DOI: 10.25515/PMI.2018.3.239

УДК 622.277

ВЛИЯНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД

М.Н.ОВЕРЧЕНКО[1], **С.А.ТОЛСТУНОВ**[2], **С.П.МОЗЕР**[1]
[1] *ЗАО «Орика СиАйЭс», Москва, Россия*
[2] *МАНЭБ, Санкт-Петербург, Россия*

Приведены результаты исследований устойчивости буровых скважин. Рассмотрены возможные причины возникновения аварийных ситуаций. Проанализированы особенности бурения взрывных скважин с учетом свойств массива горных пород. На базе распределения скоростей выноса бурового шлама из скважины предложен алгоритм выбора режимов бурения. Проанализирован характер изменения размера скважин с течением времени. Исследовано влияние на устойчивость скважин трещиноватости массива и его обводненности.

Предложены возможные варианты устранения техногенного воздействия на массив в окрестности скважин и варианты крепления стенок скважин с применением мягких оболочек. Приведены данные эксперимента по установке оболочек для условий открытой разработки месторождений апатит-нефелиновых руд. Доказана работоспособность и результативность технологии.

***Ключевые слова*:** взрывная отбойка, скважина, шарошечное бурение, обводненность, устойчивость, крепление, мягкие оболочки, безопасность горных работ

***Как цитировать эту статью*:** Оверченко М.Н. Влияние горно-геологических условий и техногенных факторов на устойчивость взрывных скважин при открытой разработке апатит-нефелиновых руд / М.Н.Оверченко, С.А.Толстунов, С.П.Мозер // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 239-244. DOI: 10.25515/PMI.2018.3.239

Введение. Взрывная подготовка рудной массы к выемке для последующей переработки является одним из самых трудоемких элементов в цикле добычи полезных ископаемых. На эффективность ведения буровзрывных работ оказывает влияние большое число факторов, одним из которых является обводненность массива [4-8, 11, 12]. В последние годы появилась новая проблема, ранее нехарактерная для скальных массивов – неустойчивость стволов скважин, вызывающая необходимость применения технологии заряжания скважин вслед за бурением. Зарядка вслед за бурением требует постоянного присутствия на взрывном уступе дополнительных людей и оборудования, что в совокупности с финансовыми издержками снижает эффективность и безопасность взрывных работ. Таким образом, решение задачи устойчивости стволов взрывных скважин становится очень актуальным.

Постановка проблемы. Рудник Восточный разрабатывает месторождение Коашва апатит-нефелиновых руд открытым способом и входит в состав месторождений Хибинской группы. Подготовка горных пород к выемке осуществляется буровзрывным способом. В последние годы на предприятии освоено применение эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) и неэлектрических способов их инициирования, что значительно повысило безопасность взрывных работ. Бурение основного объема взрывных скважин осуществляется станками шарошечного бурения СБШ-250. Заряжание скважин осуществляется смесительно-зарядными машинами Transmanut на базе Scania. В процессе подготовки горных пород к выемке наибольшие сложности возникают при бурении скважин [2, 4, 12]. Скважины имеют низкую устойчивость, а в целом ряде случаев получить необходимое количество полноценных скважин не удается из-за невозможности эффективного удаления буровой мелочи. В этом случае скважины приходится многократно бурить заново. При этом нарушается паспорт бурения скважин, значительно увеличивается время бурения, происходит перерасход электроэнергии и, как следствие, взрывчатых веществ. Из-за короткого времени сохранения устойчивости скважин их заряжание вынуждено производиться сразу после бурения. Это создает значительные неудобства в работе, приводит к простою дорогостоящей техники, значительным производственным издержкам.

Методология. Анализ показал, что наибольшее влияние на устойчивость взрывных скважин оказывают горно-геологические и техногенные факторы.

Физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород [1, 3, 9] приведены в таблице.

