Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXXXVI, 1981 г.

УДК 622.245.3

БУРЕНИЕ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ПРОХОДИМЫХ ПОРОД

В.К.ЧИСТЯКОВ

Одним из перспективных направлений дальнейшего совершенствования буровых работ в сложных горнотехнических и геологических условиях является исследование и разработка способа бурения скважин с изменением агрегатного состояния проходимых пород. Этот способ характеризуется интенсивным воздействием на горную породу тепловых полей, вызывающих или предупреждающих в ней фазовые превращения, связанные с процессами плавления-твердения, испарения-сжижения, возгонки. При этом коренным образом меняются прочностные и реологические свойства самой породы.

Анализ технико-экономических показателей существующих и перспективных методов разрушения и упрочнения горных пород путем полного или частичного изменения агрегатного состояния входящих в них элементов позволяет определить область эффективного использования фазовых превращений при бурении скважины. Это прежде всего: бурение в многолетнемерзлых породах, бурение с одновременным замораживанием проходимых пород, бурение методом плавления горных пород.

Многочисленные экспериментальные и производственные данные [2] позволяют в качестве основного условия успешной проходки скважин в многолетней мерзлоте считать поддержание в процессе бурения естественного агрегатного состояния проходимых пород и продуктов их разрушения (бурового шлама). Это позволяет предупреждать осложнения, обусловленные протаиванием и потерей устойчивости льдистых многолетнемерзлых пород, образованием сальников и ледяных пробок в циркуляционной системе скважины, резким снижением качества опробования за счет изменения первоначальной структуры и текстуры кернового материала, снижения его прочности и перетирания в колонковой трубе. Нормализация температурного режима скважин при бурении в многолетней мерзлоте требует нейтрализации тепловых потоков, возникающих в процессах разрушения пород забоя и очистки скважины от выбуренных частиц, с целью предупреждения агрегатных переходов лед-вода-лед (а при использовании газообразного очистного агента - пар-

вода-лед). Совершенствование технологии бурения в многолетнемерзлых породах, таким образом, в первую очередь связано с совершенствованием методов расчета и прогнозирования тепловых процессов в бурящейся скважине и разработкой эффективных мероприятий по нормализации ее температурного режима.

Бурение скважин с одновременным замораживанием проходимых пород, напротив, предусматривает изменение их естественного агрегатного состояния. Это относится к слабосвязным и несвязным влагонасыщенным неустойчивым отложениям (типа „плывуна"), а также к сильнотрещиноватым и кавернозным устойчивым породам, которые в мерзлом состоянии приобретают прочность и водонепроницаемость монолитных скальных пород.

Процесс бурения с одновременным замораживанием проходимых пород предусматривает создание в зоне забоя скважины и сохранение в дальнейшем на ее стенках ледопородного ограждения, способного противостоять горному давлению, колебаниям гидродинамического давления очистного агента, трению, ударам и вибрациям бурового инструмента. При этом в течение определенного времени обеспечивается устойчивость и водонепроницаемость незакрепленного обсадными трубами участка ствола скважины, а также высокое качество получаемого кернового материала. Как показали исследования [I, 5], этим способом можно успешно проходить скважины в неустойчивых рыхлых обводненных породах, резко повышать качество опробования при разведке полезного ископаемого, представленного слабосвязными и несвязными литологическими разновидностями, эффективно бороться с потерями промывочной жидкости, предотвращать осложнения при проходке таликовых зон и т.д.

Основной принцип бурения с одновременным замораживанием - опережающее промораживание пород забоя с образованием на стенках скважины ледопородной корки, удовлетворяющей требованиям прочности в условиях поддержания подвижного равновесия между фронтом промерзания породы и непрерывно изменяющимся положением забоя.

Так как в призабойной зоне концентрируется все тепло, выделяющееся за счет механической работы породоразрушающего инструмента, и весь холод, необходимый для обеспечения заданной скорости промерзания пород, исследования теплообменных процессов и их связи с основными технологическими параметрами бурения приобретают первостепенное значение.

