*Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVII, вып. 2, 1969 г.*

# НОВЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОСЛОЖНЕНИЯМИ В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

*Ф. А. Шамшев, В. Н. Сенников, В. П. Нерадов*

До недавнего времени главным способом борьбы с потерей промывочной жидкости, обрушениями стенок скважин в скальных породах, разбитых тектоническими трещинами, являлись обсадные трубы. Но, как известно, применение обсадных труб связано с потерей диаметров, поэтому при сложных геологических условиях получаются многоколонные конструкции скважин, увеличиваются начальные диаметры. Это приводит к добавочным осложнениям, так как нарушается основное правило бурения: чем меньше диаметр скважин, тем при прочих равных условиях меньше обрушений стенок, производительнее работа. В настоящее время это положение является общепринятым, в связи с чем во всех странах переходят при разведке твердых полезных ископаемых на бурение коронками ∅ 46—59 *мм* при одноступенчатой конструкции скважин, т. е. крепят верхние неустойчивые породы трубами, и далее бурение ведется без обсадки.

Малые диаметры скважины практически исключают применение обсадных труб как по техническим причинам (обсадные трубы малого сечения трудно опускать в глубокую скважину из-за возможности обрыва), так и потому, что не все геофизические приборы можно опустить в скважину диаметром менее 46 *мм*.

Таким образом, на вооружении буровиков-разведчиков остаются способы неметаллического (беструбного) крепления скважин. Среди них наиболее старым и широко применяемым является способ цементации нарушенных интервалов в скважине. Однако этот способ малоэффективен: на цементацию требуется значительное время (несколько смен), прочность крепления недостаточна. При дальнейшей углубке вращающаяся колонна бурильных труб разбивает цементный камень стенок скважин, теряется промывка, обрушаются стенки скважин и пр.

Другим способом является электрохимическое крепление, предложенное еще в начале прошлого века, но еще не разработанное и практически почти не применяемое. Однако сотрудники ЛГИ после всестороннего анализа этого способа пришли к выводу, что, изменив методику применения и конструкции забойных устройств, можно добиться положительных результатов.

Прежде чем перейти к изложению результатов наших исследований, считаем необходимым отметить, что начальные разработки и при-

менение электрохимического метода были связаны с креплением глинистых отложений в нефтяных скважинах. При этом использовались чистые растворы электролитов, которые под действием постоянного электрического тока, снимаемого с пластин раздвижного электрода, насыщали породу различными солевыми образованиями и улучшали ее физико-механические свойства. Впоследствии были предприняты попытки использования цементных смесей для закрепления слабых отложений и ликвидации поглощений в кавернозных зонах при электрохимическом способе крепления стенок скважин (ИГИРГИ и ВИТР).

Исследования, проведенные в ЛГИ, позволили разработать технологию электрохимического метода крепления неустойчивых интервалов и борьбы с поглощениями промывочной жидкости в раздробленных скальных породах. Были получены эффективные составы смесей и разработана методика определения количества химических добавок. Выявлены рациональные пределы режимных электрических параметров и их влияние на характер крепления, разработана конструкция электрода, определена компоновка полюсов в электроде.

Необходимо отметить, что электрохимическое крепление имеет свои особенности. Для его осуществления требуются трубчатые электроды, источники электрического тока, надежные токоподводы, рабочие смеси на цементной основе, соблюдение электрических режимов крепления и последовательности выполнения операций. Для спуска электрода в скважину используются бурильные трубы.

Окончательно определилась и схема электрохимического крепления: в интервал поглощения или разрушенных пород через спущенный в скважину электрод закачивается определенное количество рабочей смеси. После заполнения смесью заэлектродного пространства она обрабатывается электрическим током в течение нескольких часов. По окончании процесса крепления электрод вынимается из скважины. Закрепленная масса, образовав трубу и проникнув в трещины, предотвращает обрушение породы.

Если зона, нуждающаяся в закреплении, больше применяемой длины электрода, последний постепенно перемещают вверх, так как процесс начинается с нижней части интервала. Электрод при этом не должен вращаться. Длина его может быть значительной и зависит от мощности источника электроэнергии. Токоподвод осуществляется по кабелю, протянутому снаружи бурового снаряда, или по буровому снаряду и кабелю.

