

В.В. Тарасов, В.С. Пестрикова

ОБЗОР АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВОЗНИКШИХ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ КАЛИЙНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПРИ ПРОХОДКЕ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Дана краткая характеристика особенностей геологического и гидрогеологического строения Верхнекамского месторождения калийных солей. Приведено краткое описание проходки и крепления шахтных стволов на Верхнекамском месторождении калийных солей. Представлен обзор информации по осложнениям и аварийным ситуациям, возникших во время проходки и крепления вертикальных стволов калийных рудников на Верхнекамском месторождениях. На основе представленной информации, выполнен анализ причин возникновения аварийных ситуаций и осложнений. По результатам анализа рассмотренных причин предложен вариант их классификации. Рассмотрен комплекс профилактических мероприятий и рекомендаций, выполнение которых позволит избежать в дальнейшем появления подобных аварийных ситуаций и производственных инцидентов.

Ключевые слова: шахтный ствол, аварийная ситуация, ледопородное ограждение, геологическая аномалия, замораживающие скважины, кейлькранцы, гидроизоляционная завеса.

Проходка вертикальных шахтных стволов на калийных рудниках Верхнекамского месторождения способом замораживания, нередко, сопровождается многочисленными осложнениями и серьезными авариями, последствия которых порой могут привести к затоплению ствола. По мнению исследователей, это обстоятельство связано с весьма сложными гидрогеологическими и геологическими условиями вскрытия и эксплуатации Верхнекамского калийного месторождения [1].

Дело в том, что по геологическому строению Верхнекамское месторождение относится к месторождениям пластового типа, с пологим залеганием трещиноватых надсолевых пород, водообильными водоносными горизонтами и обводненным контактом соляных и покровных пород.

В геологическом строении месторождения принимают участие осадочные отложения солевого и надсолевого

комплексов пород пермской системы и четвертичные отложения. В гидрогеологическом отношении, надсолевой комплекс представлен слабо обводненными породами соляно-мергельной (СМТ1), наиболее обводненными терригенно-карбонатной (ТКТ) и пестроцветной толщами (ПЦТ), а также слабо обводненными четвертичными отложениями (Q). Ниже залегает соляной комплекс пород, в литологическом разрезе которого выделяют переходную пачку (ПП–СМТ2), покровную каменную соль (ПКС), сильвинит-карналлитовую и сильвинитовую зоны (СКЗ и СЗ), а также подстилающую каменную соль (ПдКС). Весь соляной комплекс пород, как правило, является безводным. Нередко, нижний водоносный горизонт соляно-мергельной толщи (СМТ) контактирует с безводными соляными отложениями (ПКС и СКЗ), в результате чего, на обводненном контакте проявляются вторичные образования, например, гипсы.

Исходя из вышесказанного, следует сделать вывод, что, Верхнекамское месторождение относится к месторождениям с обводненным контактом соляных пород, а также к наиболее сложным месторождениям по геологическим и гидрогеологическим условиям вскрытия и эксплуатации.

Недооценка сложности условий порой приводит к возникновению разного рода осложнений и аварийных ситуациям, для ликвидации которых расходуются дополнительные средства, а также затрачивается много времени и сил.

Из практики известно, что на скорость проходки ствола значительно влияет наличие неучтенных открытых трещин вскрытых на контактной зоне и в соляной толще разреза. Трещины порой заполнены природными рассолами, которые при проходке оказываются недостаточно промороженными. Нередки случаи, когда из-за недостаточной промороженности околоствольных пород, водопритоки через крепь ствола появлялись еще до окончания возведения водонепроницаемой крепи.

Так, например, при проходке одного из первых на Верхнекамском месторождении ствола № 2 Первого Соликамского калийного рудника пройденного способом замораживания, сразу после оттаивания ледопородного ограждения, в 1930 г., надсолевые воды стали проникать в ствол через межтюбинговые швы [2]. Источником проникновения вод, по мнению исследователей, стали открытые трещины на глубине 101,5 м с раскрытием до 12 мм, также затрубное пространство замораживающих скважин, которые не были надежно ликвидированы. В пределах сечения ствола трещина прослеживалась до глубины 116 м, что значительно затрудняло ее ликвидацию, так как замораживающие скважины были пробурены только до глубины 115 м.

