

УДК 622.234.3 (047)

И.М. Паланкоев

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЗАМОРАЖИВАЮЩЕЙ
КОЛОНКИ ЗОНАЛЬНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ
И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЕЕ РАБОТЫ**

Проанализированы потери тепла при зональном замораживании. Проведен анализ существующих конструкций замораживающих колонок для зонального замораживания. Разработана новая конструкция замораживающей колонки.

Ключевые слова: способ искусственного замораживания, зональное замораживание, колонка для зонального замораживания.

В наиболее сложных горно-геологических условиях для строительства вертикальных и наклонных стволов применяют способ искусственного замораживания пород, целью которого является создание вокруг будущей выработки временной защитной завесы из мерзлых водонасыщенных пород, предохраняющей выработку от прорыва подземных вод. Область применения способа неуклонно расширяется, в том числе, и по глубине. В перспективе шахтного строительства стоит вопрос разработки проектов искусственного замораживания пород до глубин 1500 м.

Способ искусственного замораживания пород, являясь одним из универсальных и надежных, остается еще относительно дорогим. При этом значительная доля затрат приходится на электроэнергию, так как на замораживание пород 1 м ствола расходуется примерно $3,6 \cdot 10^9$ к Дж электроэнергии. Поэтому снижение затрат всего на 5% уже приносит значительный экономический эффект. Снизить расход электроэнергии возможно, реализуя новые проектные решения и применяя технологии последнего поколения.

Стоимость работ по замораживанию горных пород определяется схемой расположения замораживающих скважин и холодопроизводительностью замораживающей станции, а эти параметры, в свою очередь, определяются режимом работы замораживающих колонок. Одним из направлений снижения стоимости специальных работ по замораживанию пород является применение технологической схемы зонального замораживания.

Зональное замораживание может применяться при строительстве вертикальных выработок. Когда неустойчивые или обводненные породы залегают не от поверхности, а на некоторой глубине, и также при строительстве наклонных горных выработок при достаточной глубине их заложения, обеспечивающей необходимую прочность ледогрунтового ограждения.

Зональное замораживание заключается в осуществлении теплоизоляции тех участков замораживающих колонок, на которых замораживания не требуется. Целью применения колонок зонального замораживания является сокращение тепловых потерь в зонах, не подлежащих замораживанию и, как следствие, существенное сокращение стоимости работ по за-

мораживанию за счет сокращения расходов электроэнергии.

Для осуществления теплоизоляции отдельных участков замораживающих колонок существует много различных конструктивных решений, известных по технической литературе. Обычно, конструкция колонки зонального замораживания отличается от обычной колонки наличием в ней дополнительной отводящей трубы. При этом колонки могут быть как с параллельно-осевым, так и с коаксиально расположенными питающими и отводящими трубами. Рабочая и нерабочая зоны колонки определяются глубиной опускания отводящей трубы. Теплоизолятором нерабочей зоны колонок могут быть различные материалы — чаще всего неподвижный рассол или воздух. Изоляция зон колонки осуществляется при помощи установки различных диафрагм [2].

В практике широкое распространение получили технологические схемы зонального замораживания с использованием колонок с рассольной теплоизоляцией. Однако, при сроках активного замораживания более 50 суток, породы в нерабочей зоне полностью промораживаются. Особенно этот вопрос становится актуальным при двухрядном замораживании наклонных стволов. При этом считается, что коэффициент теплоотдачи нерабочей зоны замораживающей колонки составляет 50 % от коэффициента теплоотдачи рабочей зоны. По публикуемым данным [3], можно заключить, что коэффициент теплоотдачи нерабочей зоны колонок с рассольной теплоизоляцией значительно выше 50 % и в некоторых случаях достигает 80 %. Замена стальных питающих труб на трубы из полиэтилена или стеклотрастика не решает этой проблемы.

Одним из путей решения указанной проблемы является усовершенствование

конструкции колонок с воздушной теплоизоляцией нерабочей зоны.