Исследования, проведенные нами в лаборатории на специальных стендах и в полевых условиях, показали следующее. Рабочая смесь может приготовляться из различных материалов; наиболее распространенными являются цемент и глина. Введенная в состав смеси глина выполняет роль пластификатора, смягчающего жесткость сцепления твердеющего материала с поверхностью электрода. Рецептурный состав смеси определяется поставленными требованиями. Качество и время крепления зависят от правильного подбора состава и технологии приготовления смеси.

Особенностью данного метода является и то, что процесс крепления происходит в сравнительно короткое время. Затвердевание смеси под действием электрического постоянного тока сопровождается электролизом, электрофорезом, электроосмосом и выделением тепла. Тепловое воздействие на цементные смеси, как известно, вызывает ускоренное образование кристаллизационной структуры, поэтому для таких составов температурный фактор имеет решающее значение. Для смесей

с преобладанием глины важнее электрохимическая обработка, которая происходит под действием упомянутых процессов. Тепловое воздействие на глину (при температурах до 100° С) приводит только к ее обезвоживанию, но это не предотвращает последующего разрушения ее под действием влаги. Наиболее интенсивно крепление происходит при использовании смесей, в состав которых входит 80—90% цемента.

Рецептура растворов при электрохимическом креплении имеет принципиальное значение и по физическим свойствам должна отвечать следующим условиям: обладать растекаемостью 15—16 *см* по конусу АзНИИ, удовлетворительной прокачиваемостью и электропроводностью. От процентного содержания цемента и его качества зависит прочность закрепленного материала. В значительной степени это определяет и время крепления, однако главными факторами, определяющими скорость затвердевания, являются водоцементное отношение, растекаемость и густота смеси. Например, смесь с растекаемостью 12 *см* и меньше затвердевает в течение 1 *ч* и обладает прочностью в момент окончания крепления порядка 30—40 *кГ/см*$^2$.

Существенное значение для состава смеси имеет агрегатное состояние глины (в виде порошка или глинистого раствора). Порошок глины, включенный в состав смеси и обработанный постоянным электрическим током, под воздействием электролиза и теплового фактора постепенно распадается, поглощая свободную часть жидкой фазы и способствуя более быстрому закреплению глиноцементной массы.

Активность смеси, ее электропроводность и структурные свойства в значительной степени определяются химической обработкой — добавлением в цемент хлоридов кальция и алюминия. Наиболее обоснованные количества химических добавок составляют примерно 2—8% от веса обрабатываемого материала. Они определены нами из расчета суммарной поверхности порошкообразного цемента и глины. Хлористый кальций, выполняя функции электролита, также ускоряет твердение и повышает степень гидратации силикатов кальция, составляющих основную массу портландцемента.

Смесь готовится в растворомешалке с последующим введением химикатов. Весь процесс занимает 5—10 *мин.* Закачивание смеси в скважину производится при помощи бурового насоса непосредственно из бункера, соединенного с растворомешалкой. Количество закачиваемой смеси определяется по данным кавернометрии, проведенной по всему интервалу крепления. Объем раствора или воды для прокачивания смеси из бурового снаряда, на котором доставлен в скважину электрод, также рассчитывается. Эти расчеты необходимы для предотвращения цементирования промывочных каналов электрода и буровых штанг.

Перед закачиванием смеси в заэлектродное пространство существенное значение имеет очистка интервала крепления от скоагулированных образований глинистого раствора, а также стенок скважины от глинистой корки. Операция по очистке в случае сложного состояния скважины должна производиться промывкой жидким глинистым раствором. Если устойчивость верхних интервалов не вызывает сомнения, промывку можно осуществлять водой. Чтобы предотвратить уход рабочей смеси в нижнюю часть ствола скважины, в башмаке электрода монтируется манжетное устройство или же в нижней части зоны крепления ставится пробка, а также временный мост из быстросхватывающегося материала. Крепление после этого должно производиться путем постепенного перемещения электрода снизу вверх.

Для повышения качества крепления в крайних зонах интервала часть электрода рекомендуется оставлять для повторной отработки слабо затвердевшей массы. Неравноценность крепления материала по длине электрода объясняется недостаточным поступлением тока на первые и последние кольца.

