Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова.
1988. Т. 116

УДК 622.[illegible] 3.94

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПЛАВЛЕНИЕМ

В.С.ЛИТВИНЕНКО

Способ бурения горных пород плавлением перспективен для проходки скважин в силу свойственных ему преимуществ: отсутствие вращения бурильной колонны; одновременное с бурением крепление стенок скважин остекловванным расплавом; сокращение времени на спускоподъемные операции при использовании шлангокабеля; упрощение задачи автоматизации процесса бурения и др. Накопленный в Ленинградском горном институте опыт бурения плавлением во льдах Антарктиды скважин глубиной до 2200 м[x], успешные эксперименты по бурению горных пород плавлением, доступность современных сверхжаропрочных материалов подтверждают реальность практического освоения этого способа.

Основная цель экспериментов – оценка реальных возможностей и границ рационального применения способа бурения скважин плавлением горных пород с использованием высокотемпературных электрических пенетраторов, проверка результатов расчетного анализа по определению влияния технологических и конструктивных параметров на скорость бурения. Анализ выполнен на основе приближенного аналитического решения задачи о зависимости скорости бурения горных пород плавлением от основных определяющих процесс факторов[xx].

Серия опытных электрических рабочих органов малого диаметра была разработана и испытана с целью оптимизации формы и конфигурации, уточнения эксплуатационных характеристик пенетраторов и улучшения высокотемпературных свойств их конструктивных элементов. Исследован процесс формирования остекловванного слоя на стенках скважин.

Все оборудование для лабораторных исследований размещалось в одноэтажном здании площадью 150 м^2. Основная часть стенда (рис.1) смонтирована на опорной сварной раме 1 и представляет собой буровой станок 2 марки БСК-2М-100 с гидравлическим регулятором подачи наружной несущей токопроводной трубы 8 и внутренней токоподающей трубы 7 со съемным высокотемпературным пенетратором 11. Корпус 14 блока горной породы 19, оборудованный нагревательными элементами 18, покрыт теплоизоляционным слоем 15.

[x] Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М. Бурение скважин в мерзлых породах. М. : Недра, 1983. 286 с.

[xx] Кудряшов Б.Б. Литвиненко В.С. Закономерности и основы расчета процесса бурения горных пород плавлением // Нефтяное хозяйство. 1987. N. 5. С. 62-73.

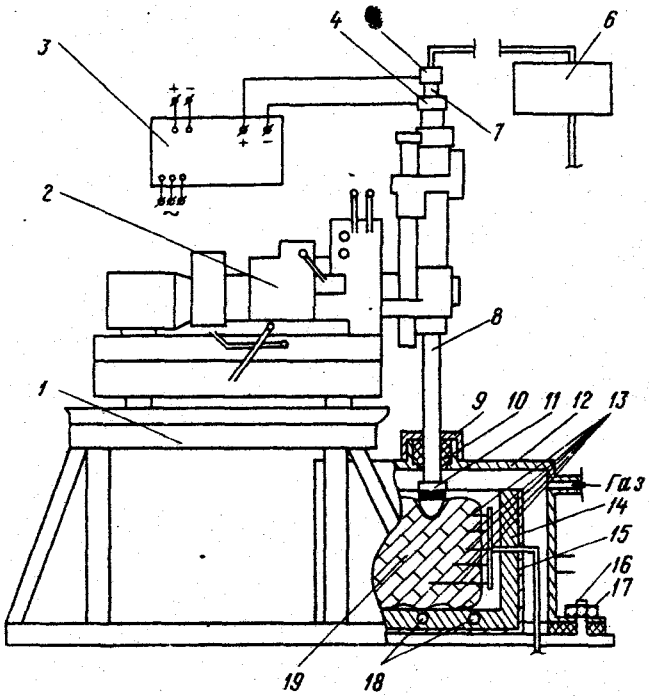


Рис.1. Схема экспериментального стенда для исследования процесса бурения горных пород плавлением в лабораторных условиях

Кожух I2 крепится к опорной раме при помощи четырех болтов I6, подача инертного газа (гелия) под кожух производится от блока охлаждения 6. Отверстие для прохода наружной трубы герметизируется при помощи уплотнителя I0 и зажимной части 9. Система термодатчиков I3 устанавливается в блоке горной породы. Электрический ток к пенетратору от электрического силового блока 3 подается по токоподводным трубам, изолированным друг от друга герметичным электроизолятором 4, через токоподводящие шины 5, закрепляемые к специальной поджимной гайке I7 наружной трубы и переходнику внутренней трубы при помощи болтов. Между опорной рамой и кожухом устанавливается уплотнительное кольцо.