Кроме того, на глубине 110 м и ниже были обнаружены еще несколько открытых трещин, уходящих вглубь массива, которые прослеживались вплоть до карналлитовой зоны. Наличие в открытых трещинах рассолов с преобладанием катионов магния значительно осложнило работу по их ликвидации. В связи с чем, было принято решение провести цементацию соляного массива шлако- и магнезиальными тампонажными растворами. После выполнения тампонажных работ, проходку ствола возобновили.

Наличие природной трещиноватости в покровной каменной соли были отмечены при проходке шахтного ствола № 1 Первого Березниковского калийного рудника. Ствол проходился способом замораживания в период с октября 1932 г. по февраль 1934 г. В результате детального обследования покровной каменной соли, установлено, что все трещины не выходили за пределы ствола и не давали притока в ствол приконтактных рассолов. Однако спустя полгода после сдачи ствола в эксплуатацию, в мае 1934 г., в стволе был обнаружен приток через тюбинговую крепь в интервале отметок от -166 до -172,5 м. Для ликвидации рассолопроявления произвели цементацию закрепного пространства магнезиальным цементом с горизонта -172,5 м. В результате выполненных работ, рассолоприток был ликвидирован. Рассолопроявление было связано с наличием природных трещин в окружающих кейлькранца породах. Затем, через несколько лет рассолопроявления с контакта возобновилась. В 1955 г., после гидроизоляции закрепного пространства, путем устройства трех битумных завес и тщательным тампонажем затюбингового пространства, поступление рассола в ствол шахты было полностью прекращен. Причиной появления контактных рассолов явилось разложение цементного раствора, которым были

затампонированы замораживающие скважины и наличие природных трещин в покровной каменной соли [3].

Таким образом, при проходке первых шахтных стволов на Верхнекамском месторождении, в 1930-е гг., основными причинами появления разного рода осложнений, как правило, являлись:

- неполнота достоверных сведений о водоносных горизонтах пересекаемым стволом, их водонасыщенность и химический состав;
- обводненность контакта надсоляных и соляных пород;
- наличие в покровной каменной соли природных трещин, которые нередко заполнены сложными по химическому составу рассолами.

Для предупреждения развития подобных ситуаций перед проходкой контактной зоны наиболее целесообразно интенсифицировать процесс замораживания окружающих ствол пород. Интенсификацию процесса замораживания целесообразно начинать за 10–15 суток до вскрытия стволом контактной зоны и заканчивать после возведения постоянной крепи ствола. Кроме мер по улучшению работы замораживающей станции, прибегают к устройству гидроизоляционных завес временного действия с целью перехвата воды и создания благоприятных условий по возведению водонепроницаемой тюбинговой крепи.

В последующие годы, при проходке шахтных стволов, нередко возникали осложнения и аварийные ситуации по причине повреждению обсадных труб замораживающих колонок. При исследовании данной проблемы ВНИИОМШСом [4], главными причинами повреждения замораживающих колонок признаны: деформации замороженных пород и недостаточная прочность обсадных труб замораживающих колонок. Дело в том, что с понижением температуры в начале

процесса замораживания, в обсадных трубах замораживающих колонн возникают температурные напряжения, которые существенно снижают сопротивляемость труб изгибам и, в последствии приводит к искривлению и разрыву замораживающих колонок. Затем, при выходе из строя одной или нескольких колонок, в ледопородном ограждении (ЛПО) появляются «окна», через которые проникают в ствол подземные воды [5].

Ниже, представлены несколько примеров развития аварийных ситуаций, при проходке шахтных стволов, возникшие по причине повреждения замораживающих колонок.

Пример 1

Ствол № 1 рудника Четвертого Березниковского калийного рудоуправления проходил способом замораживания в период с апреля 1976 г. по октябрь 1977 г. В период проходки шахтного ствола, в мае 1977 г., произошел разрыв семи замораживающих колонок, сопровождающийся утечкой рассола хлористого кальция. Разрыв произошел в северной и в восточной части ствола, на глубине 259 м и 280 м соответственно. В работе [6] отмечено, что «...после отключения замораживающей станции течь прекратилась, но от места разрыва замораживающей колонки в ЛПО образовалась трещина, являющаяся рассолопроводящим каналом». Поступление воды в забой происходило через «окна» в ЛПО на глубине от 210 до 250 м. Для ликвидации рассолопроявления на забое соорудили бетонную подушку, через которую производили тампонаж рассолопроводящих трещин. После тампонажа проходка шахтного ствола была продолжена. Причиной разрыва замораживающих колонок признана деформация замороженных пород и недостаточная прочность труб замораживающих колонок.

