

14. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при разработке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей // Науч. исслед. и инновации. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 34-37.
15. Нестеров Е.А., Иванов О.В., Андрейко С.С. Газоносность калийных пород по связанным газам в условиях Краснослободского рудника // Науч. исслед. и инновации. – 2010. – Т. 4, № 1. – С. 89-91.
16. Андрейко С.С., Иванов О.В. Метод прогноза газодинамических явлений при разработке сильвинитовых пластов Верхнекамского месторождения калийных солей // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2009. – № 7. – С. 368-373.
17. Нестеров Е.А. Исследование газодинамической опасности пород III калийного горизонта шахтного поля вводимого в эксплуатацию Краснослободского рудника ЗРУ ОАО «Беларуськалий» // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 10 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2012. – С. 232-234.
18. Андрейко С.С., Иванов О.В., Литвиновская Н.А. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных выработок в подработанном массиве соляных пород. – Пермь: изд-во ПНИПУ, 2015. – 159 с.
19. Литвиновская Н.А. Газоносность и газодинамические характеристики пород почвы горных выработок в наработанном соляном массиве // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «Горная и нефтяная электромеханика – 2015» / ПНИПУ. – Пермь, 2015. – Т. 1. – С. 136-142.
20. Литвиновская Н.А. Газоносность и газодинамические характеристики пород почвы при слоевой выемке третьего калийного пласта в условиях рудников ОАО «Беларуськалий» // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 14 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2016. – С. 315-317.
21. Андрейко С.С. Предотвращение газодинамических явлений из почвы горных выработок в условиях применения различных вариантов столбовой системы разработки Третьего калийного пласта на рудниках ОАО «Беларуськалий» // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 15 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2017. – С. 341-345
22. Геологическое заключение по оценке состояния водозащитной толщи на шахтных полях ПАО «Уралкалий»: отчет о НИР / ГИ УрО РАН; рук. И.И. Чайковский. – Пермь, 2016. – 28 с.
23. Андрейко, С.С., Шаманский Г.П., Лаптев Б.В. Многомерные статистические критерии классификации газодинамических явлений на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1985. – № 1. – С.85-94.

УДК 622.253

DOI: 10.7242/echo.2019.2.21

ОБЗОР АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ СПЕЦИАЛЬНЫМ СПОСОБОМ ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

О.С. ПАРШАКОВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе представлен краткий обзор аварийных ситуаций, возникающих при строительстве шахтных стволов в сложных гидрогеологических и геологических условиях. Приведены основные причины появления аварий и осложнений при ведении горных работ в условиях замораживания породного массива. Отмечено, что тенденция освоения месторождений, залегающих в сложных гидрогеологических условиях, продолжает возрастать. Несмотря на накопленную научную базу и высокий уровень развития технологии производства работ по замораживанию массива пород осложнения, которые обнаруживаются при проходке шахтного ствола через обводненные горные породы, в полной мере исключить невозможно. В результате для снижения риска возникновения аварийных ситуаций предложено применять автоматизированную систему термометрического контроля замораживаемого участка породного массива. Система контроля позволит обеспечить безопасность строительства шахтных стволов способом искусственного замораживания горных пород за счет повышения точности определения параметров состояния ледопородного ограждения.

Ключевые слова: искусственное замораживание пород; ледопородное ограждение; строительство шахтных стволов; аварийные ситуации; система термометрического контроля.

Строительство шахтных стволов способом искусственного замораживания горных пород в сложных гидрогеологических и геологических условиях нередко сопровождается осложнениями и серьезными авариями, последствия которых могут привести к затоплению горной выработки, а следовательно и к реальной угрозе ее полной потери. За длительный период применения искусственного замораживания пород (начиная с 1883 г.) в существующей литературе [1-8] приводится множество примеров возникновения аварийных ситуаций при освоении месторождений полезных ископаемых.

Появление различных осложнений в процессе искусственного замораживания породного массива вызвано неполнотой достоверных данных о физических свойствах замораживаемых горных пород и проходимых водоносных горизонтов, некорректными расчетами проектных параметров замораживания, наличием локальных неоднородностей в породном массиве и его анизотропией, выходом из строя замораживающих колонок, влиянием технологических факторов в процессе проходки шахтного ствола, некачественным сооружением крепи горной выработки и ее гидроизоляции [9].