В рассмотренных выше процессах фазовые превращения при бурении затрагивали только один из составляющих породу элементов - воду (лед), отличающийся низкой температурой твердения (плавления) - 0 ^{o}C. В настоящее время в практику буровых работ все шире внедряются разнообразные тепловые методы разрушения горных пород, эффективность которых мало зависит от твердости и пластичности пород, т.е. практически не уменьшается с глубиной скважин. В условиях интенсивного теплового воздействия на породы забоя скважины возможен процесс агрегатного перехода всей породы, т.е. ее плавление или даже испарение.

При термомеханическом и огневом бурении, когда обеспечивается ослабление прочностных свойств или полное разрушение пород за счет возникающих в них термических напряжений, плавление пород на забое или оплавление

шлама при удалении его из скважины - явление нежелательное, существенно снижающее эффективность проходки скважины и ухудшающее технико-экономические показатели теплового бурения. Таким образом, интенсификация процесса термического бурения пород путем создания высоких температурных градиентов в зоне забоя скважины должна ограничиваться условием сохранения агрегатного состояния проходимых пород. Учитывая, что для большинства горных пород с повышением температуры увеличивается их пластичность, а в породах с высокими значениями коэффициентов температуро- и теплопроводности термические напряжения не достигают разрушающих, область применения огневого и термомеханического бурения ограничена.

Наиболее универсальным тепловым способом проходки скважин является бурение методом плавления горных пород, при котором, наряду с разрушением и удалением породы из зоны забоя скважины, за счет изменения ее свойств при агрегатном переходе можно успешно решать задачу закрепления и поддержания устойчивости стенок скважины и керна. Плавлением и последующим затвердеванием расплава на стенках скважины и керна создается прочная и непроницаемая стекловидная оболочка, которая при известных условиях может полностью заменить колонну обсадных труб. Так как для большинства горных пород температура плавления и удельное количество тепла, затрачиваемого на фазовый переход, являются величинами одного сравнительно высокого порядка, успешное применение рассматриваемого способа бурения потребует значительного роста концентрации реализуемой в зоне забоя мощности, создания специальных технических средств и технологических приемов воздействия на горную породу высокотемпературными тепловыми полями. Однако для проходки скважин в снежно-фирновых и ледовых отложениях, которые помимо замерзших водных акваторий и многочисленных горных и высокоширотных ледников слагают такие гигантские материковые покровы как Антарктический и Гренландский, тепловой способ уже сейчас получил широкое распространение [3, 4].

Сравнительно низкая температура плавления льда, ее незначительное отличие от его естественной температуры, позволяют эффективно использовать бурение-плавление скважин как с отбором керна, так и без отбора при изучении глубинного строения ледовых толщ.

Плавление льда в процессе бурения возможно за счет передачи тепла забою скважины как путем теплообмена с высокотемпературным потоком жидкости или газа, так и путем контакта с твердой поверхностью нагревателя. Первый случай предусматривает значительную теплопередачу от среды к забою скважины за счет использования высокотемпературных продуктов сгорания, получаемых в специальных воздушнобензиновых или кислородно-керосиновых горелках, а также горячей воды или перегретого пара. Высокотемпературный газовый или жидкостной поток не только расплавляет или испаряет лед в зоне забоя, но и выносит продукты фазовых превращений льда из скважины.

Бурение-плавление льда за счет контакта с твердой поверхностью нагревателя осуществляется с помощью специальных термобуровых снарядов, обеспечивающих передачу необходимого тепла забою скважины путем непре-

рывного подвода энергии (электрической, химической и пр.) к нагревательному устройству кольцевой или круглой формы. Простейший термобуровой снаряд представляет собой цилиндрический корпус с электронагревательным устройством на торце, опускаемый в скважину на грузонесущем кабеле, по которому с поверхности передается необходимая для процесса плавления льда энергия. При бурении снежно-фирновых отложений вода, образующаяся в результате плавления снега и фирна, уходит через поры в сторону от забоя, оставляя скважину сухой и цементируя ее стенки при последующем замерзании.