DOI: *10.25515/PMI.2018.3.239*

Физико-механические свойства горных пород Коашвинского карьера

Характеристика	Руды пятнистые, пятнисто-полосчатые, полосчатые	Руды линзовидно-полосчатые	Руды сетчатые	Руды блоковые	Боковые породы (уртиты, ийолиты)
Плотность, т/м^3	3,1	2,92	2,75	2.94	3,3
Скорость продольных волн, м/с	4500	4300	5200	5350	
Модуль упругости, МПа	$6{,}0\cdot10^4$	$5{,}5\cdot10^4$	$8{,}0\cdot10^4$	$7{,}0\cdot10^4$	$8{,}3\cdot10^4$
Коэффициент Пуассона	0,3	0,27	0,2	0,25	0,25
Предел прочности на сжатие, МПа	110	145	160	160	225
Предел прочности на растяжение, МПа	3,0	5,0	9,0	4,0	10,4
Категория по буримости	–	–	XIII	XIII	XVI
Категория по взрываемости	–	–	IV	IV	III

Скальные породы имеют до 20 трещин на метр и относятся к среднетрещиноватым. Разработка месторождения характеризуется сложной гидрогеологической обстановкой. Средний водоприток составляет 11000 м^3/ч. Обводненность месторождения сильно осложняет процесс создания буровых скважин. Даже сухие скважины в некоторых случаях обладают низкой устойчивостью.

Все пробуренные скважины на рабочей площадке можно разделить на следующие категории:

1) сухие;

2) обводненные, питающиеся водой в режиме фильтрации;

3) обводненные, питающиеся проточной водой в режиме гидростатического напора;

4) обводненные, питающиеся водой в режиме повышенного напора и фонтанирующие водой.

На вскрышных уступах в основном встречаются скважины категорий 1-3, на добычных – всех перечисленных категорий.

Натурные исследования показали, что поступление воды в буримую скважину зависит от характера трещиноватости и степени раскрытия трещин на расстоянии 1,0-1,5 м от места предполагаемого заложения скважин. Субкапиллярные и капиллярные трещины не создают помех процессу бурения. Незначительное поступление воды в процессе бурения является положительным моментом, способствует уменьшению пылевыделения и улучшает охлаждение бурового долота. Трещины сверхкапиллярные (раскрытие от 0,2 мм и выше) создают приток воды с напором. При раскрытии трещин от 2 мм и выше приток воды становится значительным. В последних двух случаях процесс очистки скважин от бурового шлама затруднен.

Анализ причин такого явления показывает, что одним из факторов, провоцирующим пережим скважины кусками породы, является избыточная вибрация бурового става. Вибрация при шарошечном бурении обусловлена спецификой работы шарошечного долота. По мере углубления долота в породу при обводнении вынос буровой мелочи не происходит. Данные видеосъемки процесса бурения показывают, что в начальный период буровой став за счет вибраций производит деформирование поверхности в радиусе около метра. В литературе вопрос влияния вибраций бурового става на устойчивость скважин исследован недостаточно полно. Буровая мелочь по мере углубления бурового долота приобретает высокую плотность между буровой штангой и стенкой скважины. По мере дальнейшего углубления бурового долота происходит вдавливание буровой мелочи и кусков породы в окружающий массив. После окончания процесса бурения начинается медленное движение кусков, частиц и буровой мелочи в сторону свободной поверхности. Через некоторое время сечение скважины уменьшается до недопустимых размеров и скважина становится непригодной для заряжания.

Начало появления вибраций (по величине скорости вращения инструмента) зависит от массы и жесткости системы «вращатель – буровой став». Чем больше масса вращательно-подающего механизма станка, тем при больших оборотах буровой колонны начинает возникать вибрация. Теоретически вычислено, что вращательно-подающий рабочий механизм станка должен иметь массу не менее 3,5 т при устойчивых 100 оборотах в минуту [2].

Принятый режим бурения осуществляется при 150 и более оборотах бурового става и осевой нагрузке 30-100 кН. Конструктивно система очистки забоя скважины предусматривает непрерывную подачу воздуха и одновременную подачу воды в случае необходимости. Отключить подачу воздуха не представляется возможным из-за опасности заштыбовывания продувочных ка-

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.239

налов в долоте и буровой колонне. Вода под давлением 0,35 МПа подается в магистраль только при бурении сухих скважин. Одним шарошечным долотом производства Уралвагонзавода удается пробурить в рассматриваемых условиях более 1000 м скважин.