Пример 2

Похожая ситуация произошла при проходке шахтного ствола № 3 Второго Соликамского калийного рудоуправления. Ствол проходил с помощью замораживания в период с сентября 1968 г. по октябрь 1970 г. По данным [7] замораживающие колонки стали выходить из строя после того, как была вскрыта контактная зона с соляными породами. При этом разрывы колонок возникали всегда, на одном и том же интервале глубин от 116 до 118 м. Водопроявления проявлялись в виде сырости на стенках ствола и редкого каплежа с притоком до 30 м³/сут. Всего, в течение нескольких месяцев 1969 г. из строя вышло 14 колонок замораживающих скважин. Для ликвидации рассолопритока на забое ствола была сооружена бетонная подушка, через которую производили тампонаж. После разборки бетонной подушки и проведения гидроизоляционных работ проходку ствола продолжили. Причиной разрыва замораживающих колонок признали деформацию замороженных пород и недостаточную прочность труб замораживающих колонок.

Пример 3

Сложность возникших при проходке ствола № 4 Третьего Соликамского калийного рудоуправления впервые в практике строительства стволов на Верхнекамском месторождении, граничила с угрозой потери ствола. Проходка ствола № 4 диаметром 7,0 м и проектной глубиной 468,2 м проходила по специальному проекту, разработанным треста «Шахтспецстрой». Первоначально, проходка ствола осуществлялась способом замораживания на глубину 230 м, против проектной глубины 241,5 м. Бурение тампонажно-замораживающих скважин было осложнено частыми уходами промышленной жидкости по всей глубине и захватами бурового инструмента.

Неоднократное повреждение замораживающих колонок при проходке ствола № 4 СКРУ-3 способствовали тому, что темпы проходки ствола были значительно ниже проектных. Так, например, по достижении глубины 216,3 м проходка ствола была задержана на 8 лет с 1981 по 1989 гг.

За этот период ствол трижды был затоплен:

- первый раз – в сентябре 1981 г.;
- второй – в декабре 1983 г.;
- третий – в мае–июне 1985 г.

Для определения причин возникших осложнений и определения мероприятий по дальнейшей проходке была создана комиссия, по результатам работы которой был создан протокол [8]. Комиссия пришла к выводу, что возможной причиной прорыва воды в ствол, послужило наличие непромороженных пород над верхним прослоем каменной соли переходной пачки и ослаблению ЛПО в результате выхода хладоносителя из замораживающих колонок № 1, 6-бис и № 9.

В связи с этими обстоятельствами, для возобновления проходки ствола в сентябре 1989 г. был пробурен второй контур замораживающих скважин глубиной 241 м против 230 м в первом ряду скважин.

Затем, после смыкания ледопородного ограждения была произведена откачка рассола и очистка стенок ствола от льда до бетонной подушки на глубину 203,3 м. После чего, проходку ствола удалось возобновить и закончить на глубине 356,6 м.

На основе проведенного анализа по установлению причин столь серьезных осложнений в проходке ствола № 4 в разное время назывались и разные причины, в том числе [4, 8]:

- отсутствие стволовой геолого-разведочной скважины, что привело к ошибочному определению отметки контакта с каменной солью. За основу была взята геологоразведочная сква-

жина 4Н, пробуренная в стороне от ствола;

- ствол заложен в зоне подземного выщелачивания соленосных пород;
- аномальные свойства пород контактной зоны (разложение до пастобразного состояния);
- подвижность рассолов контактной зоны;
- не достаточная глубина замораживающих колонок – 230 м против проектных 241 м;
- ослабление ЛПО в результате повреждения замораживающих колонок и выхода хладоносителя.

Каждая из названных выше причин может считаться основной и является результатом недоучета комплексного воздействия природных и техногенных факторов влияющих на условия проходки ствола.

Таким образом, для успешной проходки шахтного ствола, обязательным условием является бурение передовой стволовой геологоразведочной скважины. При бурении геологоразведочная скважина не должна выходить за сечение ствола, поэтому за вертикальностью скважин должен быть организован регулярный контроль в период бурения. Затем, исходя из анализа данных передовой скважины, необходимо определять глубину бурения замораживающих скважин.

