© А.В. Кузина, 2006

УДК 622.253.35

*А.В. Кузина*

# *СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗАМОРАЖИВАЮЩИХ КОЛОНОК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЛУБОКИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ*

**Круглый стол**

Целью искусственного замораживания является создание вокруг будущей выработки шахтного ствола временной защитной завесы из мерзлой водо-насыщенной породы, предохраняющей выработку от прорыва подземных вод. Для образования такой завесы бурятся скважины, в которых устанавливаются замораживающие колонки, по которым циркулирует соответствующий хладоноситель, производящий замораживание породного массива на расчетную величину временной водонепроницаемой завесы. Эффективность применения метода замораживания при проходке конкретного шахтного ствола в сложных гидрогеологических условиях прежде всего зависит от надежной работы водонепроницаемого ограждения данной расчетной толщины.

Для выявления и систематизации факторов, характеризующих возможность возникновения аварийных ситуаций на всех этапах строительства ствола с применением способа искусственного замораживания, были использованы основные принципы методологического подхода к проектированию и строительству подземных сооружений, предложенные проф. Корчаком А.В.

Для проведения анализа факторов возникновения аварийных ситуаций были использованы статистические данные треста «Шахтспецстрой» о проходке 512 стволов способом искусственного замораживания. Наиболее характерные условия строительства стволов, произошедших аварийных ситуаций и методов их ликвидации приведены в таблице.

Для того чтобы предусмотреть необходимые меры по предотвращению аварийных ситуаций, необходимо последовательно проанализировать весь процесс проектирования и строительства ствола. Для этого выделим следующую последовательность основных этапов возведения ствола:

а) проектирование;

б) подготовка массива к строительству ствола способом замораживания;

в) непосредственно проходка ствола под защитой ледопородного ограждения с применением БВР или альтернативного способа проходки;

г) оттаивание ледопородного ограждения;

д) эксплуатация ствола.

На *стадии проектирования* анализируется экономическая и производственная необходимость возведения ствола в данном районе. Разрабатывается технико-экономическое обоснование проекта строительства ствола, затем приступают непосредственно к проектированию строительства ствола.

От выбора расположения скважин зависит успех работы ограждения. Если скважины располагаются по круговой форме сечения – ледопород ограждение работает на сжатие, если скважины будут располагаться прямолинейно – ледопородное ограждение будет работать на изгиб. Так как $\sigma_{сжатия} \rangle \sigma_{растяжения}$ , то выгоднее принимать круговую форму сечения.

Ко второму этапу, во время которого происходи подготовка массива неустойчивых обводненных пород к строительству ствола, относятся следующие работы: подготовительные работы по устройству наземного комплекса строительства; бурение замораживающих скважин; проходка устья ствола и монтаж замораживающей галереи, монтаж замораживающей станции, подключение к рассолопроводам замораживающих колонок, непосредственно замораживание пород.

*2. Бурение скважин*. В процессе бурения скважина получается большего диаметра, чем предусматривается в проекте, а в неустойчивых породах имеет место осыпание пород, поэтому понятно, что фактический объем скважины будет больше расчетного. Особенно неблагоприятны в этом отношении слабые породы, плывуны и породы, растворимые в воде (каменная соль, соляные глины).

Проанализировав экспериментальные данные по бурению замораживающих скважин, можно сделать вывод, что в процессе бурения скважин весь водонепроницаемый породный массив полностью нарушается скважинами, а затем испытывает последующее разрушение вследствие пучения пород в процессе замораживания. При этом все водоносные горизонты объединяются в один, что может привести к осложнениям процесса замораживания, особенно в начальный момент, когда рассол еще имеет температуру –5 ºС ÷ -10 ºС. В этот момент воды верхнего горизонта или высоконапорного нижнего горизонта часто перетекают по замораживающим скважинам. Последнее приводит к тому, что процесс замораживания массива начинается значительно позже расчетного срока. К заданному сроку толщина ледопородного ограждения недостаточна, что и приводит к разрушению ледопородного ограждения. Известны случаи прямого затопления стволов по указанной причине в России (Соликамск) и в Китае. Причиной отклонения скважин могут быть: неправильно выбранная установка, неисправность отдельных частей бурового станка, недостаточная длина обсадных труб, применение насоса с большим манометрическим напором в легко размываемых породах и отсутствие регулировки циркуляции глинистого раствора, недостаточная квалификация бурильщиков, неправильное давление на буровой инструмент и отсутствие своевременного контроля за степенью искривления скважин, наличие валунных, галечных и других включений, чередование слабых и крепких пород, при котором буровой инструмент, выходя из мягкой породы, стремиться скользить по кровле пласта твердой породы, каверны, карсты, сбросы трещины и другие нарушения.