Существенное влияние на устойчивость скважин оказывает исправность бурового инструмента. Преобладающей причиной выхода из строя шарошечного долота является заклинивание и последующее разрушение подшипников, установленных в лапах опор. Твердосплавные полусферические армирующие элементы изнашиваются из-за выкрашивания твердого сплава и от действия высоких температур при бурении без воды. При трении долота о твердую и абразивную породу шарошечное долото сильно нагревается вплоть до изменения цвета металла. Методически определить начало разрушения подшипников и выкрашивание твердого сплава в процессе бурения сложно. Разрушающийся в начальной стадии подшипник создает дисбаланс долота, что в свою очередь приводит к вибрации бурового става, искривлению профиля самой скважины и разрушению массива при ударах буровой колонны. Устойчивость стволов таких скважин довольно низкая. При полном разрушении одного из подшипников происходит падение скорости проходки скважины. Достигнутая на предприятии средняя скорость бурения скважин с использование нового долота составляет примерно 1 м/мин.

Наблюдения показывают, что осевое усилие на долото определяется сложившейся практикой на предприятии и не является оптимальным. В зарубежной горной практике рекомендуется в аналогичных условиях осуществлять бурение шарошечными долотами с осевыми усилиями в среднем 10 кН на каждый сантиметр диаметра долота, т.е. при принятом диаметре 8,75 дюйма осевое усилие должно составлять до 300 кН при принятом числе оборотов 40-50. Станок СБШ-250 способен развивать осевое усилие до 200 кН.

Следовательно, для повышения устойчивости буровых скважин необходимо разработать и использовать оптимальный алгоритм процесса работы бурового станка применительно к условиям месторождения Коашва.

На рис.1 показано распределение скоростей движения бурового шлама в зазоре между стенками скважины и буровой колонной. Данные получены на основе обработки видеосъемки процесса бурения. На рис.1 представлены только вертикальные составляющие траектории движения частиц. В действительности частицы в зазоре движутся в турбулентном потоке по сложной траектории, т.е. хаотически. Данные следует считать ориентировочными. В данном случае исследовался процесс бурения скважины глубиной 10 м шарошечным долотом диаметром 250,5 мм при диаметре буровой колонны 203 мм. Бурение производилось на участке с поступлением воды в скважину в режиме гидравлического напора.

Анализ распределения скоростей движения частиц в зазоре шириной 24 мм показывает, что вынос шлама возможен только в узкой области около 1 см, примыкающей к стенкам буровой колонны. При достижении буровым снарядом проектной глубины 10 м устье скважины увеличивается в диаметре и ширина суммарного зазора становится выше 60 мм. В процессе бурения происходит перераспределение скоростей выноса частиц шлама. Кинематика движения частиц становится значительно хуже. Скорости движения частиц у стенки скважины падают, а скорости частиц у стенки буровой колонны практически меняются слабо. В этом случае ширина интервала скоростей, где возможен вынос шлама, составляет примерно 1,5 см. Следовательно, для улучшения процесса очистки скважины от бурового шлама необходимо либо увеличить расход воздуха примерно в четыре раза, либо уменьшить зазор между стенкой скважины и буровой колонной до 1 см.

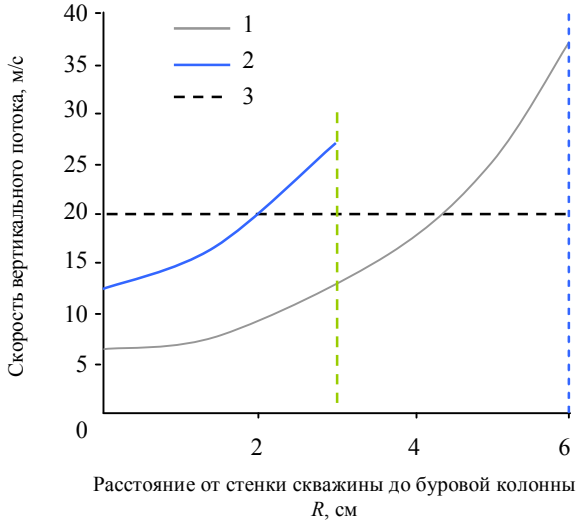


Рис.1. Распределение скоростей выноса бурового шлама из скважины на завершающей (1) и в начальной (2) стадии бурения скважин; 3 – область минимально устойчивого выноса бурового шлама

