Н.И.НИКОЛАЕВ, Е.Ю.ЦЫГЕЛЬНЮК, Н.С.КОНОКОТОВ, Н.А.ШАТОВ
Санкт-Петербургский горный институт,
Россия

ОСОБЕННОСТИ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН В ИНТЕРВАЛАХ НЕУСТОЙЧИВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Одним из наиболее распространенных видов геологических осложнений, возникающих при бурении скважин по многолетнемерзлым горным породам, является нарушение целостности ствола вследствие изменения естественного напряженного состояния окружающего массива. Закрепление стенок скважины с помощью обсадных труб требует перехода на меньший диаметр бурения, а использование тампонажных материалов для цементации трещиноватых пород мало эффективно, поскольку трещины, как правило, заполнены льдом, препятствующим проникновению в них тампонажного материала.

Предлагаемая схема крепления скважин в интервалах неустойчивых горных пород позволяет сохранить заданный диаметр бурения и отказаться от использования дорогостоящих обсадных труб. Она предусматривает комплекс мероприятий, включающий расширение ствола скважины в осложненном интервале на заранее заданную величину, заполнение расширенного участка быстротвердеющим материалом и формирование в околоскважинном пространстве изолирующей крепи, способной воспринимать нагрузки со стороны массива, а также воздействие очистного агента и бурового снаряда со стороны скважины в процессе дальнейшей ее углубки.

Известные решения, используемые для определения критического давления на крепь и ее потребной толщины в расчетах при проектировании вертикальных шахтных стволов, конструкций обсадных металлических колонн глубоких буровых скважин, не дают удовлетворительной сходимости с экспериментальными данными, полученными применительно к минеральным вяжущим веществам, используемым в технологии беструбного крепления разведочных скважин малого диаметра.

Поскольку быстросхватывающиеся смеси (БСС) на основе гидравлических вяжущих веществ являются композиционными материалами с упругими константами, изменяющимися в зависимости от времени твердения и состава БСС, задача определения давления на крепь в упругой постановке решается для плоского напряженного состояния исходя из теории наибольших удлинений, учитывающей два главных напряжения. При этом критическое давление на крепь

$$P_{кр} = \frac{\sigma_в \left(R^2 - R_0{}^2\right)}{R^2\left(1+\mu_к\right) + R_0{}^2\left(1-\mu_л\right)}, \qquad (1)$$

где R – наружный радиус крепи, м; R_0 – радиус скважины в зоне крепления, м; $\mu_к$ – коэффициент Пуассона; $\sigma_в$ – предел прочности материала крепи, МПа.

Преобразуя выражение (1) относительно толщины крепи $\delta = R - R_0$, имеем

$$\delta = R_0\left\{\sqrt{\frac{\sigma_в + P\left(1-\mu_к\right)}{\sigma_в - P\left(1+\mu_к\right)}} - 1\right\}. \qquad (2)$$

Расчетный и графический анализ, выполненный в соответствии с уравнениями (1) и (2), показывает интенсивное увеличение критического давления на крепь в интервале $0 \le \delta \le R_0$ для всех диаметров скважин, наиболее распространенных в разведочном бурении. Дальнейшее увеличение толщины крепи представляется нецелесообразным с точки зрения незначительного прироста ее прочности. Так, например, при увеличении толщины крепи в 2 раза ($\delta = 2R_0$) критическое давление возрастает лишь на 20-25 %. Высказанное соображение, а также конструк-

тивные особенности расширителей, используемых при оперативном креплении неустойчивых интервалов разведочных скважин, позволили ограничить расчетные модели условием $\delta = R_0$.

Поскольку технологией крепления предусматривается введение тампонажного материала в непосредственный контакт с закрепляемыми породами, анализ напряженно-деформированного состояния горных пород в зоне крепления проведен для условия совместного деформирования крепи и стенки скважины.

Для упругой модели закрепляемого массива получено выражение для определения давления на крепь на некоторой глубине

$$p = \frac{\gamma_р H E_к}{2G_п\left[\dfrac{(R_0+\delta)^2 + R_0^2}{(R_0+\delta)^2 - R_0^2} - \mu_к\right] + E_к}, \qquad (3)$$

где $\gamma_р$ – объемный вес очистного агента, Н/м^3; H – глубина крепления, м; $E_к$ – модуль упругости материала крепи, МПа; $G_п$ – модуль упругости горной породы при сдвиге, МПа.

Если на некоторой глубине компоненты нового поля напряжений таковы, что в зоне влияния скважины достигается предельное состояние, характеризующееся условием пластичности или прочности, то задачу определения давления на крепь решаем в упругопластическом приближении для однородной и неоднородной (зона разрушения) модели массива горных пород.

