

Заключение

Таким образом разработана математическая модель теплообмена вентиляционного воздуха с горными породами в протяженных горных выработках рудников и шахт криолитозоны с учетом испарения и конденсации влаги. На её основе составлена компьютерная программа для расчета количественных показателей процессов теплообмена в горных выработках. Численная реализация разработанной модели позволяет рассчитать динамику изменений температуры вентиляционного воздуха и его относительной влажности в зависимости от термовлажностных условий выработки, что важно для прогноза теплового режима шахты и обеспечения безопасности ведения горных работ.

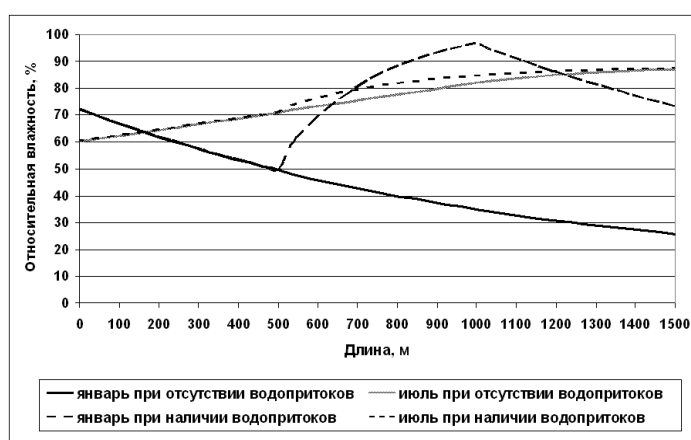


Рис. 3. Распределения относительной влажности воздуха по длине выработки зимой и летом

Литература

1. Венгеров И.Р. Теплофизика шахт и рудников. Математические модели. Т. I. Анализ парадигмы. — Донецк: Норд-Пресс, 2008. — 632 с.

УДК 550.822.7

Пути совершенствования строительства скважин в многолетнемерзлых породах

Р.А. Атласов, Р.М. Скрябин, Э.Р. Туги, М.В. Николаева, А.Г. Иванов, С.С. Бердыев

Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск

2. Криворучко А.М. Влияние породного массива на изменение влажности воздуха в выработках глубоких шахт // Материалы семинара по горной теплотехнике. Вып. 5. — Киев: Изд-во Института техн. информ., 1964. — С. 101–103.

3. Андреев Г.Г., Попков Г.К. Исследование массообменных процессов, происходящих в горном массиве и на поверхности выработок под воздействием рудничного воздуха // Эффективная и безопасная разработка месторождений полезных ископаемых: Труды УЗПИ, вып. 3. — М.: Недра, 1971. — С. 171–176.

4. Ларионов Н.Н. Теплотехника. — М.: Стройиздат, 1985. — 432 с.

5. Изахсон В.Ю., Слепцов В.И., Бандопадхай С. Математическое моделирование теплообмена в горных выработках Арктики. — Новосибирск: Наука, 2000. — 120 с.

6. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. — М.: Наука, 1977. — 736 с.

7. Охлопков Н.М., Васильев В.И., Попов Ф.С. и др. Численные методы решения задач теплообмена подземных и наземных сооружений с мерзлым грунтом // Методы механики сплошной среды. — Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1977. — С. 5–18.

8. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 784 с.

9. Самарский А.А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1983. — 616 с.

10. Самарский А.А., Моисеенко Б.Д. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журнал вычислит. мат. и мат. физики. — 1965. — Т. 5, №5. — С. 816–827.

Поступила в редакцию 15.12.2014

АТЛАСОВ Ринат Александрович — ст. преподаватель, atlasov.rinat@mail.ru; СКРЯБИН Рево Миронович — к.т.н., проф., зав. каф., yakutsk_09@mail.ru; ТУГИ Эвальд Раймонович — доцент, ndsvfu@mail.ru; НИКОЛАЕВА Мария Валентиновна — зав. лаб., mnikolaeva1990@gmail.com; ИВАНОВ Александр Геннадиевич — зав. лаб., iag-sakha@mail.ru; БЕРДЫЕВ Саид Сангинмуродович — ст. преподаватель, sidbersan@gmail.ru.