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.239

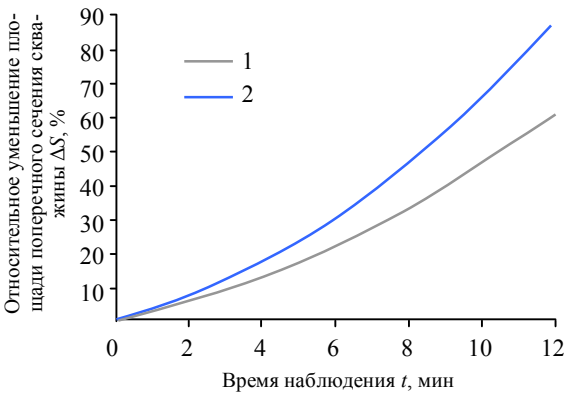


Рис.2. Характер изменения сечения скважин с течением времени во вмещающих породах (1) и в массиве руды (2)

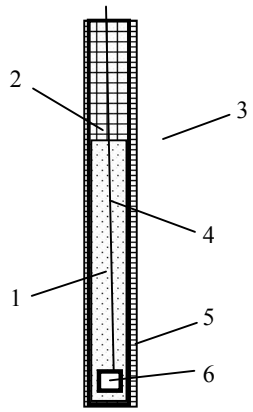


Рис.3 Конструкция заряда для обводненных массивов горных пород

1 – водостойкое взрывчатое вещество; 2 – мягкая оболочка с водой в нисходящей скважине; 3 – массив горных пород; 4 – волновод; 5 – нисходящая скважина; 6 – патрон-боевик



Рис.4. Скважина глубиной 10 м полностью заполнена буровым шламом и водой. Устье скважины отсутствует

На рис.2 показано изменение сечения скважин, пробуренных по руде и во вмещающих породах. Данные получены методом фиксации контрольных точек ствола скважины через равные промежутки времени на глубине 50 см. За предельную величину принято время, при котором сечение скважины уменьшится на 50 % от первоначального. Такой критерий выбран, исходя из принятых диаметров трубопроводов, габаритов и технических возможностей смесительно-зарядной техники. На основании этих исследований установлено предельное время производства зарядных работ на скважине с установкой промежуточного детонатора: для уступов на вмещающих породах 9 мин и для рудных уступов 11 мин.

Обсуждение. Для повышения устойчивости скважин предложен способ крепления, позволяющий остановить заплывание сечения на несколько суток. Этого времени вполне достаточно для осуществления зарядки скважин согласно разработанному технологическому процессу.

Способ [10] заключается в установке в скважину мягкой полиэтиленовой оболочки необходимого диаметра на всю глубину скважины и заполнении ее водой. Далее ЭВВ заряжается внутрь этой оболочки. Плотность ЭВВ выше плотности воды и поэтому по мере подачи вытесняет воду из внутреннего пространства рукава воду. В конечном итоге заряд ВВ формируется в защитной оболочке и может находиться в ней продолжительное время (рис.3).

Для оценки практической применимости предлагаемого способа на стадии эксперимента оболочки изготавливались из технического полиэтилена толщиной 120 и 200 мк. Для этого рулонный материал раскатывали на необходимую длину, разрезали на полосы расчетной ширины и склеивали двухсторонним скотчем. Прочность мест соединения проверяли ручным динамометром. Прочность швов в местах склеивания полотнищ оказалась выше прочности цельных полотнищ.

Оболочки заполняли водой через шланг внутренним диаметром 32 мм от штатного автомобиля, в кузове которого помещался сосуд (IBC контейнер) с водой емкостью 1м^3. Заполнение оболочек водой осуществлялось за счет гидростатического напора. Оболочки были установлены и испытаны в 13 скважинах.

Для ускорения времени погружения оболочки в скважину в нее помещали камень массой около 1 кг. Время на подготовку и размещение оболочки в скважине составляло 1 мин.

На основании исследований установлено следующее. Установка оболочек в сухих скважинах происходила без каких-либо помех. Заполнение оболочек водой возможно как снизу, так и сверху. Время заполнения оболочки водой одинаково. Заполнение оболочек снизу требует более длительного времени на подготовку оболочек и размещение в них шланга на всю длину. На эту

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.239

операцию уходит 2-3 мин. Далее оболочка вместе со шлангом опускается в скважину и затем подается вода. В заполненных водой скважинах при наполнении оболочки водой происходит вытеснение воды, находящейся в зазоре между оболочкой и стенкой скважины. Время на вытеснение воды составляло 4 мин для скважин глубиной 10 м. Если заполнять оболочку водой сверху, то время заполнения увеличивается до 6-7 мин из-за более медленного вытеснения воды в зазоре. Следовательно, более эффективно и надежно заполнение оболочек снизу. Внешний вид установленных в скважинах оболочек показан на рис.4-6. На основе производственных экспериментов доказана эффективность использования полиэтиленовых оболочек для повышения устойчивости скважин.