Систематизация причин возникновения аварийных ситуаций на всех этапах строительства ствола с использованием способа искусственного замораживания горных пород приведена в работах [10-12]. Отмечено, что в период замораживания горных пород наиболее часто имеет место такой вид аварий как разрыв замораживающих колонок, при этом причины этого явления полностью не выявлены. В период оттаивания ледопородного ограждения (ЛПО) возникают температурные напряжения, которые приводят к возможности образования трещин и разрушению материала в многослойной крепи выработки. В работе [13] рассмотрены случаи аварий, которые связаны с недооценкой весьма сложных гидрогеологических и геологических условий Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей.

Детальное исследование количества и анализ видов аварий при проходке шахтных стволов за период с 1948 г. по 2014 г. с применением замораживания участков породных массивов показывает, что 44 % (106 случаев) аварий связаны с неравномерностью процесса замораживания и оттаивания горных пород, 26 % (63 случая) — разрушение замораживающих колонок, 14 % (31 случай) — внезапный прорыв воды или рассолов, 6 % (15 случаев) — деформация поверхности и поднятия копров [14].

Как правило, последствия представленных выше видов аварийных ситуаций приводят к переносу сроков ввода в эксплуатацию рудника, увеличению затрат на энергопотребление холодильного оборудования, а также к снижению безопасности ведения горных работ в интервале обводненных горных пород [3, 5, 15, 16].

Следует отметить, что многочисленные аварии, возникающие при проходке шахтных стволов, не публикуются в открытой печати до завершения их строительства и выхода на проектную мощность рудника. При этом как показывает практика для ввода в действие горного предприятия с момента разработки проекта организации строительства требуется не менее 4-6 лет. В связи с чем выполнить полноценный анализ количества и видов аварийных ситуаций, которые произошли в период с 2014 г. по 2019 г. при строительстве шахтных стволов в условиях искусственного замораживания горных пород, не представляется возможным. Обзор наиболее серьезных аварийных осложнений за данный период представлен в таблице 1.

Развитие техники и технологии производства работ по искусственному замораживанию горных пород, создание научной базы, описывающей все аспекты процессов замораживания, разработка инженерных методов расчета параметров состояния ледопородного ограждения и холодильного оборудования ежегодно свидетельствуют о сокращении серьезных аварийных ситуаций, таких как затопление шахтного ствола при его проходке, а также разрушение замораживающих колонок в периоды искусственного замораживания и оттаивания горных пород [5, 14, 17-19]. Однако, как показывает опыт последних лет, осложнения возникающие в процессе строительства ствола происходят и на сегодняшний день.

На данный момент тенденция освоения месторождений в сложных гидрогеологических и геологических условиях продолжает возрастать. В ближайшие годы способом искусственного замораживания горных пород предусматривается строительство шахтных стволов Нивенского ГОК (Калининградская область), Дарасинского рудника (Республика Беларусь), участков ВКМКС. В результате увеличение объема работ по замораживанию горных пород, несмотря на высокий уровень развития технологий, с большой долей вероятности может привести к различным осложнениям и аварийным ситуациям.

Для устранения аварий в период всего срока строительства шахтных стволов в интервале обводненного породного массива целесообразно непрерывно производить контроль параметров состояния ледопородного ограждения.

Таблица 1

Аварийные ситуации за период с 2014 г. по 2019 г.