*Монтаж замораживающих скважин.* При опускании замораживающих труб в скважины каждая секция и каждое соединение проверяется на прочность и водонепроницаемость гидравлическим давлением. После проверки и установки на проектные глубины питающих труб, производится монтаж головок замораживающих колонок и присоединение их к рассолопроводам. Все данные, относящиеся к монтажу и по-

ложению замораживающих колонок, заносились в специальный журнал и на каждую колонку составляется паспорт.

*Монтаж рассолопровода, коллекторного и распределительного трубопровода*. Монтаж рассолопровода производится в зависимости от проекта или в траншеях, или в коробах, уложенных на поверхности земли. Трубы соединяются между собой муфтами, фланцами и сваркой. В целях уменьшения потерь холода рассолопровод теплоизолируется. Для наблюдения и контроля за работой рассольной сети устанавливаются измерительные приборы, предусмотренные в проекте: манометры на рассолопроводах, термометры на рассолопроводе, коллекторе и распределительной магистрали, рассоломеры на рассолопроводах и на некоторых колонках для учета циркуляции рассола.

*Монтаж замораживающей станции*. Монтаж замораживающей станции обычно производится параллельно с работой по бурению замораживающих скважин. После окончания работ по монтажу компрессор испытывается на холостом ходу, а затем и под нагрузкой. Заполнение аммиаком всей системы производится после проведения всех испытаний и продувки системы воздухом. После заполнения системы аммиаком производится проверка на утечку аммиака, затем трубы и оборудование теплоизолируются и окрашиваются.

При эксплуатации рассольной сети иногда наблюдались следующие неполадки: прекращение циркуляции рассола в колонках в результате засорения выходного отверстия или обрыва питательной трубы: разрыв трубы замораживающей колонки от темературных перенапряжений, давления породы, пробоев рабочим инструментом при разработке пород и др., повреждения запорной и соединительной арматуры, контрольно-измери-тельных приборов и нарушения стыковых соединений. В целях своевременной ликвидации возможных неполадок и аварий в галерее или на участке замораживающих колонок, предусматривается аварийный запас оборужования и материалов - запасных кранов, муфт, хомутов, сгонов и др.

*3. Замораживание пород*. В результате отклонения скважин от вертикали может проявиться неравномерность процесса замораживания и ввиду этого возникнуть одностороннее давление льда. Там, где скважины сближаются, процесс замораживания и, следовательно, образования льда идет интенсивнее. Одностороннее давление льда в этом случае проявляется в выпучивании крепи, появлении трещин в тюбингах и выжимании свинцовой прокладки. Следует добавить к вышесказанному, что и при равномерном охлаждении возникают одностороннее давление на крепь в результате увеличения объема пород и выпучивание породных стенок. Особенно это характерно для водонасыщенных пород.

Увеличение объема пород при замораживании приводит их в движение. Так, например, при проходке шахт в Березниках (глубина замораживания 152-158 м) было отмечено поднятие копров в результате расширения пород: на шахте №1 – на 124 мм, на шахте №2 – на 165 мм.

В процессе замораживания необходимо контролировать выделение скрытой теплоты плавления на границе промерзания водоносной породы; скачкообразное изменение агрегатного состояния водоносной породы; систематически наблюдать изменение физических и теплотехнических характеристик породы и воды; контролировать различный приток тепла к внутренней и наружной поверхностям ледопородного ограж-

дения, учитывать нестационарный и неустановившийся тепловой режим замораживающей станции, а также ряд других явлений, от которых зависит интенсивность замораживания и прочность ледопородного ограждения.

*4. Проходка ствола.*

При проходке ствола с применением способа замораживания пород признаками возникновения аварийной ситуации являются следующие:

- шелушение и деформирование стенок ствола (конвергенция);
- деформация и разрыв замораживающих колонок;
-преждевременное оттаивание ледопородного ограждения при незаконченной проходке водоносных пластов;
-прорыв в ствол подземных вод, отягченный выносом песка или супеси в ствол.

