродов на поверхность горных пород, находящихся в жидкости (рисунок 3), вероятность прохождения разрядного канала в твердом теле будет больше чем 50% [6,].



1 –электроды; 2–импульсное напряжение; 3 – образец; 4 – жидкость
заземленный электрод; 5 – бак;

Рисунок 3 – Схема электроимпульсного пробоя твердых тел

Для образования откольной воронки необходимо достаточное быстрое выделения необходимой энергии в разрядном канале. При пробое в канале произойдет микро-электровзрыв, что приведет к разрушению горной породы

Из опыта известно, что для твердых диэлектриков пробивные градиенты, по сравнению с жидкими и газообразными диэлектриками, на промышленной частоте и на постоянном токе выше. Поэтому, для того чтобы разрядный канал проходил в твердом диэлектрике, окруженной жидкостью, необходимо сочетание некоторых условий, отдельных явлений и закономерностей.

Для инициирования разряда в твердом диэлектрике необходимо соблюдение параметров импульса, таких как крутизна импульса, длительность воздействия напряжения и амплитуда напряжения.

Так как инструментом разрушения является плазма, износ электродов, изготовленных из обычных сталей чрезвычайно мал и составляет порядка $15,3 \cdot 10^{-6}$ г/имп [7].

Существует две стадии ЭИ эффекта

Для разработки источников импульсов высокого напряжения и буровых снарядов с надежной изоляцией, прогнозировании эффективных режимов бурения горных пород необходимы сведения о величине, характере и целесообразных границах регулирования параметров нагрузки, создаваемой на объекте разрушения электрическим разрядом.

Разрушение твердых диэлектрических материалов (горных пород) электрическим разрядом в их толще происходит в две стадии [8].

– Пробивная стадия.

Образования канала пробоя в твердом теле, обусловленное условиями формирования разряда в твердом диэлектрике (стадия формирования разряда).

Параметры импульсов в первой стадии, необходимые при ЭИ бурении для образования с достаточной степенью вероятности канала пробоя в твердом

диэлектрике, определяются соотношением электрических прочностей пробиваемой породы, промывочной жидкости и границы их раздела.

– После пробивного стадия

Резкое расширение канала пробоя и разрушение горной породы, вызванное выделением электрической энергии в канале разряда (Завершающая стадия)

Параметры импульсов во второй завершающей стадии определяются сопротивляемостью материала разрушающим усилиям, создаваемым электрическим разрядом в твердом теле. Различие свойств горных пород и промывочной жидкости, влияющих на выбор параметров импульса в различных стадиях разряда, вызывают необходимость исследования по оптимизации параметров нагрузки в каждой стадии отдельно.

1.3 Инициирование каналом разряда волны давления

Когда образуется канал сквозной проводимости между электродами (канальная стадия развития разряда), по нему протекает импульсный ток (до 10 кА и более) и в течение короткого времени (10^{-6} с) выделяется основная энергия накопителя (конденсатора). Вещество в канале разряда находится в состоянии низкотемпературной плазмы ($T=10-12 \cdot 10^3$ °С, давление 10^9 Па) [6,14].

Суммарное действие растягивающих напряжений давлением (1–100 МПа) вокруг создаваемого разрядного канала, развиваемого в нем, высокие температуры ($4 \cdot 10^3 - 30 \cdot 10^3$ °К) и напряжения, возникающие в среде, создают условия для образования ударных волн. К каналу пробоя такие волны распространяются перпендикулярно, создавая растягивающие напряжение. При воздействии косоугольной волны импульсного напряжения в разрядном канале образуется и распространяется ударная волна. Максимальная скорость фронта ударной волны достигает величины порядка 3600 – 4000 м/с. На фронте ударной волны создается давление около $(2,2 - 3,5) \cdot 10^3$ МПа. Плазма канала пробоя расширяется и оказывает разрушающее воздействие на горную породу. Так как инструментом разрушения является плазма, износ электродов,

изготовленных из обычных сталей чрезвычайно мал и составляет порядка $15,3 \cdot 10^{-6}$ Г/имп.

1.4 Достоинства и недостатки ЭИ Способа бурения

На основании многочисленных исследований и опытов бурения, резания и дробления горных пород и руд проведен подробный анализ преимуществ электроимпульсного способа разрушения перед существующими и разрабатываемыми методами. Приведем лишь наиболее существенные достоинства разрушения твердых тел электрическими разрядами в их толще. [8]

- Способ канализации электрической энергии к электродной системе на забое скважины и её преобразование в энергию поля механических напряжений, создаваемых электрическим разрядом в горной породе, осуществляется без промежуточных ступеней её преобразования в другие виды энергии, характерных для иных методов воздействия на разрушаемый объект.
- Простота создания больших мощностей на забое скважин.
- Скорость и энергоемкость бурения определяются, главным образом, упругими и электрофизическими характеристиками твердых диэлектриков, а зависимость от их твердости и абразивных свойств незначительна.
- Износ бурового наконечника незначителен, поскольку рабочим органом, разрушающим породу, является, по существу, электрический разряд в твердом теле. Известно, что около половины затрат при существующих способах бурения приходится на стоимость долота (коронок). При электроимпульсном бурении имеется возможность проходки сотен метров скважин без смены бурового наконечника.
- Разрушение породы происходит под действием динамических усилий растяжения, возникающих при выделении электрической энергии в канале пробоя. Известно, [3,14] что механическая прочность на растяжение меньше, чем на сжатие, что создает благоприятные условия

для повышения эффективности использования энергии, подводимой к забою скважины при электроимпульсном способе бурения

- Возможность получения высоких скоростей и малая энергоемкость бурения пород высокой крепости.

ЭИ способ имеет большие резервы дальнейшего увеличения производительности и снижения стоимости буровых работ, что позволяет существенным образом улучшить его технико-экономические показатели. [21]

Основными направлениями в решение этой задачи являются:

- Применение дешевых и недефицитных промывочных жидкостей, обеспечивающих с достаточной степенью вероятности развития пробоя в толще разрушаемого тела.
- Повышения производительности бурения за счет увеличения межэлектродных промежутков, частоты следования импульсов и эффективности разрушения под воздействие каждого импульса путем оптимизации его параметров на всех стадия процесса разряда.
- Обеспечение надежной работы изоляции буровых снарядов и электроимпульсных установок в длительных режимах их работ.
- Совершенствования технологических схем и, главным образом, разработка и выбор технических средств и источников импульсов, обеспечивающих эффективные режимы бурения горных пород.

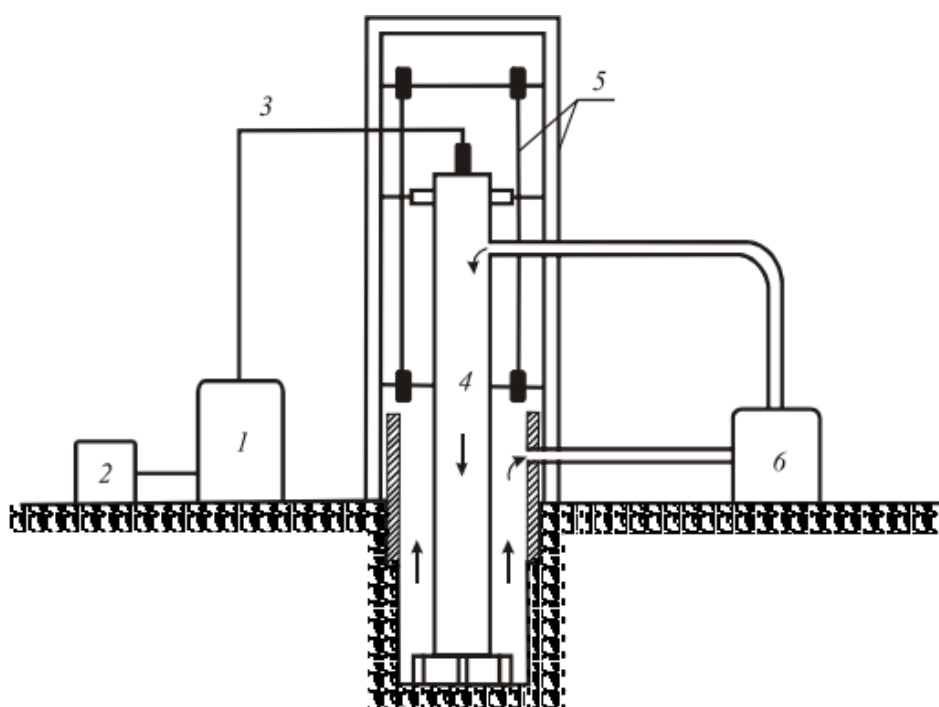
Решения этих проблем возможно лишь при дальнейшем исследовании физических основ электроимпульсного способа бурения и совершенствовании на этой основе техники и технологии отдельных этапов процесса бурения скважин.

Недостатки ЭИ бурения: высокие градиенты напряжения, жесткие требования параметрам импульса, которые являются сдерживающим фактором для внедрения ЭИ технологии в производство, в частности для бурения скважин.

1.5 Использование ЭИ эффекта в бурении горных пород.

Бурение горных пород является одной из основных и дорогостоящих операций в разведке и добыче полезных ископаемых.

Инструментом разрушения при ЭИ-способе является электрическая импульсная искра, сформированная в толще горные породы между электродами, наложенными на ее поверхность (рисунок 4). Энергия импульса передается на рабочий снаряд (коронку) с поверхности земли или из источника импульсов, собранного внутри буровой трубы, расположенной над рабочим снарядом. Динамическое поле механических напряжений в горной породе возбуждается ударными волнами, вызванными переменным во времени давлением в канале разряда. В результате при достаточной энергии импульса происходит отрыв части горной породы, расположенной над каналом разряда.



1 – источник высокого импульса; 2 – пульт управления; 3 – высоковольтный токопровод; 4 – буровой снаряд; 5 – спускоподъемный механизм; 6 – промывочный узел;

Рисунок 4 – технологическая схема электроимпульсного бурения [6].

Главными узлами буровых снарядов являются буровые наконечники, колонна буровых труб и высоковольтные вводы.