В процессе бурения скважин в толще многолетнемерзлых пород встречается ряд специфичных осложнений, которые нередко приводят к серьезным авариям: выпучивание грунта, разрушение устья скважин, обвалы стенок скважин, обрыв и смятие обсадных колонн из-за неэффективного цементирования в зоне мерзлых пород, выброс газа на поверхность, грифоны и т.д. Упомянутые выше осложнения предопределяются некачественным бурением и креплением скважин. Даны основные рекомендации, способствующие успешной проводке скважин в многолетнемерзлых породах: строительство скважин без спуска шахтовых и удлиненных направлений; бурение на низкотемпературных промывочных жидкостях; бурение в летний период долотами меньшего размера с последующем расширением до необходимого диаметра; достижение максимально возможных коммерческих скоростей проводки скважин.

Ключевые слова: режим бурения, буровой раствор, многолетнемерзлые породы, растепление стенок скважины, температурный режим, калибратор, расширение ствола скважины.

In the process of drilling in permafrost there are a number of specific complications that often lead to serious problems: soil buckling, destruction of wellheads, collapses of the walls of wells, break and collapse of casing strings because of inefficient cementation in permafrost zone, release of gas on to the surface, griffins, etc. The above mentioned complications are predetermined by low-quality drilling and well casing. The article gives basic recommendations for successful wells drilling in permafrost conditions which are: construction of wells without descent shaft and elongated directions; drilling at low temperature drilling fluids; drilling in summer by smaller bits with subsequent expansion to the desired diameter; achieving the maximum possible business speed of well conducting.

Key words: drilling mode, boring solution, permafrost, thawing the borehole walls, temperature control, calibrator, extension of the wellbore.

Введение

В процессе бурения скважин в толще многолетнемерзлых пород встречается ряд специфичных осложнений, которые нередко приводят к серьезным авариям: выпучивание грунта, разрушение устья скважин, обвалы стенок скважин, обрыв и смятие обсадных колонн из-за неэффективного цементирования в зоне мерзлых пород, выброс газа на поверхность, грифоны и т.д. Главными факторами, определяющими степень влияния многолетней мерзлоты на проводку скважин, являются физико-химические, механические свойства мерзлых пород, температура промывочной жидкости. Мерзлые породы по своим физико-механическим свойствам резко отличаются от пород того же минералогического состава, не подвергшихся замораживанию. Можно выделить два основных типа многолетнемерзлых пород: породы, которые сформировались и уплотнились при положительной температуре, а позже заморзли, и породы, сформировавшиеся при отрицательной температуре, связанные друг с другом только посредством льда[1].

Во время бурения скважин, лед, заполняющий поры, при оттаивании мерзлых пород переходит в жидкую фазу, занимающую меньший объем, а образовавшуюся пустоту заполняет промывочная жидкость положительной температуры – происходит дальнейшее оттаивание пород. Силы сцепления между частицами рыхлых пород резко уменьшаются, что ве-

дет к осыпанию или обвалам стенок скважины.

Нарушение теплового режима многолетнемерзлых грунтов при строительстве скважин приводит к возникновению аварийных ситуаций с серьезными экономическими, материально-техническими, экологическими и социальными последствиями. Тепловое взаимодействие в процессе бурения и крепления в интервалах с многолетнемерзлыми грунтами оказывает значительное влияние на состояние грунта, что негативно сказывается на качестве работ.

Технология бурения мерзлых толщ, представленных твердыми и крепкими породами низкой проницаемости, практически идентична бурению в таких же породах с положительной температурой. В то время, как строительство скважин в зоне мерзлоты, представленной преимущественно льдистыми, слабосцементированными, рыхлыми породами, резко отличается от строительства скважин в аналогичных породах с положительной температурой.