Рис. 5. Оболочка установлена в сухой скважине и заполнена водой



Рис. 6. Оболочка установлена в обводненной скважине и заполнена водой

Заключение. Испытание оболочек в производственных условиях показало, что эффект создания противодействия заплыванию скважин породой сохраняется при условии их целостности. Любые повреждения оболочек, связанные с утечкой воды, снижают эффект поддержания ствола скважины. В результате испытаний установлено, что оболочки при толщине стенок 120 мк повреждаются абразивными кусками породы, начиная с глубины 10 м в области забоя скважины. Оболочки при толщине стенок 200 мк работали надежно без повреждений во всем диапазоне условий эксплуатации. Максимальный эффект поддержания достигнут при высоте столба воды над устьем скважины, равном 0,2 м. В этом случае ствол скважины сохраняется без повреждений в течение пяти суток. На основе производственных испытаний оболочек, установленных во всех типах встречающихся скважин, выявлены закономерности взаимодействия оболочек с вмещающими породами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас физических свойств минералов и пород Хибинских месторождений / И.А.Турчанинов, М.П.Воларович, А.Т.Бондаренко, Г.А.Ковалева, Р.В.Медведев, И.С.Томашевская, В.А.Тюремнов. Л.: Наука, 1975. 71 с.

2. Бурение и оборудование геотехнологических скважин / И.А.Сергиенко, А.Ф.Мосев, Э.А.Бочко, М.К.Пименов. М.: Недра, 1984. 224 с.

3. *Горбунов Г.И.* Минеральные месторождения Кольского полуострова. / Г.И.Горбунов, И.В.Бельков, С.И.Макиевский. Л.: Наука, 1981. 272 с.

4. *Ефремов Э.И.* Влияние обводненности горных пород на механизм их разрушения и технологию взрывной отбойки // Вестник КДПУ. 2006. Вып. 2(37). Ч. 2. С. 75-77.

5. *Ефремов Э.И.* Особенности и методы взрывного разрушения обводненных горных пород // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2010. № 2. С. 151-156.

6. *Козырев С.А.* К вопросу влияния гидрогеологических условий Коашвинского месторождения ОАО «Апатит» на степень обводненности горных пород / С.А.Козырев, И.А.Аленичев // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ. СПб: Реноме, 2013. С. 356-362.

7. *Козырев С.А.* К вопросу влияния обводненности карьера на механизм разрушения апатит-нефелиновых руд и параметры буровзрывных работ / С.А.Козырев, И.А.Аленичев // Взрывное дело. 2015. Вып. 114/71. С. 160-177.

8. *Мирзаев Э.С.* Пути совершенствования технологии взрывной отбойки обводненных пород / Э.С.Мирзаев, В.А.Маточкин // Известия вузов. Горный журнал. 1994. № 2. С. 56-62.

9. *Онохин Ф.М.* Особенности структуры Хибинского массива и апатито-нефелиновых месторождений. Л.: Наука, 1975. 106 с.

10. Патент на полезную модель РФ №168322. Заряд взрывчатого вещества для обводненных скважин / М.Н.Оверченко, С.А.Толстунов, С.П.Мозер. Опубл. 30.01.2017. Бюл. № 4.

11. *Петрушин А.Г.* Прострелочно-взрывные работы в скважинах. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 222 с.

12. Технология и безопасность взрывных работ / В.А.Белин, Б.Н.Кутузов, М.И.Ганопольский, М.Н.Оверченко, И.Б.Строгий. М.: Горное дело; Киммерийский центр, 2016. 424 с.

***Авторы*: М.Н.Оверченко,** *канд. техн. наук*, *генеральный директор*, *michael.overchenko@orica.com* (*ЗАО «Орика СиАйЭс»*, *Москва*, *Россия*), **С.А.Толстунов,** *канд. техн. наук*, *руководитель отделения*, *tsaa09@mail.ru* (*МАНЭБ*, *Санкт-Петербург*, *Россия*), **С.П.Мозер,** *канд. техн. наук*, *бизнес-тренер*, *sergey.mozer@Орика.com* (*ЗАО «Орика СиАйЭс»*, *Москва*, *Россия*).

Статья поступила в редакцию 02.03.2018.
Статья принята к публикации 25.05.2018.