По энергетической эффективности ЭИ-способ [10] применительно к процессам, реализующих разрушение горных пород с одной свободной поверхности (бурение, резание, сьем поверхностного слоя), заметно предпочтительнее большинства других способов (таблица 1).

Таблица 1 – Энергоемкость бурения скважин различными способами

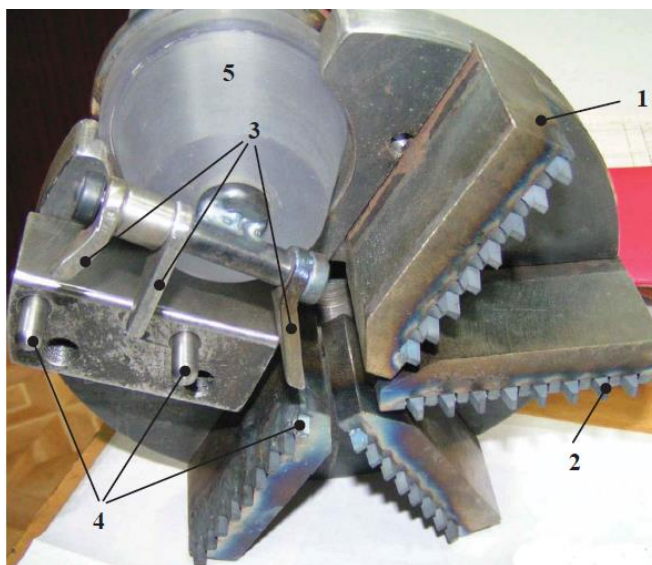
Способ бурения	Удельная энергия разрушения Дж/см ³ (кГм/см ³)
Ударный;	700–950 (71.4–96.8)
Вращательный: бурение шарошками, алмазное бурение:	600–800 (61.2–81.5)
Ударно-вращательный:	400–600 (40.8–61.2)
Взрывной	200–400 (20.4–40.8)
Гидравлический	1000–2000 (102–204)
Электротермический	5000 (510)
Электроимпульсный	100–200 (10.2–20.4)

Как видно из таблицы 1, энергоёмкость бурения ЭИ способом значительно меньше по сравнению с традиционными способами.

1.6 Возможность применения комбинированного бурения (ЭИ и механическое)

В работе [3] при разработке комбинированного бурового снаряда доказана эффективность применения ЭИ разрушения к механическим буровым

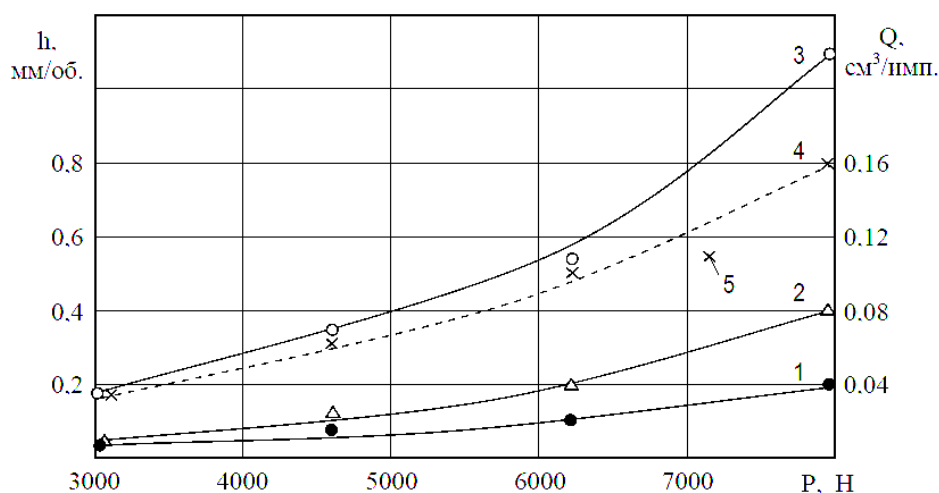
коронкам. На рисунке 5 показан буровой наконечник для разрядно-механического бурения.



1 – держатель, 2 – резцы, 3 – высоковольтные электроды, 4 – заземленные электроды, 5 – высоковольтный ввод

Рисунок 5 – Буровой наконечник для разрядно механического бурения

Эффективность бурения разрядно–механическим способом увеличивается 5,7 раз при механическом усилии на наконечник $P= 8000$ Н по сравнению с механическим способом бурения. На рисунке 6 представлены зависимости глубины бурения и производительности разрушения известняка от силы давления буровых резцов.



1 – механическое бурение; 2 – разрядно-механическое бурение при $n = 120$ имп/об.; 3 – разрядно-механическое бурение при $n = 320$ имп/об.; 4 –

производительность разрядно-механического бурения при $n = 320$ имп/об.; 5 – то же, что и 4, но для гранита

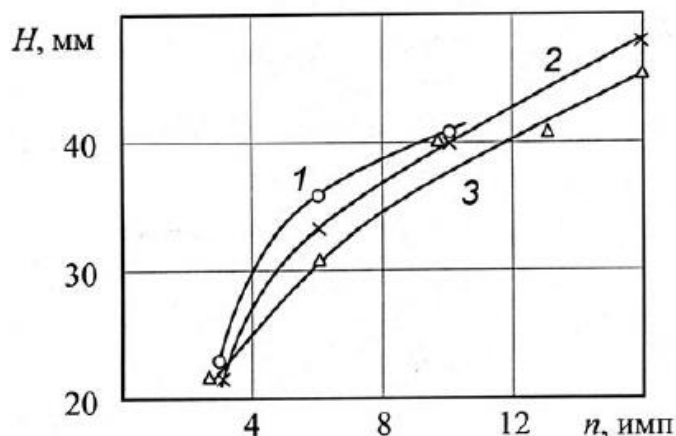
Рисунок 6 – Зависимости глубины бурения и производительности разрушения известняка от силы давления буровых резцов.

Эффективность бурения разрядно-механическим способом в зависимости от давления при разном числе воздействующих импульсов предпочтительнее рассмотреть для производительности разрушения Q , т.е. от объема разрушения за 1 импульс. Тем более, что энергия импульсов оставалась неизменной. Зависимость $Q = f(P)$ при 320 имп/об (рисунок 6, кривая 4), показывает, что производительность в исследуемом диапазоне P возрастает в 4,51 раза с увеличением силы давления в 2,67 раза. Для сравнения приведено значение Q (точка 5) для гранита при $P = 7200$ Н. Эта величина несколько меньше, чем для известняка, что обусловлено большей механической прочностью гранита. Но для песчаника при $P = 7200$ Н производительность в 2,7 раза больше, чем для известняка, что, в первую очередь, обусловлено вкладом механического резания.

1.7 Влияние формы электродов и межэлектродных расстояний на электроимпульсное разрушение горных пород

Форма и размер электродных систем влияют на глубину внедрения (разрушения) канала разряда в твердое тело. Глубина внедрения меньше глубины разрушения особенно для горных (хрупких) пород. Теоретически глубина внедрения при единичных воздействиях для $S = 1,0$ см составляет, $H_0 = 0.32S$ [11,13,19]. Отмечено, что с увеличением S относительная глубина внедрения уменьшается до $0.2S$ и менее. Практически для гетерогенных горных пород глубина разрушения для первых трех импульсов имеет значительный разброс. Средние значения относительной глубины разрушения для всех испытанных электродных систем при $n=3$ имп составляют $0.21 S \div 0.23S$ [11]. Увеличение числа воздействующих импульсов приводит к возрастанию глубины разрушения. При $n=16$ имп средняя относительная глубина

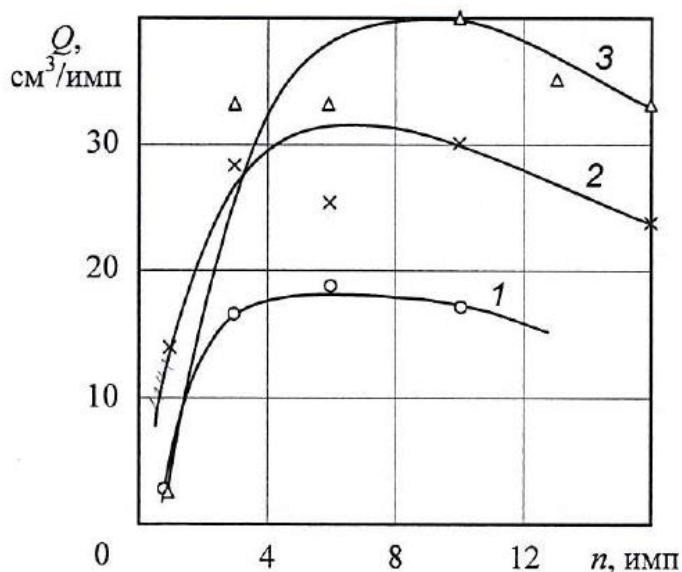
разрушения достигает $0.48S$, относительная глубина разрушения практически в 2 раза больше, чем при $n=3$ имп (рисунок 7.)



1 - «стержень-стержень», 2 - «стержень-пластина», 3 - «пластина-пластина»

Рисунок 7 – Зависимость глубины разрушения от числа импульсов для разных электродных систем при $S=140$ мм.

При незначительном отличии глубин разрушения для различных электродных систем производительность разрушения существенно возрастает при переходе от электродов «стержень-стержень» к электродам «пластина-пластина» (рисунок 8). Этот эффект, в первую очередь, связан с увеличением площади разрушения (ширины откольной воронки) для электродов «пластина-пластина» при $n \sim \text{const}$.