В этом случае основную роль в нормальной проводке ствола скважины играют температурный режим промывки скважины и продолжительность бурения толщи многолетнемерзлых пород, т.е. факторы, оказывающие решающее влияние на растепление стенок скважины.

Если при бурении многолетнемерзлых пород применяется промывочная жидкость с положительной температурой, то породы в пристволенной зоне постепенно нагреваются и оттаивают.

Радиус зоны растепления тем больше, чем выше температура промывочной жидкости и продолжительнее ее воздействие. Нередко радиус зоны растепления достигает нескольких метров.

При растеплении пород второго типа в скважине возникают специфические осложнения: по мере того как тает лед, освобождающиеся минеральные частицы (песок, галька) осыпаются в ствол скважины и потоком промывочной жидкости выносятся на дневную поверхность; при этом в скважине образуется полость большого диаметра. При растеплении нередко случаи обваливания пород, что служит причиной прихвата бурильных труб. Наблюдаются случаи проседания пород вокруг устья скважины на глубину нескольких метров, и в результате возникает опасность аварий с буровым оборудованием. Проседание пород после завершения буровых работ может явиться причиной повреждения обсадных колонн и эксплуатационного оборудования, взрывов и пожаров[2].

При длительном простое скважины отрицательные температуры в пристволенной зоне восстанавливаются. При замерзании воды в этой зоне возможно повреждение обсадной колонны, если последняя спущена в скважину (смятие или обрыв).

Основным способом предотвращения названных осложнений в мерзлых породах второго типа является сохранение отрицательной температуры стенок скважины. Это может быть достигнуто охлаждением промывочной жидкости до температуры $-2...-5$ °С. Можно свести к минимуму растепление пород, если бурить с продувкой воздухом или с промывкой охлажденной азрированной жидкостью. Полезной практикой при бурении в мерзлых породах второго типа является использование долота уменьшенного диаметра: к тому времени, как скважина будет пробурена до глубины, на которую нужно спустить обсадную колонну, диаметр скважины вследствие растепления увеличится до нужного для этого размера. После разбуривания толщи мерзлых пород второго типа ствол скважины необходимо укрепить обсадной колонной и тем самым исключить возможность дальнейшего осыпания пород. Башмак этой колонны следует устанавливать в прочных породах, не осыпающихся при растеплении. Кольцевое пространство между колонной и стенками скважины, если они сложены непроницаемыми породами при положительной температуре, полезно герметизировать пакером, особенно в газовых и газоконденсатных скважинах. Это позволит предотвратить прорыв газа в заколонное пространство и образование грифонов вокруг устья.

Выбор глубины спуска кондуктора

Получение цементного камня с необходимыми механическими свойствами, с высокой стойкостью и низкой проницаемостью за колонной напротив многолетнемерзлых пород еще не может полностью гарантировать надежной герметизации затрубья. Слабым местом остается контакт между цементным камнем и мерзлой породой. Многолетняя мерзлота в основном представлена породами с прослойками и прожилками льда. В процессе дальнейшего углубления скважины повышается температура промывочной жидкости.

В результате циркуляции жидкости с повышенной температурой мерзлые породы за кондуктором растепляются, по контакту цемента с породой и в самой породе могут образовываться каналы для движения газа к устью скважины. Поэтому в целях надежной изоляции затрубного пространства башмак колонны рекомендуется устанавливать не менее, чем на 100–150 м ниже подошвы мерзлоты, обеспечивая тем самым надежный контакт цемента с породой.

Минимальная глубина спуска кондуктора

$$H = \frac{\rho_{пл}}{\alpha} = \frac{150}{0,2} = 750 \text{ м.}$$

Бурение промывочными жидкостями с отрицательной температурой

Анализ кавернообразования в зависимости от температуры циркулирующего раствора, проведенный по Средневиллюйской площади, показывает, что скважины, пробуренные в зимних условиях промывочными жидкостями с температурой, близкой к нулю, имеют коэффициент кавернозности около 1,2, т.е. вполне удовлетворительный.