Техническая характеристика экспериментального стенда

Наибольшее усилие подачи вниз, кН	15
Рабочий ход, мм	500
Диаметр наружной несущей трубы, мм	До 42
Создаваемая температура, К	До 1800
Мощность нагревателя, кВт	До 15
Масса стенда без блока горной породы, кг	1800

Стенд работает следующим образом (рис.I). В блок горной породы I9 устанавливаются термодатчики I3 для регистрации изменений температуры в радиальном и осевом направлениях и соединяются с самопишущим потенциометром КСП-4. Пенетратор II крепится внутри съемного кожуха I2 к наружной несущей токоподводной трубе 8, закрепленной в станке 2. Второй электрический контакт достигается при помощи нажимной гайки перемещением внутренней токогазоподводящей трубы 7 к нагревателю пенетратора. Кожух крепится к опорной раме I, между ними устанавливается уплотнение. Гайка 9 сжимает уплотнитель I0. Стенд готов к работе.

Инертный газ (гелий) поступает от блока охлаждения 6 к нагревательному устройству пенетратора и в кожух. Электрический ток через наружную несущую токогазопроводящую и внутреннюю трубы подается на нагревательный элемент пенетратора. Затем, не прекращая нагрев и подачу гелия, при помощи гидравлической системы станка создают осевую нагрузку на пенетратор, включают регистратор КСП-4. Производится рейс бурения плавлением горной породы, как правило, на всю мощность блока породы. Регистрируются показания приборов. Для исследования зависимости показателей бурения от температуры горной породы производится предварительный нагрев и поддержание заданной температуры блока породы при помощи электрических нагревательных элементов I8.

В лабораторных условиях изготовлены и исследованы пенетраторы уплотняющего действия, предназначенные для бурения плавлением пористых горных пород и рыхлых отложений, а также зон трещиноватости. Образующийся из остывающего расплава этих пород на стенках скважины остеклованный слой за счет уменьшения пористости имеет бо́льшую плотность, чем плотность исходного материала и, таким образом, занимает меньший объем, что позволяет весь первоначальный материал расплавить и уплотнить при застывании на стенке скважины без удаления его из зоны забоя.

Существенных усилий потребовала работа по исследованию и выбору материала корпуса пенетратора. Очень высокие температуры, возникающие внутри пенетратора, передача очень большой тепловой энергии, постоянный контакт с породным расплавом обусловили весьма жесткие требования к конструкции и технологии изготовления корпуса. Потребовалось изучение процессов коррозии при взаимодействии сплава, из которого изготовлен корпус пенетратора, с породным расплавом; его взаимодействие с внутренним источником тепла; влияние коррозии на токоподводные трубы и поддерживающие системы. В дополнение к этому проведены испытания по совместимости материалов как часть общей задачи поиска эффективных сочетаний материалов с повышенной стойкостью против коррозии в различных геохимических средах.

По результатам лабораторных исследований и анализа имеющихся данных по коррозии для изготовления корпуса выбран сплав молибдена с рением. Молибден имеет более высокую сопротивляемость коррозии под влиянием контакта с породным расплавом, чем другие материалы, при этом высокотемпературные расплавы пород оказывают пониженное коррозионное влияние на корпус. Это происходит частично из-за более высокой вязкости и низкой скорости диффузии с металлами. Большое разнообразие в химическом составе, вязкости, плотности, скорости потока расплава разных пород является причиной различной интенсивности диффузии и термодинамических явлений, а разное содержание кислорода в породах делает задачу выбора эффективных сочетаний материалов особо сложной.

За материал для изготовления нагревателя электрического сопротивления принят пиролитический графит при условии работы его в инертном газе, в качестве которого использован гелий, подаваемый от баллона по внутренней токоподводящей трубе из титанового сплава внутрь корпуса пенетратора.

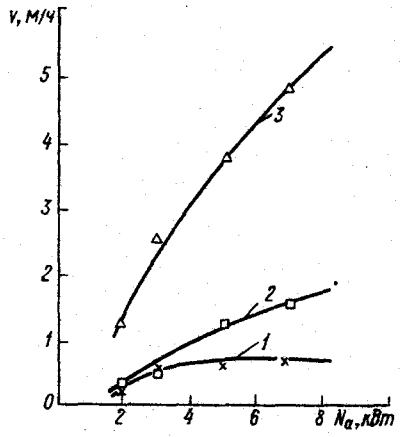


Рис.2. Опытные значения зависимости скорости бурения плавлением от активной мощности пенетратора (d = 50 мм; H = 75 мм) при осевой нагрузке C = 5,0 кН
1 - базальт; 2 - соль; 3 - туф

Переходник от корпуса пенетратора на внутреннюю токоподводящую трубу изготовлен из вольфрама. Внутренняя электроизоляция корпуса пенетратора выполнена из нитрита бора.

Разработанный пенетратор показал надежную работу при мощности от 3 до 15 кВт в температурном режиме от 1300 до 1850 К.