1 - «стержень-стержень», 2 - «стержень-пластина», 3 - «пластина-

пластина»

Рисунок 8 –. Зависимость производительности разрушения от числа импульсов для разных электродных систем

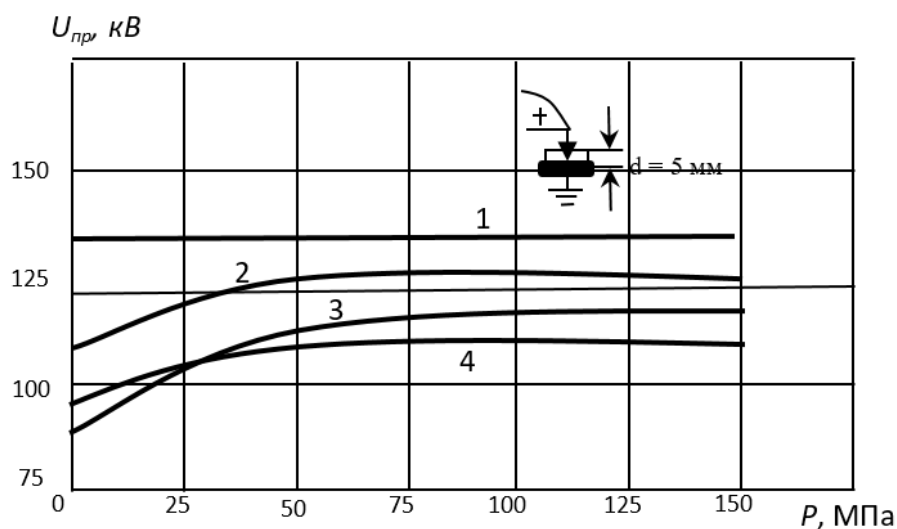
На основании полученных результатов в работе [11,12] можно сделать следующие выводы:

- форма электродов влияет на характеристики разрушения горных пород (гранита);
- пластинчатые электроды имеют существенно лучшие характеристики разрушения, чем стержневые.

Для проведения исследовательских работ нами были выбраны электроды пластинчатой формы так как показано на рисунке 8, при пластиночной форме производительность самая высокая.

1.8 Влияние давления на электроимпульсное разрушение твердых и жидких диэлектриков

Из анализа работ [16,17,18] по влиянию гидростатической нагрузки на импульсное пробивное напряжение твердых диэлектриков видно, что пробивное напряжение кварцита и фельзит-порфира с увеличением давления от атмосферного до ~5 МПа возрастают соответственно на 12 и 21 % (рисунок 9, кривая 2 и 4). Дальнейшее увеличение давления до ~5-15 МПа влияния на пробивное напряжение кварцита и фельзит-порфира не оказывает. С ростом давления от атмосферного до 5 МПа пробивное напряжение мрамора увеличивается от 87 до 120 кВ, т.е. на 29% (рисунок 9, кривая 3) и, начиная с давления 3.5 МПа, оно оказывается выше пробивного напряжения фельзит-порфира. Наибольшее увеличение пробивного напряжения мрамора (29%) имеет место с изменением давления от атмосферного до 5 МПа так же, как для кварцита и фельзит-порфира.



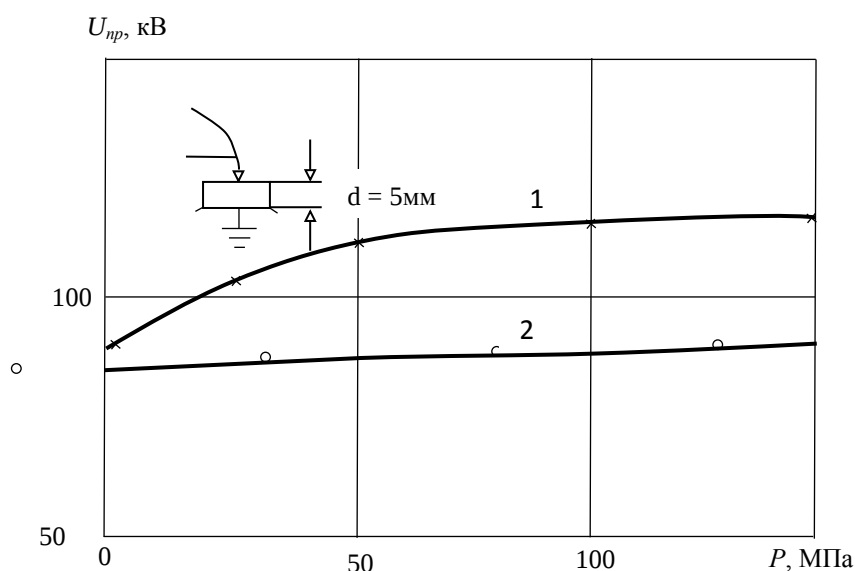
1-трансформаторное масло; 2-кварцит; 3-мрамор; 4-фельзит-порфир;

Рисунок 9 – Зависимость пробивного напряжения горных пород от давления на импульсах положительной полярности

Повышение импульсного пробивного напряжения исследованных горных пород с ростом давления, по-видимому, связано с двумя факторами:

- С некоторым упрочнением газовых пор породы под давлением;
- С интенсивным проникновением в поры породы трансформаторного масла, пробивное напряжение, которого при длительности импульсов $0,5 \cdot 10^{-6}$ с. выше пробивных напряжений кварцита, мрамора и фельзит-порфира;

Сжимаемость горных пород в интервале давления 5 до 15 МПа составляет несколько процентов [16,17] и не может оказать влияния на формирования разряда и величину пробивного напряжения. Следует отметить, что соотношение процентных повышений пробивных напряжений кварцита, фельзит–порфира и мрамора с изменением давления от атмосферного до 5 МПа равны 12,21 и 29 %, примерно пропорционально соотношению величин их пористости, которые соответственно равны 5.7, 3.4 и 11.9 %. То есть наибольшее увеличение пробивного напряжения с ростом давления оказывается у породы с большей пористостью (в данном случае у мрамора).



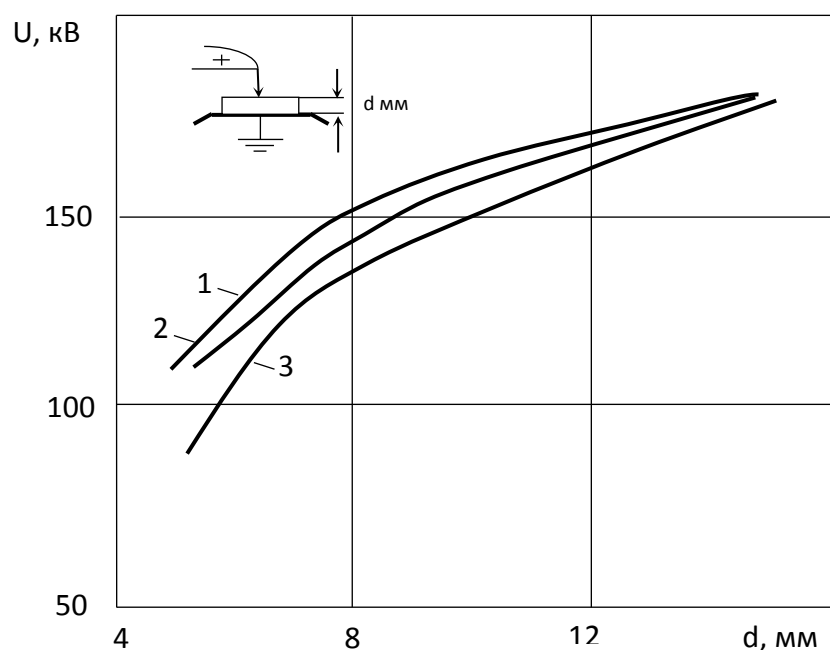
1 – образцы без лакового покрытия; 2 – образцы покрыты лаковой пленкой толщиной 0,01 мм;

Рисунок 10 – Зависимость пробивного напряжения мрамора от давления на импульсах положительной полярности длительностью $0,5 \cdot 10^{-6}$ с.

На рисунке 10 представлена зависимость импульсного пробивного напряжения мрамора [16,17] от давления при всестороннем сжатии. Пробой проводился в неоднородном поле с электродами «стержень–плоскость» на импульсах положительной полярности длительностью $0,5 \cdot 10^{-6}$ с. Одна партия образцов мрамора была изготовлена, как описано в [17], без покрытия, а другую с покрытием бакелитовым лаком. Толщина лакового покрытия составляло 0,01 мм. Лаковая пленка исключала пропитку образцов трансформаторным маслом в процессе их пробоя в камере под давлением.

Из рисунка 10 видно, что для образцов без лаковой пленки (рисунок 10, кривая 1) пробивное напряжение с увеличением давления от атмосферного до 15 МПа возрастает на 34 %. Для образцов, защищенных лаковой пленкой (рисунок 10, кривая 2) пробивное напряжение с изменением давления в указанном интервале практически не изменяется. Пятипроцентное увеличение пробивного напряжения мрамора в этом случае в расчет не принималось, т.к. эта величина лежит в пределах точности измерений.

На рисунке 11 представлена зависимость пробивного напряжения фельзит–порфира от толщины образца [16] при различных давлениях на импульсах положительной полярности длительностью $1 \cdot 10^{-6}$ с. Опыты проводились в неоднородном поле на образцах без лаковой пленки. Из рисунка видно, что при изменении давления (атмосферном, 5 МПа, 100 МПа) пробивное напряжение фельзит–порфира с увеличением толщины образцов возрастает. Характер зависимости пробивного напряжения от толщины (d) не является линейным. С ростом толщины наклон кривой $U_{np}=\varphi(d)$ уменьшается: кривая довольно близка к параболе. Микроскопическая неоднородность горных пород, наличие в них электрически слабых мест ведут к тому, что с увеличением толщины пробивное напряжение уменьшается вследствие увеличения вероятности существования слабых мест на пути разряда. С увеличением толщины образцов фельзит–порфира от 5 до 15 мм изменение пробивного напряжения с ростом давления уменьшается. Так увеличение давления от атмосферного до 10 МПа приводит к возрастанию пробивного напряжения образцов толщиной 5 мм примерно на 25 %, тогда как для образцов толщиной 10 мм всего на 12 %, а при толщине 15 мм влияние давления на пробивное напряжение фельзит–порфира не обнаружено. Представленная на рисунке 11 зависимость еще раз показывает, что некоторое повышение импульсного пробивного напряжения горных пород с изменением давления от атмосферного до 15 МПа связано не с уплотнением структуры породы, а с пропиткой образца жидкостью.