Следовательно, при бурении в зимнее время необходимо использовать низкие температуры окружающей среды и бурить промывочными жидкостями с температурой 2 до $-1,5$ °С. Такая температура вполне достаточна для предохранения от растепления и разрушения стенок скважины. Получение жидкостей, не замерзающих при температуре 2 до $-1,5$ °С, осуществляется добавкой 3–5 % хлористого натрия или хлористого кальция.

Аналогичные скважины, пробуренные в летнее время при высоких положительных температурах промывочной жидкости, имеют коэффициент кавернозности 1,7–2.

Самопроизвольное искривление скважин

При бурении нужно стремиться к тому, чтобы фактическая траектория ствола строго соответствовала проектной. Самопроизвольное откло-

нение фактической траектории от проектной, обычно именуемое искривлением (точнее, неуправляемым искривлением), может иметь ряд отрицательных последствий: нарушается сетка разработки месторождения; увеличиваются длина ствола скважины, расходы на ее сооружение, силы трения между трубами и стенками скважины; осложняется выполнение спуско-подъемных операций; возрастают затраты мощности на бурение; интенсифицируется износ бурильных, обсадных и насосно-компрессорных труб; усиливается желобообразование в местах перегиба ствола скважины; нередко возрастает аварийность с трубами; ухудшается качество цементирования скважин.

Можно назвать несколько причин, способствующих самопроизвольному искривлению скважин.

Причины геологического характера: анизотропия пород; частое чередование пород с разными механическими свойствами, особенно при их наклонном залегании; наличие в породах трещин и других полостей и т. п. Долото, работая на забое, сложенном такими неоднородными по составу, текстуре и другим свойствам породами, встречает в разных точках существенно разные сопротивления. Результирующая реакция забоя оказывается смещенной относительно его центра, поэтому на нижний участок бурильной колонны действует изгибающий момент, под влиянием которого долото поворачивается на некоторый угол к первоначальному направлению оси колонны [3].

Причины технического порядка: наличие в нижней части бурильной колонны изогнутых труб или перекошенных резьбовых соединений при бурении с помощью забойных двигателей; несоосность талевой системы и стола ротора, несоосность стола ротора и направления скважины (последние сказываются в основном при бурении верхнего интервала скважины).

Причины технологического порядка: чрезмерно высокие осевые нагрузки на долото, вызывающие продольный изгиб нижнего участка бурильной колонны.

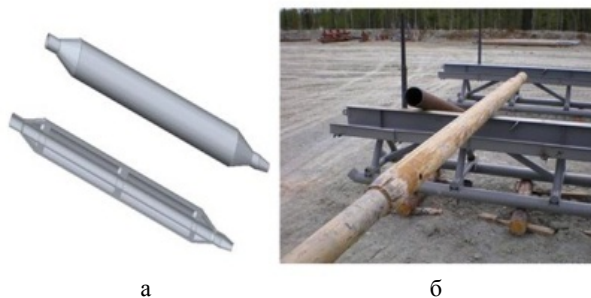
Предотвратить самопроизвольное искривление скважины или хотя бы свести его к минимуму можно надлежащим выбором компоновки нижнего участка бурильной колонны при заданной осевой нагрузке на долото, при необходимости – уменьшением нагрузки до допустимого минимума; систематическим контролем направления скважины, особенно при бурении часто чередующихся по свойствам пород; исключением из компоновки нижнего участка бурильной колонны изогнутых, с перекошенными резьбовыми соединениями труб и тщательной

центровкой талевой системы относительно стола ротора, проверкой горизонтальности последнего.