Колонки с воздушным буфером достаточно подробно описаны в технической литературе. В конструктивном плане эти колонки мало отличаются от колонок с рассольной теплоизоляцией, но требуют дополнительного оборудования: воздушного компрессора, трубопровода сжатого воздуха, а также приборов контроля давления сжатого воздуха и уровня хладоносителя в колонках.

Колонки с глухой диафрагмой конструктивно являются наиболее простыми в классе колонок с воздушной теплоизоляцией. Однако за простотой конструкции стоит целый ряд технологических трудностей, связанных с их монтажом и тем больших, чем больше глубина замораживания. Необходимость одновременного монтажа не только питающих и отводящих труб, но и замораживающей колонки приводит не только к сокращению темпов обсадки скважин, но и к осложнениям при их погружении в пробуренные скважины. Поэтому колонки зонального замораживания с неразборной диафрагмой применяются лишь для ограниченной глубины (15—20 м) замораживания. Основным недостатком колонок с неразборной диафрагмой следует считать наличие в замораживающей трубе жестко закрепленной диафрагмы, что в случае разрыва замораживающей трубы или потере герметичности замораживающей колонки.

Для оценки эффективности работы замораживающих колонок рассмотрим основную теплотехническую характеристику их работы — коэффициент линейной теплоотдачи q ккал/к. час, и построенный график распределения линейной теплоотдачи на рабочей и нерабочей зонах колонки (рис. 1).

Величине этого коэффициента прямо пропорционально связана с

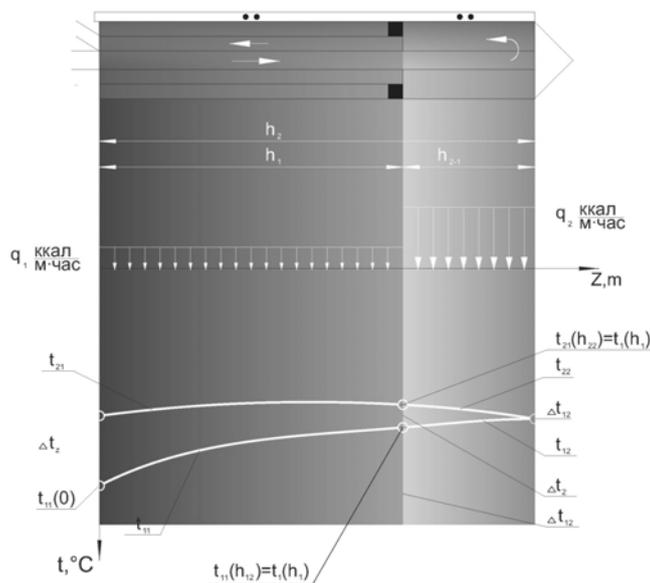


Рис. 1. Схема определения теплоотдачи колонки. Обозначения даны далее по тексту

расходом тепла на создание ледородного ограждения, а, следовательно, и со стоимостью специальных работ. Коэффициент теплоотдачи зависит от расхода рассола и конструкции колонки. Для колонок одной и той же конструкции при постоянном расходе рассола он постоянен, поэтому отказ от определения коэффициента теплопередачи не является существенным практическим ограничением.

Для случая применения технологической схемы с использованием зонального замораживания их эффективность определяется отношением линейной теплоотдачи на рабочем (q_2) и на нерабочем (q_1) участках.

Линейная теплоотдача замораживающей колонки является производной величиной и определяется как произведение коэффициента теплопередачи стенки (K) на перепад температур между температурой стенки (t_{cp}) и средней температурой холодоносителя (t_p).

$$\frac{q}{l} = K |t_{cp} - t_p|,$$

$$\text{откуда } K = \frac{q}{|t_{cp} - t_p|},$$

Для проведения промышленного эксперимента в натуральных условиях непосредственное измерение указанного перепада практически невозможно. Поэтому задача промышленных испытаний ограничивается определением величины теплоотдачи на рабочем и нерабочем участках колонки и соотношения величин теплоотдачи по этим участкам.