1 – 10 МПа; 2 – 50 МПа; 3 – атмосферное давление;

Рисунок 11.– Зависимость пробивного напряжения фельзит–порфира от толщины при различных давлениях (импульсы положительной полярности длительностью $1 \cdot 10^{-6}$ с)

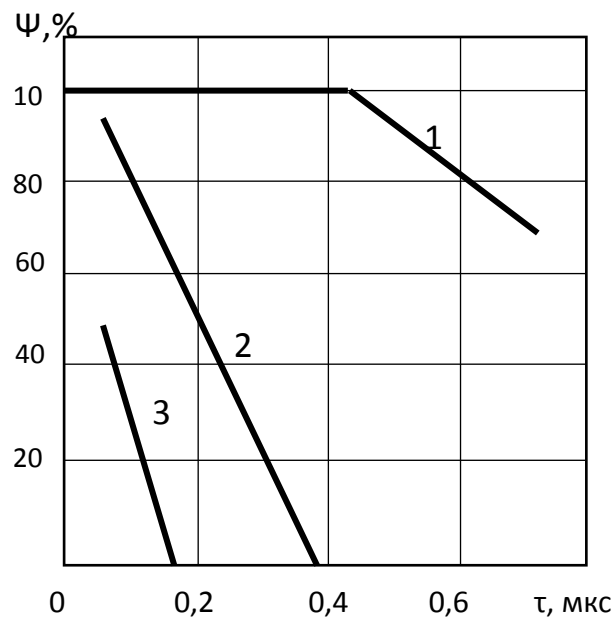
Таблица 2. – Пористость и относительное увеличение электрической прочности горных пород

Материал	Пористость, %	E_1/E_0
Известняк	5,7	1,58
Гранит	3,4	1,6
Песчаник	11,9	1,79

Из таблицы 2 видно, что для более пористого песчаника увеличение электрической прочности E_1 больше, по сравнению с гранитом и известняком. Так как пропитка жидким диэлектриком с увеличением давления больше для более пористой горной породы.

В работе [16] приведены исследования вероятности внедрения канала разряда в твердый диэлектрик. Пробой горной породы осуществлялся на фронте косоугольного импульса положительной полярности (рисунок 12) Результаты работы приведены в таблице 3 и на рисунке 12, откуда видно, что

вероятность внедрения канала пробоя во всем исследованном диапазоне изменений экспозиции напряжения для всех исследованных горных пород линейно возрастает с сокращением времени воздействия импульса напряжения на объекте. Для ряда пород при некотором критическом значении экспозиции напряжения ($\tau_{кр.}$) достигает 100% при сокращении времени до пробоя меньше $\tau_{кр.}$ вероятность внедрения остается неизменной ($\psi=100\%$).



1 – песчаник; 2 – гранит; 3 – мрамор;

Рисунок 12 – Зависимость вероятности внедрения канала пробоя в горные породы от времени воздействия импульса напряжения ($\rho = 3 \cdot 10^3$ Ом см, $S = 25$ мм)

Интенсивность нарастания вероятности внедрения увеличивается с повышением электрической прочности горных пород, однако абсолютные величины вероятности внедрения при этом ниже у пород с меньшей электрической прочностью. Так, например, при времени до пробоя $\tau=0,1 \cdot 10^{-6}$ с для мрамора $\psi=30\%$, а для гранита $\psi = 74\%$

Интенсивность роста вероятности внедрения разряда в породу с уменьшением экспозиции напряжения определяется электрической прочностью горных пород и увеличивается с повышением их пробивных напряжений.

Таблица 3 – Вероятность внедрения разряда в твердые диэлектрики

№	Горная порода	Пробивное напряжение, $U_{пр}$, кВ	Время до пробоя, мкс	Количество импульсов		Вероятность внедрения, ψ , %
				Внедрение	Перекрытие	
1	Песчаник	240	0,1	30	0	100
			0,25	30	0	100
			0,5	26	4	88
			0,6	22	8	76
			0,7	19	11	65
2	Гранит	350	0,05	28	2	92
			0,1	22	8	74
			0,25	11	19	37
			0,45	0	30	0
3	Мрамор	410	0,05	13	17	42
			0,1	9	21	30
			0,15	3	27	10
			0,25	0	30	0

В работах [16] проведены исследования эффективности ЭИ разрушения твердых диэлектриков при их сквозном пробое в условиях повышенных гидростатических давлений.

Импульсный электрический пробой газообразных, жидких и твердых диэлектриков сопровождается мощным кратковременным выделением энергии в узком проводящем канале. Количество и скорость её выделения зависит от параметров разрядного контура (емкость, индуктивность активное сопротивление и д.р.), параметров импульса и материала пробиваемого

диэлектрика. Общая энергия, выделяющаяся в канале разряда за время t при пробое диэлектрика, определяется как

$$W_{\text{общ}} = \int_0^t I E \delta dt, \quad (1)$$

Где I – ток разряда;

E – продольный градиент потенциала в канале разряда;

δ – длина канала.

Эта энергия в основном расходуется на:

- Повышение температуры вещества, находящегося в канале пробоя;
- Ионизацию и диссоциацию, атомов и ионов в канале разряда диэлектрика;
- Расширение канала пробоя, связанное с образованием ударной волны и производством механической работы разрушения;
- Потери за счет теплопроводности диэлектрика;
- Световое излучение;
- Электромагнитное излучение;
- Плавление стенок канала;

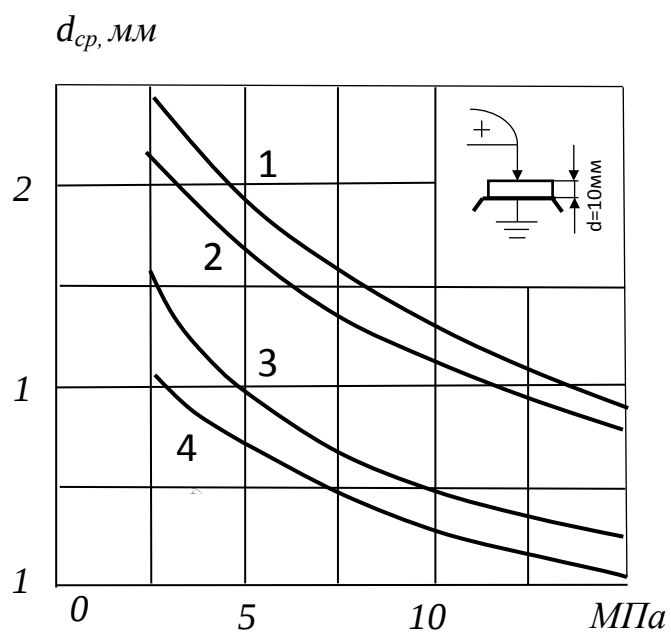
В работах [16, 19] установлено, что в определенных условиях наибольшая часть энергии в канале разряда выделяется в первый полупериод колебания тока после пробоя. Для твердых диэлектриков оно может составлять до 70% от общей энергии, выделяющейся в канале разряда. При достаточной энергии и мощности в канале импульсного разряда в твердом диэлектрике возникшие ударные волны высокого давления приводят к механическому разрушению диэлектрика, обусловленному разрывом его сплошности и трещинообразованию. Изменяя параметры разрядной цепей, а также параметры импульса и условия пробоя, можно регулировать количество и скорость выделения энергии в канале разряда, а, следовательно, и эффективность

разрушения твердых непроводящих и полупроводящих тел при их импульсном электрическом пробое.

В связи с исследованием возможности бурения глубоких скважин электроимпульсным способом представляло научный и практически интерес оценить возможное изменения эффективности электроимпульсного разрушения твердых тел в условиях повышенных гидростатических давлений имеющих место на забое скважины.

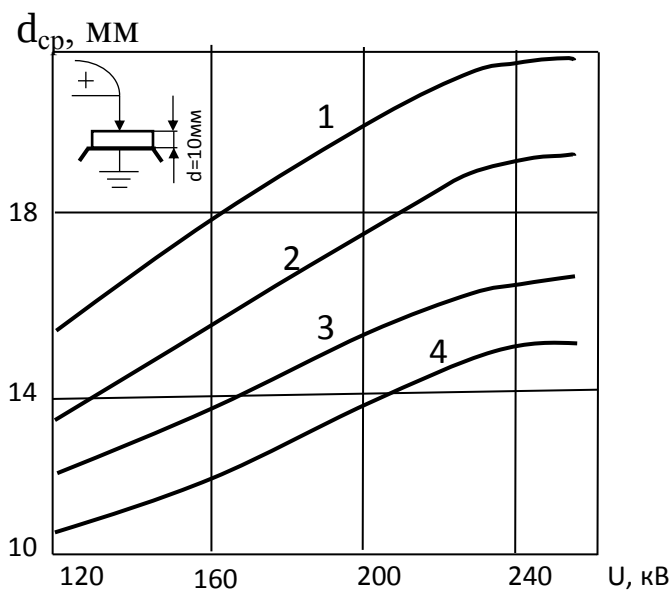
Наличие внешнего гидростатического давления, при всех прочих неизменных условиях, будет уменьшать эффект электроимпульсного разрушения. Для преодоления внешних сил давления одинаковый эффект разрушения может быть получен только при увеличении давления в канале разряда. Поэтому для устранения снижения эффективности ЭИ разрушения твердых тел в условиях повышенных давлений может потребоваться введение в канал разряда дополнительной энергии и увеличение мощности.