Тогда для упругопластической однородной модели массива пород давление на крепь

$$P = (1-\sin\varphi)(\lambda\gamma H + K\operatorname{ctg}\varphi)^{\frac{1}{1-\sin\varphi}} + \left\{\frac{\sin\varphi E'}{2G_п\sigma_и}\right\}^{\frac{\sin\varphi}{1-\sin\varphi}} - K\operatorname{ctg}\varphi - \gamma_р H, \qquad (4)$$

где E' – приведенный модуль упругости материала крепи, $E' = E_к/(1-\mu_к^2)$, МПа.

В связи с тем, что буримые горные породы в большинстве своем обладают ограниченной пластичностью, вокруг скважины с увеличением ее глубины могут происходить процессы разрушения потенциально неустойчивых пород, при этом взаимодействие крепи скважины с массивом исследуется с помощью упругопластической модели массива, где зона пластической деформации является одновременно и зоной хрупкого разрушения, т.е. в пределах некоторой области порода характеризуется потерей сцепления.

Из условия неразрывности деформаций на контуре ствола скважины и наружной поверхности ее крепи получим решение относительно давления на крепь

$$P = \left[(1-\sin\varphi)(\lambda\gamma H - \gamma_р H) - \frac{\sigma_{сж}}{2}\right] \times$$

$$\times \left\{\frac{E'\left[\lambda\gamma H\sin\varphi + (1-\sin\varphi)\dfrac{\sigma_{сж}}{2} - \gamma_р H\sin\varphi\right]}{2G_п\sigma_в}\right\}^{\sin\varphi}. \qquad (5)$$

Сопоставление результатов экспериментальных исследований по определению критического давления на крепь с расчетными данными показало достаточную их сходимость (90-98 %), что свидетельствует о возможности практического использования представленных аналитических зависимостей в инженерных расчетах.

Примером реализации предложенной технологической схемы может служить устройство (см. рисунок), включающее корпус расширителя 1 с вертикальными прорезями 2 и раздвижными лопастями 3, снабженными коромыслами 4. Корпус соединен с формующим элементом

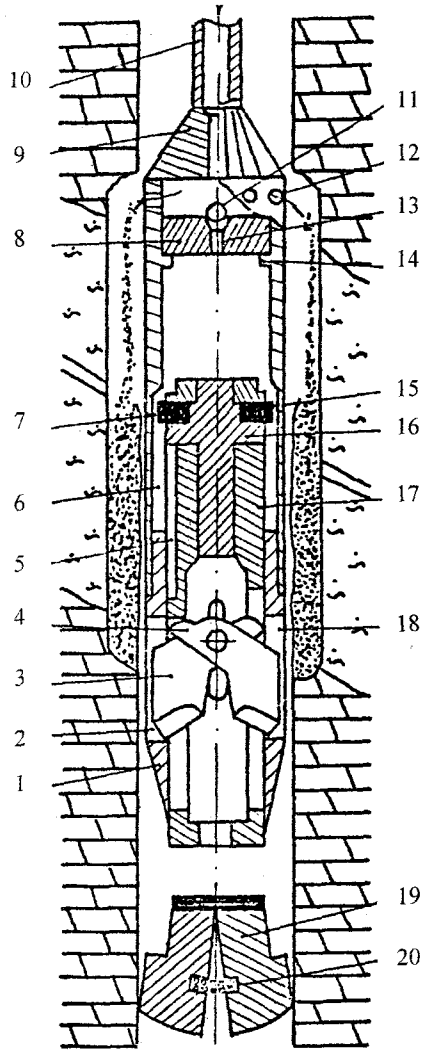


Схема крепления осложненного интервала скважины

7, внутри которого имеется кольцевая проточка 6, отверстия 12 и кольцевой упор 14, а также сдвижное кольцо 8 с осевым каналом 13, закрепленное в верхней части формующего элемента штифтом. В полости корпуса расширителя расположены элементы: поршень 16 с манжетой 15, толкатель 17 с вертикальными прорезями 5 и пазами 18 на наружной поверхности. Нижняя часть устройства содержит самораскрепляющуюся пробку 19 с пружиной 20, а верхняя соединена с колонной бурильных труб 10 с помощью переходника 9.