Лабораторные эксперименты по исследованию влияния активной мощности пенетратора на скорость бурения плавлением проводились с пенетратором уплотняющего действия для бурения скважин без отбора керна на блоках базальта, туфа, монолитной каменной и дробленой поваренной соли. Исследования велись при постоянных значениях осевой нагрузки на пенетратор $5 \cdot 10^3$ и 10^4 Н. Пенетратор имел следующие размеры: наружный диаметр 50 мм, длина рабочей части 75 мм. В процессе проведения опытов мощность пенетратора изменялась от 2 до 12 кВт. Скорость бурения каждого опыта регистрировалась в течение 10 мин., что определялось небольшими размерами блоков. Результаты экспериментов в графической форме приведены на рис.2.

Анализ полученных результатов показывает, что мощность пенетратора оказывает очень сильное влияние на скорость бурения плавлением, особенно для дробленой соли и пористого туфа. Последнее можно объяснить малым экранирующим влиянием тонкого слоя породного расплава между пенетратором и породой и свободным удалением расплава. В плотных породах (базальт, каменная соль) наблюдаются большие потери тепла на перегрев расплава, удаление которого производится только выдавливанием вверх, скорость бурения при этом мала. При перегреве расплава монолитной каменной соли в условиях затрудненного удаления происходит активное его кипение, на что уходит скрытая теплота кристаллизации, а скорость бурения при этом резко снижается.

Очень хорошие результаты были получены при бурении по туфу и дробленой соли, расплав которых проникает в поры или занимает свободное пространство за счет значительного увеличения плотности и объемного веса. В этих породах перегрев расплава незначителен.

Результаты показывают, что надежный способ удаления расплава с забоя является одним из резервов увеличения скорости бурения плавлением.

Эксперименты по определению зависимости скорости бурения от осевой нагрузки на пенетратор той же конструкции состояли в бурении на стенде по блокам базальта, туфа и соли. Мощность пенетратора составляла 5 и 8 кВт при изменении осевой нагрузки от 2 до 15 кН. Установлено (рис.3), что осевая нагрузка на пенетратор оказывает существенное влияние только при малых значениях, дальнейшее ее увеличение практически не сказывается на

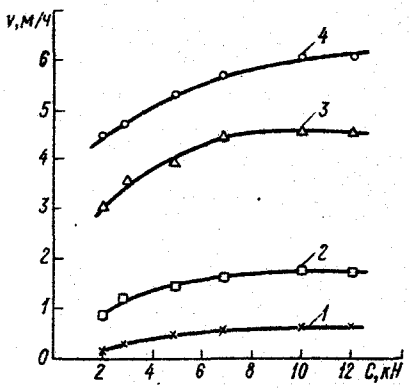


Рис.3. Опытные значения зависимости скорости бурения плавлением от осевой нагрузки на пенетратор (d = 50 мм; H = 75 мм) при активности мощности N_a = 5,0 кВт
1 – базальт; 2 – соль монолитная (галит); 3 – туф; 4 – соль россыпная

скорости бурения плавлением, что объясняется быстрым возрастанием гидравлических сопротивлений при выдавливании расплава.

Анализ полученных опытных данных подтвердил правильность теоретически установленных зависимостей скорости бурения от активной мощности пенетратора и осевой нагрузки на пенетратор.

Результатами экспериментального бурения плавлением горных пород установлено:

I. Сложные условия работы пенетратора электросопротивления при бурении горных пород плавлением – высокие температуры, необходимость выдавливания из забоя высокотемпературного вязкого расплава, его механическое и химическое воздействие на поверхность рабочего органа – предъявляют весьма жесткие требования к исходным материалам и их комбинациям, которые могут быть удовлетворены только на основе использования новейших достижений металлургии и материаловедения.

2. Разработанный и изготовленный макет высокотемпературного пенетратора для бурения плавлением без отбора керна на основе пиролитического графита в качестве элемента электросопротивления и сплава молибдена с рением как материала корпуса, который заполнен гелием, вполне работоспособен и пригоден для экспериментального бурения по блокам горных пород.

3. Основным фактором, определяющим скорость бурения горных пород плавлением, является активная тепловая мощность пенетратора.

4. Скорость бурения горных пород плавлением решающим образом зависит от условий удаления расплава с забоя или его уплотнения и в проницаемом галите многократно выше, чем в монолитном.

5. В монолитных породах осевая нагрузка на пенетратор влияет на скорость бурения лишь при малых ее значениях.

6. В несвязных и пористых породах осевое давление на пенетратор является важнейшим фактором, определяющим как скорость бурения, так и образование закрепляющей стенки скважины корки из остеклованного застывшего расплава.

7. В несвязных и пористых породах в процессе бурения плавлением на стенках скважины образуется прочная остеклованная корка из застывшего расплава.

8. Для формирования стенок скважин из застывшего расплава целесообразен формователь-кристаллизатор из чередующихся колец из пиролитического графита и молибдена.

9. Сопоставление расчетных данных по скорости бурения плавлением с опытными данными показало полное качественное и близкое количественное совпадение, что подтверждает справедливость разработанных основ теории процесса бурения плавлением.