На рисунке 13 представлена полученная зависимость в работах [14,16]. Зависимость диаметра зоны трещинообразования от давления для образцов каменной соли при сквозном пробое на импульсах с длительностью фронта $0,6 \cdot 10^{-6}$ с и амплитудой 120, 170, 210, 254 кВ. Разрядная емкость 1,3 мкФ. Зависимость диаметра зоны трещинообразования от амплитуды импульса при повышенных давлениях представлена на рисунке 14



1 – 254 кВ; 2 – 210 кВ; 3 – 170 кВ; 4 – 120 кВ;

Рисунок 13 – Зависимость диаметра зоны трещинообразования в каменной соли при сквозном пробое на импульсах положительной полярности длительностью $0,6 \cdot 10^{-6}$ с различной амплитуды (разрядная емкость 1,3 мкФ)

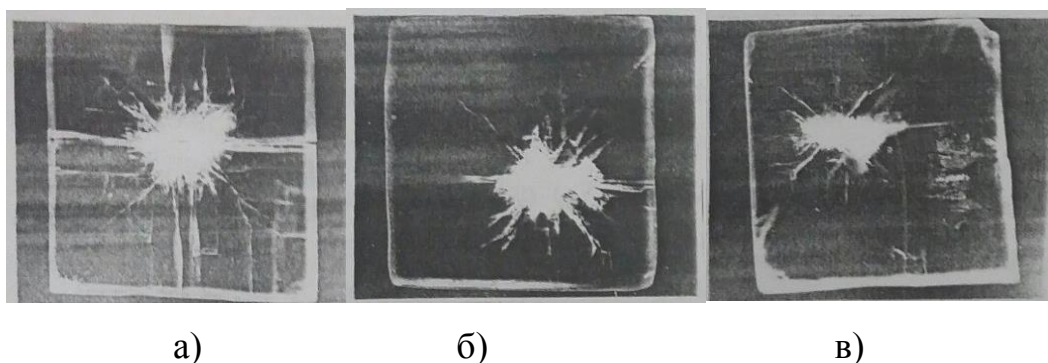


1 – 2,5 МПа; 2 – 5 МПа; 3 – 10 МПа; 4 – 15 МПа;

Рисунок 14 – Зависимость диаметра зоны трещинообразования в каменной соли от амплитуды импульса при различных давлениях

(сквозной пробой на импульсах положительной полярности
длительностью $0,6 \cdot 10^{-6}$ с, разрядная емкость 1,3 мкФ)

Как видно из рисунка 13,14 с увеличением давления от 2,5 МПа до 15 МПа диаметр зоны трещинообразования уменьшается, причем его относительное уменьшение с ростом давления от амплитуды импульса от 120 до 240 кВ примерно одинаково и составляет не более 30 %. Минимальный размер диаметра зоны трещинообразования оказывается больше длины канала разряда (толщина образца). Изменение диаметра зоны трещинообразования на образцах каменной соли с ростом давления при их пробое на импульсах с амплитудой 120 кВ иллюстрирует рисунок 15. Вокруг канала пробоя с оплавленными стенками от разрушения области по направлению к свободной поверхности образца распространяется радиальные и кольцевые трещины. При малых давлениях (2,5 5 МПа) несколько радиальных трещин могут достигать свободной поверхности образца. С увеличением давления количество радиальных и кольцевых трещин и их длина уменьшается. При атмосферном давлении образцы каменной соли разрушаются под действием сил растяжения путем хрупкого разрыва по одной из своих многочисленных плоскостей «спайности»; образцы разрушаются в том случае, когда нормальное растягивающее напряжение в плоскости перпендикулярной направлению растяжения достигает значения сопротивления отрыву сцепления



а) – давление 2,5 МПа; б) – давление 5 МПа; в) – давление 10 МПа;

Рисунок 15 – Изменение зоны трещинообразования в образцах каменной соли с ростом гидростатического давления;

Разрушение твердых диэлектриков при их импульсном пробое, происходит за счет напряжения сжатия на фронте ударной волны, а также растягивающих усилий, обусловленных отражением упругих волн от свободных поверхностей образца. В условиях повышенных гидростатических давлений пробиваемый образец подвергается деформации сжатия, обусловленной внешним давлением. Следовательно, в это случае для разрушения образца при импульсном пробое необходимо затратить энергию: во-первых, для преодоления сжимающих усилий и, во-вторых для преодоления межмолекулярных сил сцепления образца. Таким образом имеем

$$P_k = P_p + P_{вн}, \quad (2)$$

где P_k – внутреннее давления в канале разряда;

$P_{вн}$ – внешнее (гидростатическое) давление сжатия;

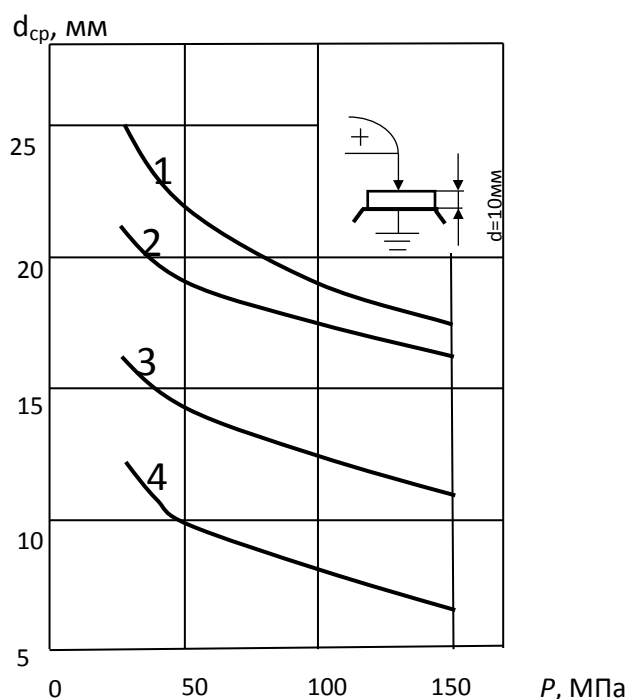
P_p – давление, необходимое для разрушения образца.

Давление в канале разряда (P_k) определяется величиной энергии в канале разряда и скоростью ее выделения. Давление, необходимой для механического разрушения образца при пробое (P_p), зависит от механической прочности материала образца и его линейных размеров. Внешнее гидростатическое давление ($P_{вн}$) определяет величину деформации сжатия образца. С увеличением гидростатического давления при постоянной энергии импульса, а также неизменной плотностью энергии и мощности в канале разряда, механической прочности образца данного материала и его линейных размеров, часть энергии, затрачиваемая на преодоление сжимающих усилий, возрастает, следовательно, эффект разрушения будет уменьшаться.

Изменение параметров контура и импульса позволяет регулировать эффективность электроимпульсного разрушения твердых диэлектриков. С увеличением энергии импульса более длительное время поддерживается высокое остаточное давление в канале разряда. Бризантность действия разряда

определяется скоростью расширения канала разряда и может регулироваться изменением параметров разрядного контура. В работе [16] с увеличением амплитуды импульса от 120 до 254 кВ при разрядной емкости 1,35 мкФ зона трещинообразования в образцах возрастает (рисунок 14). Однако, чем выше давление, тем меньше относительное возрастание зоны трещинообразования с увеличением амплитуды импульса. Например, при давлении 2,5 МПа с изменением амплитуды импульса от 120 до 254 кВ диаметр зоны трещинообразования увеличивается от 15,5 до 22,5 мм, т.е. порядка 50 %, тогда как при давлении 15 МПа всего на 37 % (рисунок 13)

Увеличение диаметра зоны трещинообразования, т.е. увеличение эффективности разрушения твердых тел при их импульсном пробое, можно получить изменением энергии источника, изменяя разрядную емкость.



1 – 19 мкФ; 2 – 16 мкФ; 3 – 5 мкФ; 4 – 1,25 мкФ;

Рисунок 16. Зависимость диаметра зоны трещинообразования каменной соли от давления при сквозном пробое на импульсах положительной полярности длительностью $0,6 \cdot 10^{-6}$ с с различной разрядной ёмкостью (амплитуда 120 кВ)

На рисунке 16 представлена зависимость диаметра зоны трещинообразования в образцах каменной соли от давления при пробое с различной разрядной емкостью (от 1,25 до 19 мкФ). Импульсы положительной полярности с длиной фронта $0,6 \cdot 10^{-6}$ с имели амплитуду 120 кВ.

Зависимость диаметра зоны трещинообразования от ёмкости при различных давлениях представлена на рисунке 17. Из рисунка 16 и 17 видно, что с увеличением разрядной ёмкости, т.е. с увеличением энергии импульса, эффективность разрушения твердого тела при импульсном пробое возрастает. При более высоких давлениях относительное увеличение диаметра зоны трещинообразования с изменением емкости уменьшается. Так как с увеличением ёмкости от 1,25 до 19 мкФ при давлении 2,5 МПа диаметр зоны трещинообразования увеличивается на 13 мм, а при давлениях 5 и 10 МПа соответственно на 12 и 11 мм.

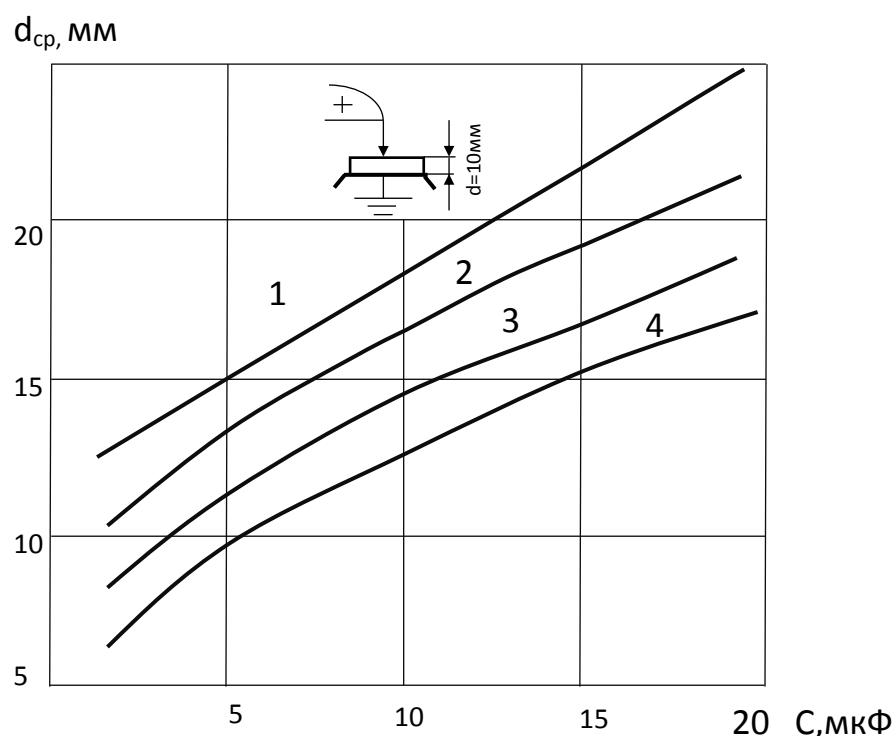
Энергия, запасенная в источнике, определяется как:

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} \quad (3)$$

где C – зарядная емкость;

U – амплитуда напряжения.