Однако с увеличением глубины бурения, в связи с закрытием пор при переходе снежно-фирновой толщи в лед, образующаяся в процессе плавления вода уже не уходит в стенки и забой скважины, а накапливается в призабойной зоне. Нагрев воды вокруг нагревателя увеличивает тепловые потери, связанные с ухудшением условий теплопередачи в зоне забоя и отводом тепла в окружающий скважину массив. Скорость бурения резко падает, талая вода, поднимаясь выше нагревателя, начинает замерзать, затрудняется извлечение термобурового снаряда из скважины. При низких естественных температурах ледника снаряд быстро примерзает к стенкам скважины.

Для бурения глубоких скважин в ледниковых отложениях термобуровые снаряды пришлось обеспечить специальной системой удаления талой воды из зоны забоя, предусматривающей призабойную циркуляцию очистного агента (газообразного или жидкого), в процессе которой вода и ледяной шлам собираются в закрытом водосборнике снаряда и доставляются на поверхность при подъеме.

На примере исследования и разработки технологических приемов и технических средств бурения-плавления тысячеметровых ледовых толщ можно проследить все особенности и закономерности нового способа проходки скважин применительно к любым другим горным породам, так как принципиальным отличием при таком сопоставлении будет только температурный уровень протекающих процессов плавления и твердения пород.

В последнее время исследованиям бурения скважин методом плавления горных пород уделяется все большее внимание как у нас в стране, так и за рубежом. Первые экспериментальные результаты [6] позволяют считать его перспективным при бурении в пористых скальных породах типа туфов, в породах высокой крепости, не поддающихся термическому разрушению, в слабосвязных и несвязных отложениях и мерзлых породах, когда вопрос обеспечения устойчивости ствола скважины играет важнейшую роль. Возможность создания прочной и непроницаемой оболочки из застывшего вокруг скважины расплава горной породы позволяет решать такие сложные инженерные проблемы, как бесструбное крепление скважин, проходка горных выработок в неустойчивых породах и отложениях, создание фундаментов в мерзлых породах и пр.

Во всех рассмотренных выше способах проходки скважин температурный фактор является одним из важнейших технологических параметров бурения, без целенаправленного использования и регулирования которого невозможно эффективное повышение производительности и качества буровых работ. Поэтому первоочередными задачами исследования и разработки теории, техники и технологии бурения скважин в условиях изменения агрегатного состояния проходимых пород должны стать:

1) изучение температурного режима бурящихся скважин при наличии в окружающих породах фазовых превращений;

2) анализ процессов тепло- и массообмена в призабойной зоне бурящейся скважины;

3) теоретическое обоснование и выбор оптимальных по температурным условиям режимов бурения, очистки, закрепления и поддержания устойчивости стенок скважин с использованием характера изменений физико-механических свойств пород при фазовых переходах;

4) обоснование основных направлений разработки и совершенствования технических средств для создания и поддержания заданного температурного режима бурения;

5) прогнозирование технико-экономических показателей исследуемых способов бурения с целью определения рациональной области их эффективного внедрения в практику буровых работ.

В основу решения поставленных задач должна лечь научно обоснованная методика теплотехнических расчетов в сочетании с достаточно совершенными методами экспериментальной проверки результатов в лабораторных и производственных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев И.С., Береснева Д.Н., Чистяков В.К. О повышении качества опробования на основе бурения с замораживанием (применительно к месторождениям фосфатов Эстонии и Ленинградской области).- Зап. ЛГИ, 1973, т. 66, вып. 1.

2. Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М. Новая технология бурения скважин в мерзлых породах. Л., Недра, 1973.

3. Кудряшов Б.Б., Чистяков В.К., Бобин Н.Е. Бурение скважин тепловым способом в ледниковом покрове Антарктиды. М., изд. ОНТИ ВИЭМС, 1977.

4. Термическое бурение ледниковых покровов / И.А.Зотиков, А.П.Капица, Е.В.Кудрявцев, А.А.Суханов. - В кн.: Антарктика, М., Наука, 1972, вып. 11.

5. Чистяков В.К. Исследование способа бурения скважин с одновременным замораживанием проходимых пород. Автореф. канд. дисс. Л., изд. ЛГИ, 1970.

6. S i m s D.L. Petroleum engineer, 1974, july.