Для предотвращения повреждения замораживающих колонок целесообразно использовать специальные трубы замораживающих колонок (ТЗК), изготовленных из углеродистой стали, которые способны сохранять хорошую пластичность при температуре $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдерживать давление до 20 МПа.

Выполнение предложенного выше комплекса профилактических мероприятий и практических рекомендаций, позволит предотвратить появление аналогичных и им подобных аварий.

Появление водопритоков через тубинговую крепь, после начала процесса оттаивания, в некоторых случаях приводит к нарушению герметичности основных гидроизоляционных устройств – кейлькранцев. В результате чего, создается реальная опасность затопления ствола, так как начавшееся движение воды за кейлькранцами ведет к быстрому увеличению дебита рассолопритока. Остановить рассолоприток возможно только созданием специальной гидроизоляционной завесы или повторным замораживанием пород.

Наиболее сложными в практике строительства стволов были нарушения герметичности кейлькранцев в стволе № 3 Третьего Березниковского калийного рудника, сопровождающиеся прорывом подземных вод в ствол [1]. При первом прорыве ствол был закреплен чугунными тубингами до глубины 400 м, глубина забоя при этом составляла 403 м. В интервале глубин от 379 до 386 м в тубинговой колонне были сооружены четыре кейлькранца. После появления притока на участке ствола от 300 до 350 м, затем в районе кейлькранцев и в забое произошло затопление ствола. Кейлькранцы при этом были обмыты. Для ликвидации аварийных рассолопритоков было решено провести повторное замораживание пород и разобрать аварийный участок крепи. После разбора тубинговой крепи, в кейлькранцах № 1 и № 2 обнаружены зазоры между опорной стенкой и пикотажным уплотнением шириной до 350 мм. Поэтому, место установки кейлькранца № 1 было перенесено, а кейлькранц № 2 был дополнительно пропикотирован. Кейлькранцы № 3 и № 4 были протампонированы цементным раствором без предварительного вскрытия. Затем, через некоторое время, под кейлькранцем № 1 снова появилось истечение рассола. В связи

с этим, решено разобрать и повторно пропикотировать нижний кейлькранц. При вскрытии его также были обнаружены промоины шириной до 450 мм [1]. При этом установлено, что причиной проникновения подземных вод в обход кейлькранцев предположительно является нарушение соляной стенки, возникшее в процессе пробивки пикотажного уплотнения. Проведенные позже лабораторные испытания УФ «ВНИИГ» показали, что причиной нарушения кейлькранца послужило раздавливание поверхности соляной стенки и появление микротрещин на глубину до 3–6 см в местах, где нагрузки от пикотажного уплотнения превышали допустимые для соляной стенки. Появление таких трещин позволяет подземным водам в обход уплотнения свободно проникать под пикотажное уплотнение кейлькранца.

Для повышения качества пикотажного уплотнения и предупреждения размыва водоупорных венцов – кейлькранцев, необходимо выполнять следующий комплекс мероприятий:

- проводить жесткий контроль за обработкой породной стенки и пробивкой уплотнительного пикотажного

шва. Кольцевой зазор при этом должен быть в пределах 90–110 мм.

- подливку кейлькранца, после пробивки, желателно производить расширяющимися составами на основе современных гидроизоляционных материалов (полиуретаны, эпоксидные или акриловые смолы и т.д).

- на контакте с каменной солью, в зоне разрушенных пород, необходимо проводить цементационную завесу. Тампонажные скважины бурить глубокие, недобуривая 1,0–1,5 м до замораживающих колонок.

Таким образом, опыт проходки шахтных стволов подтверждает тезис о сложности условий вскрытия Верхнекамского месторождения, который также является первопричиной появления различных осложнений и аварийных ситуаций, возникающих на разных этапах жизненного цикла вертикального ствола.

Знание объективных и субъективных причин появления разного рода осложнений и аварийных ситуаций, становится актуальным как для их учета, так и с целью предупреждения возникновения подобных аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ольховиков Ю.П. Крепь капитальных выработок калийных и соляных рудников. – М.: Недра, 1984.

2. Пучков П.Е. Проходка калийной шахты № 2 способом глубокого замораживания. – Новосибирск, 1934.