Первый признак является сигналом о том, что ледопородное ограждение в своей основной несущей зоне теряет водонепроницаемость, и с этого момента только наружная часть ледопородного ограждения может обеспечивать водонепроницаемость. Но наружная часть составляет всего 0,4 от расчетной, поэтому становится актуальным вопрос о достаточности наружной части для обеспечения водонепроницаемости в целом.

Второй признак сигнализирует о том, что произошла разгерметизация какой-то колонки на определенной глубине, но главное – свидетельствует о разгерметизации всей системы циркуляции хладоносителя. В этом случае для предотвращения утечки хладоносителя в забой отключают аварийную колонку от общей сети.

Третий признак характеризует технологические нарушения в процессе проходки. В некоторых случаях временно приостанавливают проходку ствола и производят дополнительную герметизацию забоя путем устройства водонепроницаемой подушки, бурения новых замораживающих скважин и др.

Четвертый признак характеризует начало разрушения ледопородного ограждения и, как правило, требует мероприятий по восстановлению или интенсификации процесса замораживания, либо мероприятий по временной консервации ствола для предотвращения прорыва в ствол подземных вод и выноса песка.

Прорыв воды или рассола в ствол характеризует наличие аварийной обстановки. В случае начала внезапного затопления ствола обязательно принимаются меры по уменьшению доли выноса песка из околоствольного массива и ликвидации угрозы просадки поверхности в случае застроенной площадки вокруг ствола, для чего производят засыпку забоя ствола с поверхности.

В какой-то мере шелушение стенок замороженной породы может быть предвестником возможного разрыва колонок, но это происходит далеко не всегда, и не может служить критерием опасности разрыва колонки.

Проведенный статистический анализ причин возникновения и характера проявления аварийных ситуаций на ствола, проходимых с применением способа искусственного замораживания позволяет заметить, что наиболее часто имеет место такой вид аварии как разрыв замораживающих колонок (рисунок).

Остановимся на некоторых особенно характерных примерах разрушения колонок на БКК, СКК, КМА, в Польше и ФРГ. На стволе 2 БКК №2, на контакте мергеля и пропластков гипса на глубине 267,4 м обнаружен выход рассола. Произошел разрыв 7

*Предлагаемая систематизация причин возникновения аварий и методов их ликвидации*