Месторождение, ГОК	Условия замораживания горных пород	Причина и последствие аварийной ситуации/осложнений
Гремячинское, Гремячинский	Замораживание пород вокруг ствола № 3 диаметром в свету 7 м. Глубина замораживания: - основной контур замораживающих колонок 520 м и 816 м; - дополнительный контур до 832 м. Рабочая температура хладагента -35 °С. Способ проходки ствола буровзрывной.	Неуправляемый водоприток возник на глубине проходки ствола 810 м. Возникновение прорыва воды в ствол связано со значительным отклонением на данной глубине замораживающих скважин от вертикали и неправильным выбором на этапе проектирования глубины замораживания. Это привело к образованию гидравлического «окна» в ледопородном ограждении и последующему затоплению ствола.
Гарлыкское (Карлюкское), Гарлыкский	Замораживание пород вокруг ствола № 2 диаметром в свету 6,5 м. Глубина замораживания 120 м. Рабочая температура хладагента -38 °С. Способ проходки ствола буровзрывной.	Прорыв воды в ствол ввиду некорректно рассчитанных и принятых в дальнейшем проектных параметров замораживания горных пород (неверно определена глубина бурения замораживающих скважин). Как следствие — перенос сроков ввода в эксплуатацию рудника.
Верхнекамское, Усольский	Замораживание пород вокруг ствола № 1 диаметром в свету 8 м. Глубина замораживания 275 м. Рабочая температура хладагента -38 °С. Способ проходки ствола буровзрывной.	При выполнении гидроизоляции ствола (в процессе замораживания ледопородного ограждения) установлены значительные водопритоки через крепь выработки. Причиной осложнений являлось интенсивное оттаивание горных пород (при температуре прямого потока теплоносителя до +30 °С), что повлекло за собой раннюю потерю ледопородного ограждения и привело к температурным деформациям в крепи.
Верхнекамское, Талицкий	Замораживание пород вокруг стволов № 1 и № 2 диаметром в свету 8 м. Глубина замораживания 230 м. Рабочая температура хладагента -38 °С. Способ проходки ствола механизированный (комбайновый).	В интервале проходки технологических отходов на стенках стволов имелись управляемые водопритоки. Причина осложнений заключалась в высоком термическом сопротивлении замораживающих скважин из-за некачественного выполнения тампонажных работ их затрубного пространства (наличие воздушной прослойки). Как следствие, устранение пустот в затрубном пространстве привело к дополнительным временным, трудовым и финансовым затратам.

Учитывая существенное развитие средств измерений температуры горных пород в контрольно-термических скважинах и вычислительной техники, предлагается использовать автоматизированную систему термометрического контроля ЛПО, основанную на применении оптоволоконной технологии и математической интерпретации результатов термометрии [20, 21]. Система контроля позволяет по ограниченной информации о температуре горных пород в отдельных термометрических скважинах определять температурное поле во всем объеме замораживаемого участка породного массива. Кроме этого, данные системы термометрического контроля делают возможным качественно управлять процессом искусственного замораживания посредством корректировки рабочих параметров холодильного оборудования [22].

В результате непрерывный и оперативный термометрический контроль за термодинамическими процессами, происходящими в условиях искусственного замораживания массива обводненных пород, значительно снизит риск возникновения аварий, что в свою очередь приведет к обеспечению безопасности ведения горных работ при строительстве шахтных стволов специальным способом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-11-01204.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маньковский Г.И. Специальные способы проходки горных выработок. – М.: Углетехиздат, 1958. – 454 с.: ил.
2. Насонов И.Д., Федюкин В.А., Шуплик М.Н., Ресин В.И. Технология строительства подземных сооружений. Специальные способы строительства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1992. – 351 с.: ил. – (Высшее образование).
3. Ольховиков Ю.П. Крепь капитальных выработок калийных и соляных рудников. – М.: Недра, 1984. – 238 с.
4. Риз А. Историческое и техническое развитие способа проходки стволов замораживанием // Глюкауф. – 1982. – № 2. – С. 3-13.
5. Трест «Шахтспецстрой» 65 лет деятельности и развития специальных способов проходки шахтных стволов. – М., 2008. – 346 с.