При электрохимическом креплении с применением смесей на цементной основе наблюдается явление «прихвата», выражающееся в сцеплении затвердевающего материала с поверхностью электрода. Величина усилия «прихвата» зависит от количества цемента и жесткости смеси, общей поверхности трубчатого электрода, гидростатического давления и продолжительности неподвижного контактирования электрода с закрепляемой массой. Усилие страгивания электрода длиной 4,5 *м*, диаметром 110 *мм* обычно составляет 2,0—2,5 *т*. Интенсивность нарастания усилия страгивания пропорциональна нарастанию прочности цементного камня и времени крепления. Таким образом, усилие «прихвата» показывает достижение материалом смеси определенной прочности и является критерием определения длительности цикла электрообработки. С целью предотвращения «прихвата» электрода в процессе крепления производится его расходка в пределах 20—30 *см* через каждые 15—20 *мин*.

В некоторых случаях электрод целесообразно поднимать вверх до полного затвердевания смеси. Дальнейшее нарастание прочности в этой части закрепляемого участка происходит самопроизвольно, так как рабочая часть электрода переместится вверх.

В процессе крепления также производится смена полярности на полюсах электрода. Смена полярности устраняет поляризацию, меняет направление химических реакций и влечет за собой выравнивание щелочности среды по всей длине электрода. Смена полярности на полюсах электрода производится через равные интервалы времени: 15, 30 и 45 *мин*. Если полюса электрода сделаны из железа и алюминия, переключение необходимо производить через неравные промежутки времени — 15 и 45 *мин* с подачей отрицательного потенциала на алюминиевые полюса в более продолжительный интервал времени, так как алюминий активно растворяется в щелочной среде.

Диапазон регулирования длительности крепления и определение момента перемещения электрода зависят от характера электрорежима, скорости нарастания параметров тока и, следовательно, сопровождающих этот процесс явлений. Правильно выбранный электрорежим в конечном итоге определяет время крепления и его результаты. Основными параметрами электрорежима являются напряжение, сила и плотность тока, температура нагрева смеси. О температуре нагрева смеси можно судить косвенно по току и напряжению с учетом времени прогрева, а также теплопередачи в окружающие породы. Поскольку изменение напряжения и тока в процессе крепления происходит с определенной закономерностью, этим пользуются для определения окончания твердения рабочей смеси. Крепление начинается при максимальном токе (за исключением инерционного периода) и заканчивается, когда напряжение стабилизируется и показания амперметра минимальны.

Еще ранее было замечено, что наиболее активно крепление происходит при плотности тока 35—40 *ма/см*$^2$. Однако, в отличие от рекомендовавшихся пределов напряжения 65—110 *в*, нами установлено, что напряжение электрического тока целесообразно изменять в более широких пределах: от 30 до 200 *в* и выше. Повышением напряжения удается ускорить процесс крепления.

Установлено также, что наиболее интенсивно процесс крепления проходит при форсированном режиме, т. е. когда используются максимальные плотности тока и повышенное напряжение. В некоторых случаях работа на повышенных электрических параметрах в течение длительного периода (особенно в начальной стадии) может вызвать вскипание жидкой фазы, разрушить образовавшиеся структурные связи и предотвратить схватывание цемента. Поэтому необходимо знать предельные значения электрических параметров, при которых происходит кипение электролита, в зависимости от гидростатического давления. Управлять электрическим режимом в процессе крепления можно путем включения в электрическую цепь жидкостного реостата или иного регулировочного устройства. Наиболее просто регулирование параметров осуществляется за счет изменения возбуждения генератора постоянного тока или выключения системы на некоторый период.

Следует учитывать, что при работе на форсированном режиме к изоляции электрода предъявляются несколько повышенные требования. Опыт работ по электрохимическому креплению, проведенных Ленинградским горным институтом в 1960—1966 гг., показал, что наиболее слабым местом в электроде является изоляция. Подвергаясь в процессе крепления воздействию тепла, давления гидростатического столба жидкости и сил сцепления с закрепляемой рабочей смесью (особенно в момент страгивания), изоляционный слой разрушается. Наиболее опасны для электрода электрические разряды между полюсами, возникающие при достаточно высоких нагрузках и электрическом напряжении, под действием которых происходит выгорание или выплавление материала изоляции с последующим коротким замыканием. Недопустимы также и трещины в изоляции электрода, вызывающие, как правило, утечки тока и перегорание шин электрода.