| Месторождение, ствол<br>геологические условия | технические условия бурения<br>и замораживания | применение БВР<br>и паспорт БВР | вид аварийных проявлений | методы ликвидации аварии |
|---|---|---|---|---|
| Солигорский калийный комбинат, ствол №1 | бурение станком УЗТМ, проходка ствола по параллельной схеме, величина заходок 25-30 м<br>замораживание однорядное, трубы диаметром 146 мм, толщиной 9 мм | отбойный молоток ОМСП-5<br>применение БВР<br>L бур.ск.=1,5 м, расход ВВ =60 кг на заходку | приток воды в ствол более 8 м/час | дополнительная чеканка швов бетонизация участка крепи тампонажным раствором |
| Ново-стебниковский калийный комбинат<br>Врсточный ствол | диаметр ствола 4,5 м, глубина 186 м,тюбинговая крепь<br>Глубина замораживания 50 м<br>кол-во зам. скважин 23 | применение БВР | приток рассола в ствол через крепь | сооружение бетонной подушки крепление ствола тюбингами тампонаж цементным раствором,бетонизация, создание рассолоулавливающей галереи вокруг всего ствола битумизация. |
| Березниковский калийный комбинат<br>ствол №1<br><br>ствол №2 | диаметр в свету 7 м<br>глубина замораживания 308 м<br>кол-ство замор. кол. 40 шт.<br>трубы диаметром 214 мм<br>предварительный тампонаж пород, параллельная схема заходки 25-30 м<br>Две ступени замораживания<br>1 зона t=-20 0-220 м<br>2 зона t= - 50 220-316 м<br><br>глубина замораживания 320 м<br>кол-во замор. скваж. 40 шт | по мягким породам отбойный молоток по трвердым БВР исключая зоны келькранцев и контактов с камен. солью | прорыв рассола в ствол, разрыв замораживак щих 8 колонок капеж в стенках ствола,трещины на забое, пучение пород забоя на 12 см, нарушение ледопородного ограждения с внешней стороны,усиление водопритока после оттаивания. | применение бетонной подушки и цементации, дополнительное замораживание<br>Откачка рассола из ствола бадьями.засыпка ствола щебнем.Восстановление колонок, нагнетание цементного раствора через тюбинги.<br>Продолжение активного замора живания. |
| Запорожский железорудный комбинат<br><br>Вентиляционный ствол геология- чередование глин и песков, 6 водоносных горизонтов<br><br>Вспомогательный | Бурение станками УРБ-4ПНШ 3 установки.Скорость бурения 3900 м/мес.Отклонение скважин 38-40%.<br>Глубина замораживания 410м<br>Диаметр зам. скваж.14 м<br>колич. Скважин 36<br>замор. трубы 146х10<br>сталь ЕмГОСТ 632-57<br>питающие трубы полиэтилен. диаметром 46 мм<br>две зоны замораживания | применялся БВР скальный аммонит №1 dпат=36 мм | Снижение циркуляции рассола что привело к возрастанию тепловой нагрузки на колонки и снижению скорости замора живания.Повреждение колонок.<br>Приток воды 20 м/час через "окно" в ЛПО.<br>Повреждение колец времнной крепи с вывалом породы в забой.Сорвано 20 колец врем. крепи.Нарушена тюбинговая крепь. Приток через тюбинговую крепь 15 м/час. | Увеличение сроков активного заморажи вания в 2-4 раз, переход на малые заходки. Временную крепь не демонтировали.Создание бетонной подушки в забое и бурение уравнительной колонны для предотвращения прорыва воды в ствол в случае неполного смыкания ЛПО.<br><br>Сооружение бетонной подушки в стволе.Через уравнительную колонну пробурено 5 скважин |
| | 1 зона - до 140 м<br>2 зона - до 245 м<br>глины не промораживались | | Причины аварии: разрушение замораживающих колонок из которых выходил CaCl который размораживал породу, уменьшая грузонесущую способность ЛПО. | и проведено дополнительное замораживание.Тампонаж закрепного пространства и чеканка швов.<br>Заходки были засыпаны песком. По засыпанной части возобновили проходку с бетонной крепью 300 мм. Уменьшена величина заходки до 2 м с одновреммен. возведением постоянной крепи. |

замораживающих колонок. На стволе №4 Лебединского рудника КМА разрыв семи колонок, две из которых были деформированы в глинах на глубине 109 м, трех – на глубине 119 м на контакте глин с гнейсами, и в двух случаях разрушения произошли в гнейсах. На стволе №2 Солигорского калийного комбината на глубине 137,5 м в мергеле на контакте с глиной сразу вышло из строя три колонки, в глине на глубине 140, 148 и 150,5 м вышло из строя еще три колонки, и на глубине 153 и 154 м в плотном мергеле еще срезало две колонки. На рядом стоящем стволе №3 того же комбината на глубине 130 и 138 м на контакте глины и мергеля разорвались две колонки, на глубине 142 и 154 м в мергеле разорвались еще две колонки. Аналогичные разрывы труб отмечены на стволе Л-1 рудника «Люблин» в ПНР на глубине 184,5 м в водоносных илах. При дальнейшей проходке ствола до глубины 302 м по глинам порвали еще 18 колонок. На глубине 306,5 м и 312,7 м на забой прорвался рассол из порванных колонок, произошел порыв воды с песком и ствол до глубины 57 м был затоплен. Всего было повреждено 27 замораживающих колонок.

Как видим из приводимых статистических данных, разрыв замораживающих колонок является одним из наиболее опасных аварийных проявлений при строительстве стволов с применением способа искусственного замораживания. Причины этого явления полностью не выявлены, поэтому необходимы дальнейшие работы по изучению механизма возникновения разрыва замораживающих колонок и факторов, его вызывающих.

## *Коротко об авторах*

*Кузина А.В.* – кафедра «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.



***ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ***

| *Автор* | *Название работы* | *Специальность* | *Ученая степень* |
|---|---|---|---|
| **ФИНАНСОВАЯ АКАДЕМИЯ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ** | | | |
| ГУСЛИСТАЯ Анна Викторовна | Рентные эффекты в современной российской экономике в сфере невозобновляемых природных ресурсов | 08.00.01 | к.э.н. |