Квадратичное зависимость энергии импульса от амплитуды напряжения указывает на то, что регулирование эффективности электроимпульсного разрушения твердых тел при пробое прочих неизменных условиях наиболее рационально осуществлять изменением амплитуды импульса. Однако, как было установлено в экспериментах [16] пропорциональность возрастания диаметра зоны трещинообразования с увеличением амплитуды, начиная с некоторого значения, нарушается.



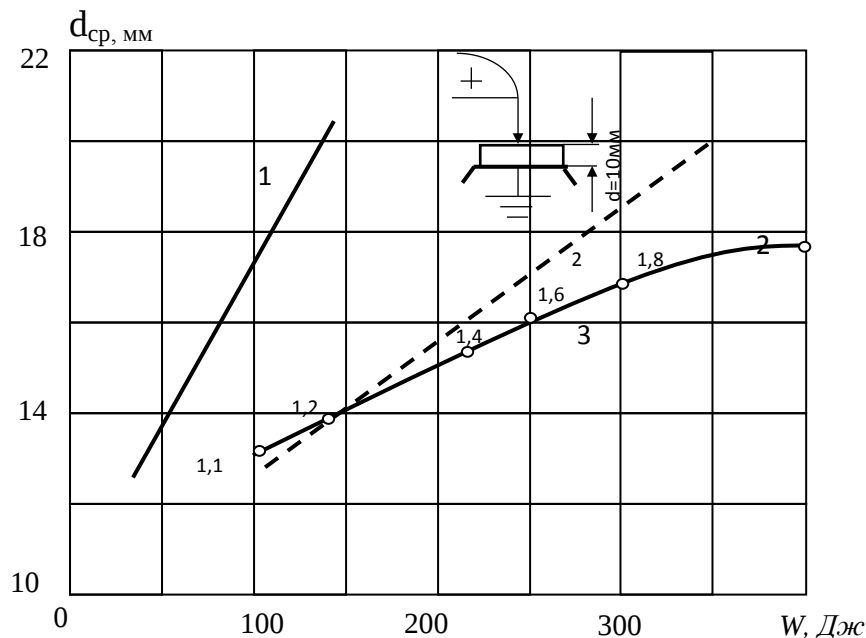
1 – 2,5 МПа; 2 – 5 МПа; 3 – 10 МПа; 4 – 15 МПа;

Рисунок 17. Зависимость диаметра зоны трещинообразования в каменной соли от разрядной емкости при сквозном пробое под давлением на импульсах положительной полярности длительностью $0,6 \cdot 10^{-6}$ с.[16]

На рисунке 18 приведена зависимость диаметра зоны трещинообразования в образцах каменной соли от энергии импульса при гидростатическом давлении 5 МПа. Цифры у точек на кривой 3 указывают величину перенапряжения на пробиваемом образце.

Из рисунка 18 видно, что, начиная с перенапряжения порядка $n = 1,5$, зависимость $d_{ср} = f(W)$ переходит как бы в зону насыщения. Дальнейшее увеличение амплитуды импульса оказывается менее эффективным. Отмеченное обстоятельство объясняется следующим образом. Полагают [20], что разрушение твердых тел при их импульсном пробое происходит в основном за время первого полупериода колебания тока после пробоя. С увеличением перенапряжения на пробиваемом образце доля энергии, выделяющейся в канале разряда за первый полупериод колебания тока уменьшается. Следовательно, несмотря на увеличение энергии импульса с ростом амплитуды,

относительное возрастание диаметра зоны трещинообразования уменьшается. Изменение доли энергии, выделяющейся в канале разряда за первый полупериод с увеличением перенапряжения при пробое каменной соли, по данным [20] представлено на рисунке 19.



1 – изменение энергии разрядной емкости; 2 – изменение энергии амплитудой напряжения (расчетная кривая); 3 – изменение энергии амплитудой напряжения (экспериментальная кривая);

Рисунок 18. Зависимость диаметра зоны трещинообразования в каменной соли от энергии импульса при сквозном пробое (длительностью импульса $0,6 \cdot 10^{-6}$ с) [16];

Если бы с ростом перенапряжения не уменьшалось доля энергии в канале разряда за время первого полупериода, то зависимость диаметра зоны трещинообразования от амплитуды импульса (или то же самое от энергии) имела бы прямолинейный характер. На рисунке 18 кривая 2 соответствует расчетному значению изменения диаметра зоны трещинообразования с ростом перенапряжения. При расчете принималось условия, указанные выше. С увеличением перенапряжения от 1 до 1,6 доля энергии, выделяющейся в канале разряда в первый полупериод, согласно [20] уменьшается на 40% (рисунок 19). В нашем случае (рисунок 18, кривая 2) с увеличением перенапряжения до 1,6

диаметр зоны трещинообразования увеличивается, однако относительно увеличения оказывается примерно на 40 % ниже, чем расчетное. Это обстоятельство указывает на правильность наших выводов.

Кривая 1 на рисунке 18 характеризует изменения диаметра зоны трещинообразования с ростом энергии импульса за счет разрядной ёмкости. Из рисунка 19 видно, что увеличение эффективности разрушения твердых диэлектриков при их сквозном импульсном пробое рационально осуществлять изменение разрядной ёмкости. Кроме того, увеличение энергии за счет повышения разрядной емкости сохраняет неизменными условия работы электрической изоляции, бурового устройства, что не имеет при увеличении амплитуды импульса.

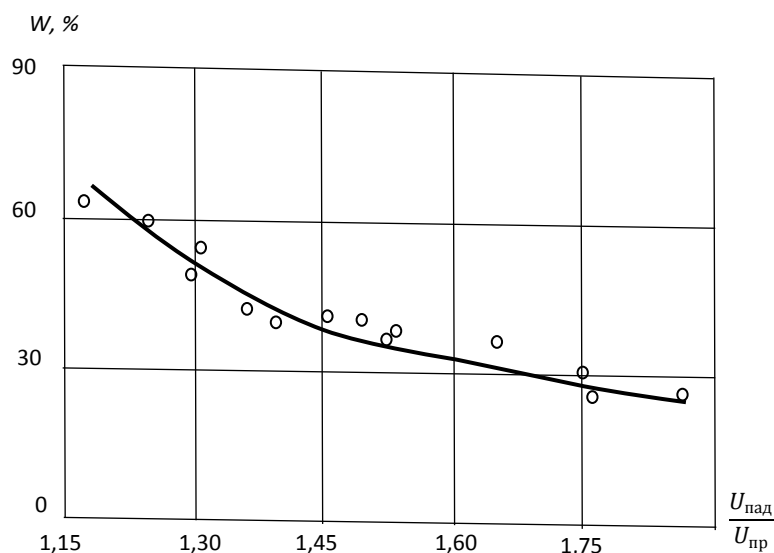


Рисунок 19. Зависимость доли энергии, выделяющейся в канале разряда при импульсном пробое каменной соли в первый полупериод колебания тока от величины перенапряжения [16]

На основе литературного обзора можно сделать следующие выводы.

- Зависимость эффективности трещинообразования в твердых диэлектриках от гидростатического давления, амплитуды импульса и разрядной емкости при сквозном импульсном пробое, с увлечением давления до 15МПа снижается размер зоны трещинообразования и

составляет более 30 % и при этом средняя длина трещин остается больше длины разрядного промежутка.

- Энергетически экономичнее компенсировать уменьшение зоны трещинообразования с ростом давления увеличением разрядной емкости, так как с увеличением амплитуды коэффициент перехода энергии в ударную волну за счет снижения доли энергии выделяющейся в канале разряда за первый полупериод колебания тока после пробоя, уменьшается и ухудшается условия работы электрической изоляции бурового устройства.

1.9 Цель работы

Настоящая работа является частью работ, направленных на разработку комбинированного (механический совместно с электроимпульсным) способа бурения при повышенных давлениях. Основной целью работы является исследовать удельные энергозатраты и производительность ЭИ разрушения при повышенных давлениях (7 МПа). Также необходимо провести сравнительный анализ относительного изменения пробивного напряжения, глубины внедрения канала разряда песчаника при повышенных давлениях с условиями атмосферного давления

По результатам работы [9] видно, что производительность разрушения при давлениях более $P \geq 7$ МПа не меняется. Поэтому в данной работе исследования влияния давления на разрушения поверхности горной породы производится при 7 МПа.

2. Методика эксперимента

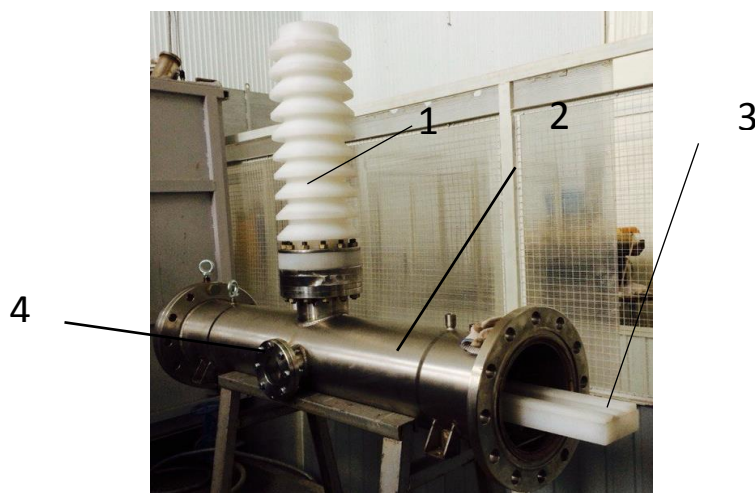
Выполнение необходимых исследований потребовало создания специальных установок, позволяющих проводить импульсное разрушение горных пород при повышенных давлениях. Характеристики установок приведены в главах 5.1 и 5.2

Разрушение поверхности образца песчаника ЭИ способом проводилось в системе электродов «пластина–пластина». Электроды изготовлены из нержавеющей стали, шириной 50 мм. Эксперименты повелись на пяти образцах песчаника.