6. Трупак Н.Г. Замораживание горных пород при проходке стволов. – М.: Углетехиздат, 1954. – 896 с.: ил.
7. Трупак Н.Г. Замораживание грунтов при сооружении вертикальных шахтных стволов. – М.: Недра, 1983. – 270 с.: ил.
8. Harris J.S. Ground freezing in practice. – Thomas Telford Limited, 1995. – 264 p.
9. Левин Л.Ю., Семин М.А., Зайцев А.В. Калибровка теплофизических свойств породного массива при моделировании формирования ледопородного ограждения строящихся шахтных стволов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 1. – С. 172-184.
10. Иудин М.М. Обеспечение безопасности устойчивости ствола при оттаивании ледопородного ограждения // Вестник Якутского государственного университета. – 2009. – Т. 6., № 1. – С. 46-50.
11. Кузина А.В. Систематизация причин повреждений замораживающих колонок при строительстве глубоких вертикальных стволов с использованием метода искусственного замораживания // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2006. – № 11. – С. 396-402.
12. Паланкоев И.М. Оценка степени риска возникновения аварийных ситуаций при строительстве вертикальных шахтных стволов способом искусственного замораживания // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2013. – № 6. – С. 44-51.
13. Тарасов В.В., Пестрикова В.С. Обзор аварийных ситуаций, возникших на Верхнекамском калийном месторождении при проходке шахтных стволов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2015. – № 5. – С. 23-29.
14. Паланкоев И.М. Обоснование параметров технологии проходки шахтных стволов в искусственно замороженных породах: дис. ... к.т.н.; 25.00.22., 25.00.20 / Паланкоев Ибрагим Магомедович. – М. 2015. – 189 с.
15. ЕвроХим – Годовые отчеты за 2014–2017: [Офиц. сайт]. – Режим доступа: URL: <https://www.eurochemgroup.com/investors/reports-results/> (дата обращения: 22.07.2019).
16. Головатый И.И., Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Диулин Д.А. Оптимизация процессов формирования ледопородного ограждения при сооружении шахтных стволов // Горн. журн. – 2018. – № 8. – С. 48-53. DOI: 10.17580/gzh.2018.08.06.
17. Вакуленко И.С., Николаев П.В. Анализ и перспективы развития способа искусственного замораживания горных пород в подземном строительстве // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2015. – № 3. – С. 338-346.
18. Хайден Т.В., Вегнер Б. Современная технология замораживания пород на примере двух объектов, находящихся на стадии строительства, состоящих из пяти вертикальных шахтных стволов // Горн. журн. – 2014. – № 9. – С. 65-67.
19. Шуплик М.Н., Плохих В.А., Никифоров К.П., Киселев В.Н. Перспективы замораживания грунтов в подземном строительстве // Подземное пространство мира. – 2001. – № 4. – С. 28-38.
20. Левин Л.Ю., Семин М.А., Паршаков О.С. Совершенствование методов прогнозирования состояния ледопородного ограждения строящихся шахтных стволов с использованием распределенных измерений температуры в контрольных скважинах // Записки Горного института. – 2019. – Т. 237, № 3. – С. 268-274. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.268.
21. Паршаков О.С., Левин Л.Ю., Плехов О.А., Пантелеев И.А. Экспериментальные измерения температуры породного массива с использованием оптоволоконной технологии для анализа формирования ледопородного ограждения шахтных стволов // Материалы XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения: тез. докл. конф. / Ин-т мерзлотоведения СО РАН. – Якутск, 2017. – С. 292-293.
22. Паршаков О.С. Контроль и управление состоянием ледопородных ограждений при строительстве шахтных стволов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 266-271. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.72.

УДК 622

DOI: 10.7242/echo.2019.2.22

НОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ГЛУБОКИХ ЗАЛЕЖЕЙ РУДНИКА «ТАЙМЫРСКИЙ» ДО МОМЕНТА ВВОДА СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Д.С. КОРМЩИКОВ^{1,2}, М.Д. ПОПОВ²

¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь

²ООО «НПО «АэроСфера», г. Пермь

Аннотация. В статье рассмотрены способы нормализации теплового режима глубоких залежей на примере рудника «Таймырский» ПАО «Норильский Никель». Разработана комбинация методов нормализации теплового режима позволяющая снизить температуру воздуха в рабочей зоне без применения системы кондиционирования. Проведено численное моделирование распределения теплоты на сети горных выработок залежей С-3 и С-4 с использованием разработанного способа нормализации температуры. Сделан вывод о возможности применения данного способа.

Ключевые слова: рудник, шахта, микроклимат, нормализация температуры, тепловой режим, безопасность, моделирование, система кондиционирования, аэросеть.