Бурение долотами меньшего диаметра с последующим расширением

Бурение скважин № 8, 3, 10 Мастахской площади в зоне мерзлоты производилось долотом № 12 с последующим расширением долотом № 16. Средние диаметры скважин после расширения по кавернограммам соответственно равны: 400 мм, 405 мм, 410 мм. На скважинах № 9, 2 Мастахской площади бурение многолетнемерзлых пород в идентичных условиях проводилось долотом № 16. Средние диаметры кавернограмм соответственно равны 620 мм и 600 мм. Коммерческие скорости бурения скважин составляют: № 1 – 4140 м/ст.мес., № 3 – 2770 м/ст.мес., № 8 – 2850 м/ст.мес., № 9 – 5610 м/ст.мес., № 10 – 2780 м/ст.мес.

По данным бурения этих скважин можно сделать заключение, что бурение с последующим расширением ствола скважины устраняет кавернообразование, но приводит к снижению скорости бурения. Следовательно, данный способ бурения следует применять в летний период, когда промывочные растворы имеют высокую положительную температуру и осложнения, вызываемые растеплением ствола скважины, требуют более значительных затрат времени на их ликвидацию, чем потери времени на расширение скважины. Значительное сокращение времени на расширение скважин можно получить, применяя планетарные долота или специальные расширители, например дисковые. Также хорошо себя зарекомендовали шаблон-калибраторы ПМ 147344 (рисунок), которые, не обладая режуще-скалывающими свойствами стандартного лопастного или шарошечного калибратора, разминают, раздавливают и истирают своим корпусом неровности и уступы на стенках скважины, что значительно снижает кавернообразование.



Шаблон-калибратор: а – схема устройства; б – изготовленное по чертежам устройство (скв.321-63, Чаяндинское НГКМ)

Достижение максимально возможных коммерческих скоростей проводки скважин

При бурении в толще многолетнемерзлых пород промывочными жидкостями с положительной температурой необходимо добиваться максимального сокращения времени. Чем длительнее сохраняется контакт жидкостей с положительной температурой с мерзлыми породами, тем более интенсивным теплоэрозионным разрушениям подвергаются стенки ствола скважины, тем более серьезные осложнения могут возникнуть в ее стволе.

Наиболее приемлемой является коммерческая скорость в пределах 6–7 тыс. м/ст.мес.

Для достижения этих скоростей необходима тщательная подготовка к забуриванию скважин, а именно: заблаговременное бурение под шурф для квадратной штанги, подготовка и укладка на мостки всех труб, предназначенных к спуску кондуктора, осуществление забора воды для приготовления промывочных растворов в летнее время из наиболее глубоких мест, где вода имеет более низкую температуру, раствор готовить перед самым забуриванием, максимально сократив время для его приготовления с целью сохранения в растворе низкой температуры. Электроизмерительные работы перед спуском кондукторов необходимо проводить, как правило, выборочно на отдельных скважинах, бурящихся в зимний период, для рекогносцировки. Бурение проводить в форсированном режиме, применяя наиболее оптимальные типы долот. Как уже указывалось выше, в летнее время бурить долотами меньшего диаметра с последующим расширением [4].

Заключение

Основные рекомендации, описанные в этой статье, способствующие успешной проводке скважин в многолетнемерзлых породах на современном этапе развития техники и технологии бурения:

1. Строительство скважин без спуска шахтовых и удлиненных направлений.
2. Бурение на низкотемпературных промывочных жидкостях.
3. Бурение в летний период долотами меньшего размера с последующем расширением до необходимого диаметра.
4. Достижение максимально возможных коммерческих скоростей проводки скважин.

Литература

1. *Руководство* по креплению разведочных скважин в условиях многолетнемерзлых пород в районах Якутской АССР. – 1972.
2. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: Учебник для вузов. – М.: Недра, 2003. – 211с.
3. Гусман М.Т. Анализ и перспективы улучшения работы колонковых долот: Труды Всесоюз. совещания нефтяников «Буровые долота». – М.: Гостоптехиздат, 1952. – С.51–72.
4. Коробейников Н.Ю., Тергулова Г.Р. Особенности экономической оценки проведения геолого-технических мероприятий. – М.: Нефтяное хозяйство. – 2001. – №4. – С. 13.

Поступила в редакцию 29.04.2015 г.