3. Материалы по работе комиссии назначенной приказом НКХП № 355 от 14.X.1943 г. – М., 1943.

4. Трест «Шахтспецстрой» 65 лет деятельности и развития специальных способов проходки шахтных стволов. – М., 2008.

5. Предложения по изменению схемы чугунной тубинговой колонны шахтных стволов БКК-4. – Пермь, 1975.

6. Технический паспорт ствола № 1 Четвертого Березниковского калийного завода. – Пермь, 1979.

7. Техническая карточка-паспорт ствола № 3 Второго Соликамского калийного рудоуправления. – Березники, 1974.

8. Протокол заседания комиссии, назначенной совместным приказом Минмонтажспецстрой СССР и Министерства по производству минеральных удобрений от 10 октября 1985 г. № 321/334. – Березники, 1986. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Тарасов Владислав Викторович – заведующий научно-исследовательской горной лабораторией, e-mail: tarasov@gallurgy.ru,
Пестрикова Варвара Сергеевна – ведущий инженер научно-исследовательской горной лаборатории, e-mail: Pestrikova.Varvara@gallurgy.ru, ОАО «Галургия».

UDC 622.257:622.363.2

REVIEW OF SHAFT EXCAVATION ACCIDENTS AT UPPER KAMA POTASH DEPOSIT

Tarasov V.V., Chief of Research Mining Laboratory of «Galurgia» OJSC, Perm, Russia, e-mail: tarasov@gallurgy.ru,
Pestrikova V.S., Leading Engineer of Research Mining Laboratory of «Galurgia» OJSC, Perm, Russia, e-mail: Pestrikova.Varvara@gallurgy.ru.

The paper gives a brief description of geological and hydrogeological structure of the Upper Kama Potash Deposit and characterizes specificity of shaft excavation and support. A survey of accidents and emergencies in shaft sinking and supporting in the Upper Kama potash mines is presented. Based on the adduced evidence, the author analyzes causes of the accidents and emergencies and offers a variant of their classification. The discussed package of preventive measures and recommendations will allow elimination of such accidents and emergencies.

Key words: mine shaft emergency, ice wall, geological anomaly, freezing holes, curb, waterproof curtain.

REFERENCES

1. Ol'hovikov Ju.P. *Krep' kapital'nyh vyrabotok kalijnyh i soljanyh rudnikov* (Support of permanent workings in potash and salt mines), Moscow, Nedra, 1984.
2. Puchkov P.E. *Prohodka kalijnoj shahty no 2 sposobom glubokogo zamorazhivaniya* (Deep freezing method for underground potash mine), Novosibirsk, 1934.
3. *Materialy po rabote komissii naznachenoj prikazom NKHP no 355 ot 14.X.1943 g.* (Report on commission work under the USSR People's Chemical Industry Commission order no. 355 as of October 1943), Moscow, 1943.
4. *Trest «Shahtspecstroj» 65 let dejatel'nosti i razvitija special'nyh sposobov prohodki shahtnyh stvolov* (Shakhtspetzstroj Trust: 65th anniversary of performance and development of special shaft sinking methods), Moscow, 2008.
5. *Predlozhenija po izmeneniju shemy chugunnoj tjubingovoj kolonny shahtnyh stvolov BKK-4* (Proposed modifications for layout of cast-iron mine shaft tubing BKK-4), Perm, 1975.
6. *Tehnicheskij pasport stvola no 1 Chetvertogo Bereznikovskogo kalijnogo zavoda* (Technical certificate of shaft no. 1 of Berezniki Potash Works-4), Perm, 1979.
7. *Tehnicheskaja kartochka-pasport stvola no 3 Vtorogo Solikamskogo kalijnogo rudoupravlenija* (Technical certificate of shaft no. 3 of Solikamsk Potash Mine-2), Berezniki, 1974.
8. *Protokol zasedanija komissii, naznachenoj sovmestnym prikazom Minmontazhspecstroj SSSR i Ministerstva po proizvodstvu mineral'nyh udobrenij ot 10 oktjabrja 1985 g. no 321/334* (Minutes of commission under the USSR Ministry of Assembly and Special Construction and USSR Ministry of Mineral Fertilizers Production joint order no. 321/334 as of October 10, 1985 no 321/334), Berezniki, 1986.