Следовательно, при изготовлении электрода необходимо соблюдать ряд мер, выполнение которых обеспечит надежную работу в наиболее тяжелых условиях. Одной из них является жесткость несущей трубы. Выполнение этого условия позволяет избежать чрезмерного прогиба и возможного растрескивания изоляции при внесении электрода в помещение буровой вышки. Для этого вдоль несущей трубы электрода монтируются ребра жесткости из металла различного профиля, а сборка отдельных его звеньев производится непосредственно на буровой в вертикальном положении.

Изоляционный слой электрода выполняется из термостойкого электроизоляционного материала. Поверхность его должна быть гладкой и обладать водоотталкивающими свойствами. Могут быть использованы такие материалы, как резина, пластические массы, эпоксидные смолы. Наиболее работоспособными являются пластмасса стиракрил марки ТШ, армированные эпоксидные смолы марок ЭД-5, ЭД-6, Э-40 или некоторые компаунды. Особенно тщательно изолируется токоподводящая шина электрода, чтобы избежать короткого замыкания между близкими противоположно заряженными поверхностями.

С токопроводящими шинами при помощи винтов соединяются металлические полюсные кольца. В конструкции электрода ЛГИ полюсные кольца изготавливаются из металлического листа. Это дает возможность легко заменять износившиеся полюсные кольца на новые. Башмак электрода оборудован обратным клапаном, предотвращающим попадание цементной смеси во внутреннюю полость электрода из заэлектродного пространства скважины. Устройства в виде обратного клапана могут быть различными, но наиболее работоспособной оказалась

разработанная нами конструкция, у которой весь механизм изолирован от контактирования с цементным материалом. Это имеет значение для безотказной работы клапана при повторных закачках смеси для закрепления последующих интервалов скважины.

Как уже отмечалось выше, при электрохимическом креплении используется постоянный ток, получаемый в полевых условиях от моторгенераторов, электрических преобразователей, ртутных или полупроводниковых выпрямителей и аккумуляторов. Машины постоянного тока и сварочные генераторы, которые наиболее часто применяются для электрохимического крепления, вместе с приводом и рамой обладают значительным весом и габаритами. В полевых условиях это играет отрицательную роль. Этими же недостатками обладают и ртутные выпрямители. В настоящее время созданы и осваиваются промышленностью полупроводниковые выпрямители на основе германиевых и кремниевых вентилей. В отличие от механических преобразователей полупроводниковые выпрямители имеют к. п. д. 99%, статичную и стабильную характеристику, малый вес и габариты. Первый опыт использования полупроводниковых вентилей для электрохимического крепления, полученный в Ленинградском горном институте, дал положительные результаты.

Перспективным также является метод крепления скважины цементными смесями с использованием электропрогрева. С точки зрения технологии, он подобен электрохимическому методу. Сущность электропрогрева заключается в пропускании через смесь переменного тока промышленной частоты, в результате чего в смеси выделяется тепло и, следовательно, происходит ее разогрев. Количество тепла пропорционально затрачиваемой электрической мощности и длительности пропускания тока.

Электрообработка смеси переменным током проста и экономична. Для подачи электрического потенциала на смесь используется трубчатый электрод. Конструктивные характеристики электрода (число, размер и размещение элементарных электродов-колец) определяются тепловым и электрическим расчетами. Использование переменного тока упрощает схему питания электрода — исключает операцию выпрямления тока.

Основой технологической характеристики крепления является температурный режим. Оптимальным режимом является быстрый нагрев смеси до конечной температуры и последующий изотермический прогрев. Максимальная температура прогрева не должна превышать, во-первых, температуры фазового равновесия системы вода—пар для давления в интервале крепления и, во-вторых, температур 160—180° С, при которых начинает меняться фазовый состав образующегося цементного камня. Рациональные скорости подъема температуры 2—5° С/*мин*. Точное соблюдение режима достигается определенным расстоянием между полюсами, рецептурой смеси, имеющей расчетное удельное сопротивление, постоянным контролем температуры в процессе прогрева и корректировкой ее изменением расхода мощности. Укажем для сведения, что электрическое сопротивление цементных смесей находится в пределах 20—150 *ом · см*.