Принцип работы устройства рассмотрим на примере крепления сильнотрещиноватых горных пород, сцементированных льдом. После пересечения скважиной таких пород наблюдается интенсивное растепление стенок под воздействием очистного агента с образованием вывалов, препятствующих нормальному процессу бурения. В этом случае буровой снаряд извлекают из скважины и в осложненный интервал опускают собранное устройство. После достижения устройством «подошвы» неустойчивых горных пород в него по бурильным трубам 10 закачивается вода, которая через канал переходника и осевой канал 13 сдвижного кольца попадает в полость формующего элемента 7, воздействуя на поршень 16.

Поршень 16, соединенный с толкателем 17, перемещается вниз, при этом нижний конец толкателя выдавливает самораскрепляющуюся пробку 19 из корпуса расширителя 1. Пробка 19 под действием пружины 20 распирается в стволе скважины. Затем приподнимают устройство над «кровлей» осложненного интервала и включают вращение бурового снаряда. Поршень 16 с толкателем 17 перемещается вниз, при этом верхняя кромка прорезей 5 воздействует на коромысла 4 раздвижных лопастей 3. Лопасти внедряются в стенки скважины своей режущей частью. При достижении манжетой 15 кольцевой проточки 6 вода перетекает через полость формующего элемента по вертикальным прорезям 5 и далее через пазы 18 корпуса расширителя. Давление в нагнетательной линии падает, что свидетельствует о полном раскрытии лопастей 3. Далее создают осевую нагрузку на буровой снаряд и перемещают устройство с вращением вдоль оси скважины, расширяя ее на требуемую величину.

Затем устройство опускают до совмещения отверстия 12 с расширенной частью ствола. По бурильным трубам доставляется шаровой клапан 11, который перекрывает осевой канал 13. Под действием давления воды срезается штифт и сдвижное кольцо перемещается до упора 14, открывая отверстия 12. В этот момент давление в системе падает, что свидетельствует о готовности устройства к операции нагнетания тампонажного материала, который закачивается в пространство между стенками расширенного участка скважины и формующим элементом 7. Вращением устройства на уровне тампонируемой полости формуется своего рода изолирующая крепь из быстротвердеющего тампонажного материала, после чего буровой снаряд извлекается из скважины. По истечении времени, соответствующего набору достаточной прочности тампонажного камня, продолжают углубку скважины прежним диаметром.

Опытно-производственное опробование предложенной технологической схемы беструбного крепления скважин и оценка работоспособности экспериментального образца устрой-

ства проходили в условиях Северо-Эвенской ГРЭ ПГО «Севвостгеология». При бурении плановой разведочной скважины № 816 на пересечении ею многолетнемерзлых (температура до –7 °С) алевролитов, аргиллитов, углистых сланцев, переслаивающихся габбро-диабазами, на глубине 31,0-81,5 м наблюдалось интенсивное вывалообразование вследствие растепляющего воздействия очистного агента. Ситуация осложнялась необходимостью введения в промывочную жидкость в качестве противоморозной добавки NaCl, что усиливало эффект растепления стенок скважины. Диаметр ствола в указанном интервале был равен 76 мм. Разбуривание производилось при частоте вращения устройства 155 мин$^{-1}$, осевой нагрузке 400-600 даН и расходе промывочной жидкости 40 л/мин (третья скорость бурового насоса НБЗ-120/40).

В качестве тампонажного материала использовался портландцемент в смеси с глиноземистым цементом, а ускорителем схватывания являлся водный раствор NaCl. Тампонажная суспензия обладала следующими свойствами: начало и конец схватывания соответственно через 35 и 50 мин; растекаемость (по конусу АзНИИ) 18 см; прочность цементного камня при сжатии (через 4 ч твердения) 1,5 МПа.

По окончании разбуривания ствола в зоне осложнения его средний диаметр составил 115 мм, а после проведения изоляционных работ внутренний диаметр скважины в этом интервале не превысил 80 мм. Таким образом, минимальная толщина стенки сформированной изолирующей крепи в зоне тампонирования составила 35 мм. Дальнейшая углубка скважины продолжена без видимых осложнений в интервале проведения изоляционных работ.

В конструкции указанного устройства предусмотрены две раздвижные лопасти, в качестве режущих элементов которых использовали пластины из твердого сплава ВК-6, что позволяло успешно разбуривать перечисленные выше глинистые породы, относящиеся преимущественно к VII категории по буримости. Однако встретившиеся прослойки габбро-диабазов XI категории существенно осложнили разбуривание ствола скважины. В связи с этим в настоящее время разработано устройство, содержащее четырехлопастные режущие элементы ступени этого типа, армированные сплавами ВК (верхняя пара) и синтетическими поликристаллическими алмазами типа СВСП (нижняя пара), что позволяет расширить область применения предлагаемой технологии беструбного крепления горных пород.