2.1 Испытательная камера

Проведение эксперимента потребовало изготовления камеры высокого давления. Общий вид испытательной камеры для проведения экспериментов по электроимпульсному разрушению горных пород приведен на рисунке 20.

Корпус камеры (2) изготовлен из нержавеющей стали марки 12х18Н10Т, диаметром 320 мм и толщиной 20 мм. Наблюдение за передвижением образцов осуществляется через окна (4) на боковой части камеры. Платформа (3) для образцов градуирована.



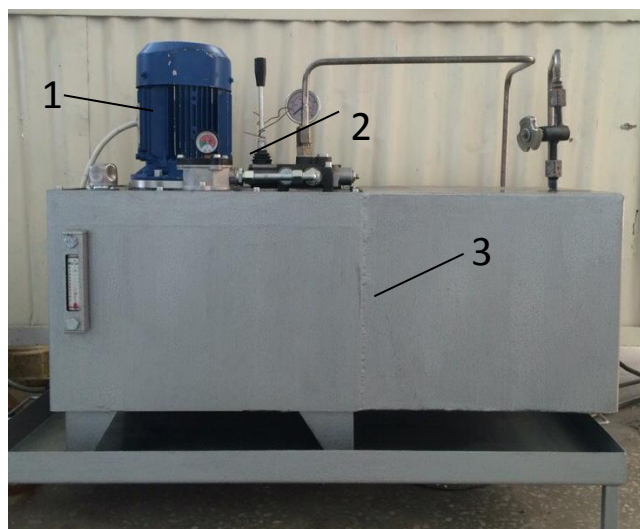
1 - Высоковольтный ввод; 2 Корпус; 3 Передвигающаяся платформа;

4 – окно для наблюдения

Рисунок 20 – Испытательная камера на давление до 7 МПа

Максимальное давление 7 МПа, напряжение 300 кВ, объем камеры 70 л. Платформа для образцов позволяет перемещать образцы, не открывая камеру. Количество образцов доступных для установки в платформу – 5 штук. Перемещение образцов осуществлялся с помощью асинхронного двигателя. Доступ в камеру осуществляется с торцевой стороны. Фланец при ввинчивании в корпус камеры прижимает алюминиевую прокладку к корпусу и обеспечивает необходимую герметичность.

Высокое напряжение подводится к электродной системе с помощью высоковольтного ввода (1). Рабочий объем камеры заполняется жидким диэлектриком. Давление жидкости в камере создается насосной станцией типа ДСН-1.1-6/50 (рисунок 21) до необходимого.



1 – асинхронный двигатель; 2 – рычаг для закачки масла; 3 – бак для хранения масла

Рисунок 21 – Насосная станция

2.2 Высоковольтный генератор (ГИН – 300)

Источником высокого напряжения являлся генератор импульсных напряжений Маркса с номинальным напряжением 300 кВ и емкостью в ударе 0.00275 мкФ. Длительность фронта импульса напряжения $\tau = 0.1$ мкс. Характеристическое сопротивление генератора составляло 16.3 Ом

На каждой ступени установлено 4 параллельно подключенных конденсаторов (рисунок 22, п 4). Генератор располагается в герметичной трубе

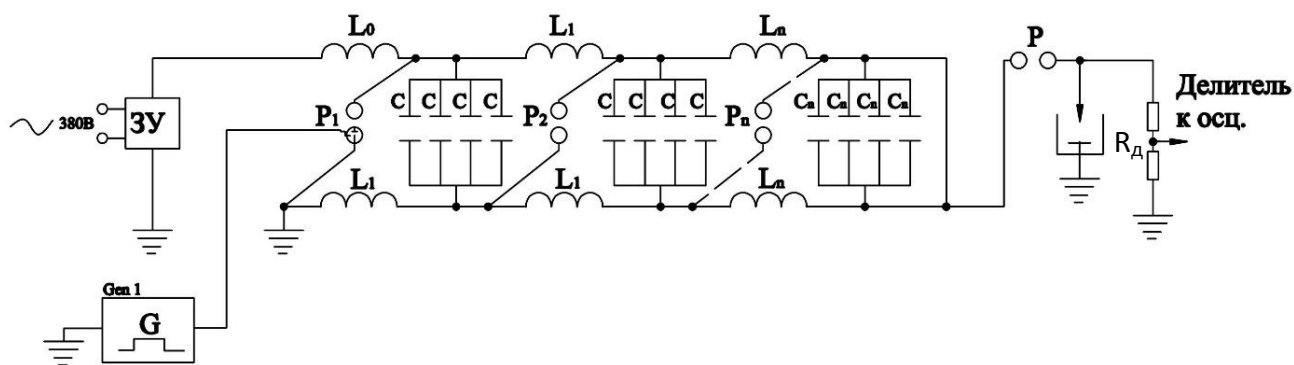
диаметром 320 мм. длиной 5 м, заполненной азотом под давлением (10 атм.), что позволяет сократить межэлектродное расстояние разрядников (рисунок 23 б, п.5) и уменьшить габариты генератора (рисунок 23 а). В качестве зарядного сопротивления служат катушки индуктивности (рисунок 23 б, п.3). В качестве опоры для конденсаторов используется полимерная труба диаметром 120 мм

Принципиальная схема ГИН и его внешний вид представлены соответственно на рисунке 22 и 23. Основные параметры приведены в таблице 4.

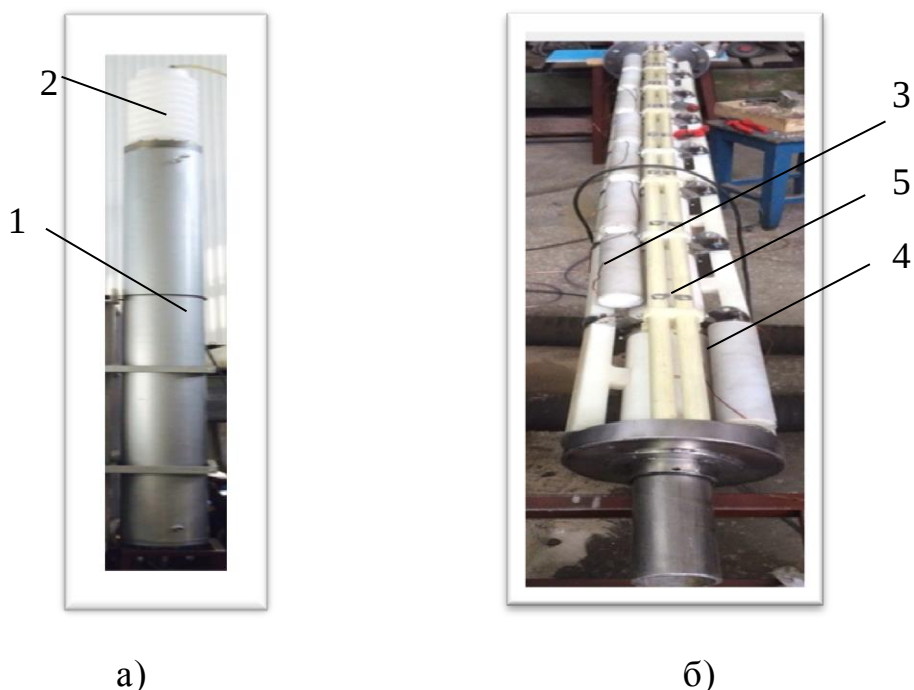
Таблица 4 – Параметры генератора

№	Наименование параметров и показателей	ГИН -300-0,08-32
1.	Количество конденсаторов в установке, шт	36
2.	Тип конденсаторов	K75–74
3.	Мощность зарядного устройства, кВА	36
4.	Номинальное напряжение конденсаторов ступени, кВ	40
5.	Номинальная частота импульсов, имп/с	1 – 10
6.	Количество ступеней, м.	8
7.	Емкость в ударе, мкФ	0,00275
8.	Максимальное рабочее напряжение, кВ	300
9.	Конструктивное исполнение	Колонковый

Регулирование величины зарядного напряжения производилось с помощью специального регулировочного трансформатора. Изменение величины амплитуды импульса осуществлялся посредством управляемых разрядника.



ЗУ – зарядное устройство; G – блок управления; L_0 - защитное индуктивность; L_1 - разделительные индуктивности; R_d - сопротивление делителя; C- емкость конденсатора; P- искровой промежуток;
 Рисунок 22 – Электрическая схема генератора импульсных напряжений и зарядного устройства (ГИН-300)

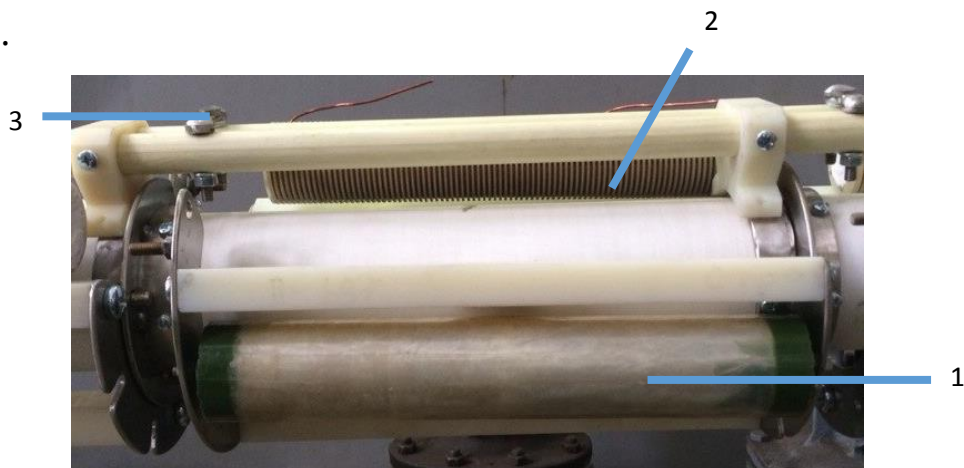


1 – корпус ГИН; 2 – высоковольтный вывод; 3 – зарядная индуктивность; 4 – конденсаторы К75–74; 5 – разрядники;

Рисунок 23 – Общий вид генератора импульсных напряжений (ГИН -300)

Генератор позволяет регулировать частоту следования импульса с помощью управляемого разрядника. Поджигающий импульс подается от блока управления (рисунок 17). Номинальная частота следования импульсов (1 – 10 имп/с).