Стабилизация удельного усилия «прихвата» и достижение некоторой его экспериментально найденной величины служат надежными критериями определения конца прогрева. Проведенные Ленинградским горным институтом в 1965—1966 гг. работы производственного характера подтвердили приемлемость метода в различных геолого-техниче-

ских условиях. Простота технологии, схемы питания электрода электрическим током, доступность материалов делают данный метод весьма перспективным.

Составы смесей должны обеспечивать: 1) требуемую прочность затвердевшего материала; 2) высокую подвижность, прокачиваемость по трубам и нерасслаиваемость; 3) минимальные сроки набора нужной прочности.

Экспериментальные работы и опыт полевых испытаний показывают, что в состав смесей в основном необходимо вводить: 1) высокомарочные быстротвердеющие цементы, портландцементы, глиноземистый цемент; 2) хлористый кальций, хлористый алюминий, поташ и другие электролиты (3—6% от веса цемента); 3) поверхностно-активные вещества-пластификаторы (сульфит-спиртовая барда, сульфанол) для снижения водоцементного отношения смеси; 4) инертные (песок, молотые карбонатные породы) и волокнистые материалы (асбест, корд и др.).

Во многих случаях рационально использовать чистые цементные растворы, так как они имеют хорошую прокачиваемость, стабильны. Так, смесь состава (%): цемент М-500 Ленинградского завода — 60, вода — 36, хлористый кальций — 4 имела растекаемость 19,5 *см* по конусу АзНИИ, обеспечивала через 2 *ч* прогрева прочность при сжатии 70 $кГ/см^2$.

Закачка смеси в интервал крепления осуществляется буровым насосом. Смесь выдавливается из бурильных труб водой или глинистым раствором. Разработана конструкция обратного клапана, устанавливаемого над электродом и позволяющего производить многократную закачку смеси, что особенно важно при креплении больших интервалов. Токоподвод к электроду производится непосредственно от силовой сети с линейным напряжением 380/220 *в*. Регулирование расхода мощности обеспечивается жидкостным реостатом. После достижения смесью конечной температуры прогрева расход мощности снижается.

В процессе электрообработки смеси необходимо периодически производить расхаживание электрода. Если в первые 30—40 *мин* достаточно делать расхаживание через 10—15 *мин*, то в последующий период — через 5 *мин*. Удельные усилия «прихвата» при этом достигают $(5 \div 10) \cdot 10^{-2}$ $кГ/см^2$. При электроде диаметром 114 *мм* и длиной 10 *м* усилие «прихвата» не превышает 3—4 *Т*. После прогрева смеси в течение 45—60 *мин* можно вместо расхаживания производить медленный подъем электрода. Скорость подъема определяется из расчета длительности прогрева (1,5—2 *ч*). При 10-метровом электроде скорость подъема 5—7 *м/ч*. Последующие закачки смеси производятся при выходе верхней части электрода из смеси, что сопровождается снижением силы тока в цепи. Производительность, расход электроэнергии и материалов в значительной степени зависят от разработки ствола скважины.

Основная область применения новых методов — крепление отдельных неустойчивых интервалов, борьба с поглощениями. По сравнению с креплением обсадными трубами обеспечивается снижение затрат на 25—30%. При креплении отдельных интервалов экономический эффект значительно выше. Возможность оперативного применения новых методов для ликвидации осложнений позволяет значительно снизить непроизводительные затраты времени, предотвратить возникновение аварий. Существенным является и то, что неметаллическое крепление обеспечивает бурение малогабаритных одноступенчатых скважин.

Электрохимический способ крепления скважин и электропрогрев — прогрессивные методы. Перспективы их применения тесно связаны с ис-

пользованием новых эффективных химических материалов, которые под воздействием тепловых процессов и продуктов электролиза будут способны давать соединения, обеспечивающие устойчивость стенок скважин. Например, значительный интерес представляют смеси с добавками эмульсий, латексов, полимеров, смол и спиртов.

Необходимо продолжать исследования в направлении создания под воздействием электротока эластичной и достаточно прочной глинистой корки на стенках скважины с различными добавками отвердителей. Следует повысить технологичность методов, улучшив систему токоподвода, и создать аппаратуру, позволяющую осуществлять контроль качества крепления на любой глубине.