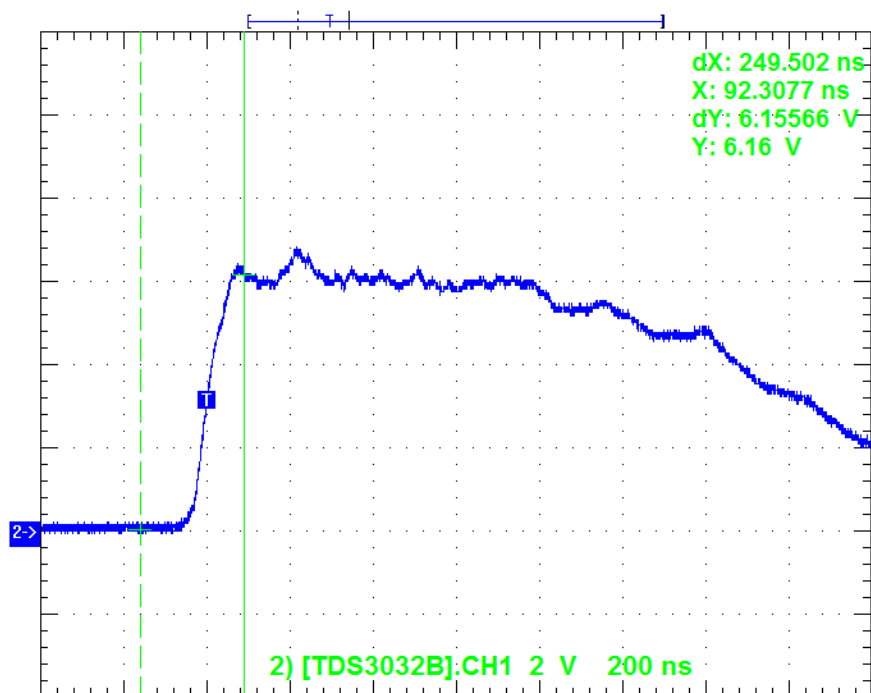
Конструктивное исполнение одной ступени ГИН представлена на рисунке 25.



1 – Конденсатор; 2 – Зарядная катушка индуктивности; 3 – Разрядник;

Рисунок 24 – Конструктивное исполнение ГИН

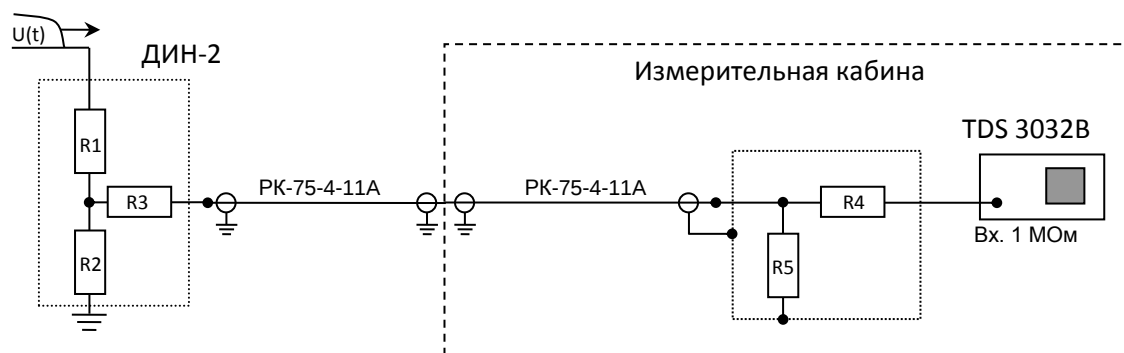
Генератор позволял получать импульсы напряжения положительной полярности амплитудой 300 кВ и длиной фронта $0,1 \cdot 10^{-6}$ с, на рисунке 22 представлен – импульс напряжения генератора на холостом ходу.



2.3 Система регистрирования сигналов (напряжения и тока)

Для регистрации осциллограмм $U(t)$ использовался цифровой запоминающий осциллограф типа TDS3032B. Временные и амплитудные развертки позволяли с достаточным разрешением и точностью проследить ход зависимости $U(t)$ в предпробивной и канальной стадиях.

Импульс напряжения, подаваемый на вход осциллографа, преобразовывался до приемлемого уровня с помощью омического делителя напряжения ДИН-2, с коэффициентом деления $k_U = 19$ кВ/В. Конструктивно ДИН-2 представляет собой изоляционную полиэтиленовую трубу с наружным диаметром 106 мм, высотой 1600 мм, снабженную с обеих сторон металлическими фланцами-экранами. Высоковольтное плечо ДИН сопротивлением $R_1 = 13,85$ кОм выполнено нихромовым проводом $d = 0,2$ мм, уложенным бифилярно в канавки. Внутри нижнего фланца-экрана расположено низковольтное плечо сопротивлением $R_2 = 1,5$ Ом. Оно выполнено из композиционных малоиндуктивных резисторов типа ТВО-0,25. Отбор сигнала производится через установленный на нижнем фланце коаксиальный разъем типа СР-75-166Ф. Гнездо разъема электрически связано с точкой соединения плеч делителя через резистор типа ТВО-0,5 с сопротивлением R_3 , равным волновому сопротивлению информационного коаксиального кабеля типа РК-75-4-11А. Сигнал поступает по указанному коаксиальному кабелю в экранированную измерительную кабину, где подается на высокоомный вход осциллографа. У входа в осциллограф кабель также нагружен на резистор ТВО-0,5-75Ом.



$R1 = 13.85 \text{ кОм}$, $R2 = 1,5 \text{ Ом}$, $R3 = 75 \text{ Ом}$, $R4 = 1 \text{ кОм}$, $R5 = 75 \text{ Ом}$

Рисунок 26 – Схема регистрации импульсов напряжения

2.4 Подготовка образцов с учетом их пропитки специальным буровым раствором.

Исследования импульсного пробоя твердых диэлектриков и горных пород при повышенных давлениях проводилось на песчанике (рисунок 27), доставленные из Алтайского карьера.

Размеры образцов одинаковы $140 \times 80 \times 30 \text{ мм}$, выпиливались на фрезерном станке. Прочность при одноосном сжатии 86 МПа . Ниже приводится петрографическое описание песчаника, использованных в процессе настоящих исследований.

Песчаник: Порода бурого цвета, среднезернистой структуры. В шлифе видно что порода на 70 % состоит из обломков и на 30 % из железного цемента. Размеры обломков от 0.1 до 0.6 мм. Форма их угловатая и слабоокатанная. Состав обломков: Остроугольный кварц – 40 %, микрокварциты, глинисты и сланец, порфириты – 40 %, обломки щелочных полевых шпатов и микроклины, чешуйки слюды – 20 %,

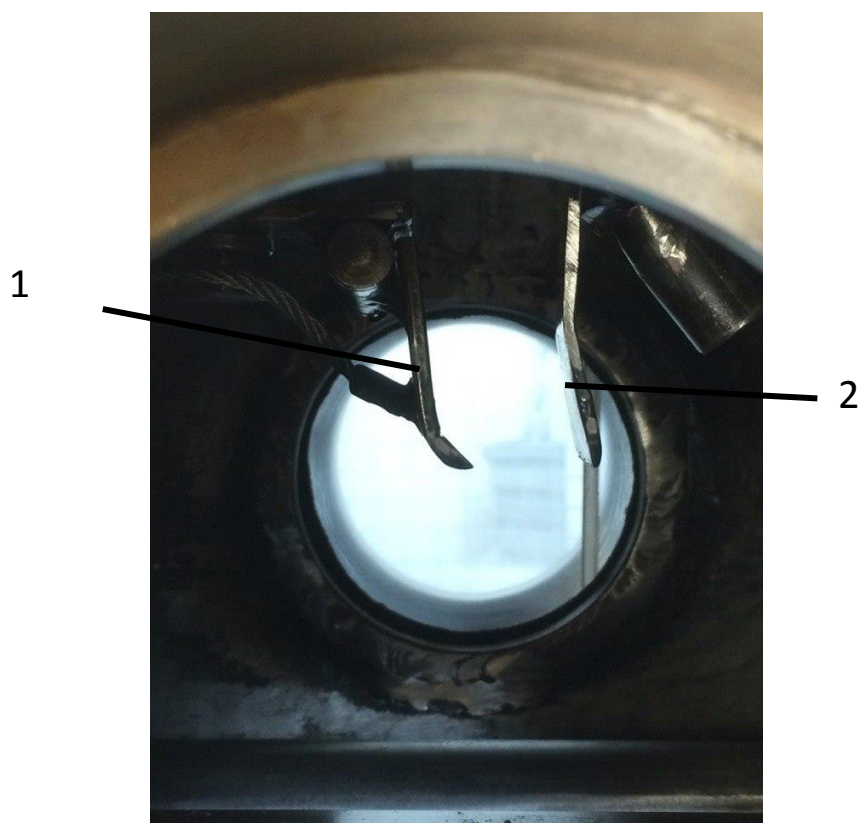
Все эксперименты проводились в диэлектрической жидкой среде, в качестве которой служило специальная буровая жидкость, характеристики бурового раствора не известны.

Каждый образец выдерживался в камере в течение часа для пропитки буровой жидкостью. Пропитка буровой жидкостью производилось при максимальном давлении.



Рисунок 27. Фотография образца песчаника

Электродная система «пластина-пластина» Размеры электродов 60х4х50мм, расположение электродной системы в стенде приведено на рисунке 28.



1 – высоковольтный электрод; 2 – заземленный электрод;

Рисунок 28 – электродная система

3. Экспериментальные результаты

Результаты эксперимента являются собственностью лаборатории №11 ИФВТ, ТПУ и не подлежат к размещению в интернет