Для обобщения результатов исследований на произвольный температурный режим замораживания достаточно рассмотреть единичную величину линейной теплоотдачи, то есть линейную теплоотдачу, отнесенную к абсолютной величине температуры прямого рассола в колонке. Тогда для произвольного температурного режима линейная теплоотдача определяется произведением единичной величины на заданную температуру прямого рассола.

Линейная теплоотдача колонки по участкам определяется на основании решения задачи о распределения температур в колонке зонального замораживания, с коаксиальным расположением питающей и отводящей труб.

Решение имеет вид:

$$t_{11}(Z) = t_0 + \frac{q_1 h_1 + q_2 (h_2 - h_1)}{R_n (Gcj)^2} Z - q_1 \frac{Z^2}{2R_n (Gcj)^2},$$

$$t_{12}(Z) = t_0 + \frac{(q_1 - q_2) h_1^2}{2R_n (Gcj)^2} + \frac{q_2 h_2}{R_n (Gcj)^2} Z -$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{Z^2}{2R_n(Gcj)^2}, \\
t_{2_1}(Z) = t_0 + \frac{q_1 h_1 + q_2(h_2 - h_1)}{Gcj} + \\
& + \left[\frac{q_1 h_1 + q_2(h_2 - h_1)}{R_n(Gcj)^2} - \frac{q_1}{Gcj} \right] Z - \\
& -q_1 \frac{Z^2}{2R_n(Gcj)^2}. \\
t_{2_2}(Z) = t_0 + \frac{(q_1 - q_2)h_1^2}{2R_n(Gcj)^2} + \frac{q_2 h_2}{Gcj} + \\
& + \left[\frac{q_2 h_2}{R_n(Gcj)^2} - \frac{q_2}{R_n(Gcj)^2} \right] Z - \\
& -q_2 \frac{Z^2}{2R_n(Gcj)^2},
\end{aligned}$$

где G — расход рассола через колонку, м³/час; C — удельная теплоемкость рассола, ккал/кг⁰С; j — удельный вес рассола, кг/м³; $R_n = \frac{1}{\pi d_n \alpha_2}$ —

термическое сопротивление стенок питающей трубы, м. час⁰С/ккал; d_n — диаметр питающей трубы, мм.

Из уравнения теплового баланса суммарный перепад температур в колонке равен:

$$\Delta t_\Sigma = \frac{q_1 h_1 + q_2(h_2 - h_1)}{Gcj},$$

Тогда, из приведенного решения, нагрев рассола в питающей трубе в пределах первой зоны составляет:

$$t_1 = t_{1_1}(h_1) - t_0 = \frac{q_1 h_1 + q_2(h_2 - h_1)}{R_n(Gcj)^2} h_1 -$$

$$-q_1 \frac{h_1^2}{2R_n(Gcj)^2} = \Delta t_\Sigma \frac{h_1}{R_n Gcj} -$$

$$-q_1 \frac{h_1^2}{2R_n(Gcj)^2},$$

откуда

$$q_1 = \Delta t_\Sigma \frac{Gcj}{h_1} - 2R_n \left(\frac{(Gcj)^2}{h_1} \right) \Delta t_{1_1}. \quad (1)$$

Используя полученное значение q_1 из выражения суммарного перепада температур получаем:

$$q_2 = 2R_n \frac{(Gcj)^2}{h_1(h_2 - h_1)} \Delta t_{1_1}, \quad (2)$$

Нагрев рассола в питающей трубе по второй ступени составит

$$\Delta t_{1_2} = q_2 \frac{(h_2 - h_1)^2}{2R_n(Gcj)^2},$$

При $\alpha_2 = 35 \div 50$, $(h_2 - h_1) = 12$ м, $Gcj = 1800 \div 2000$ составляет порядка $0,0007q_2$, таким образом, доказано, что нагрев рассола в пределах первой ступени равен суммарному нагреву рассола в питающих трубах.

На основании вышеизложенного для экспериментального определения линейной теплоотдачи колонки необходимо определить следующие величины:

- суммарный перепад температур рассола в колонке Δt_Σ ;

- перепад температур рассола в питающей трубе Δt_{1_1} ;

- расход рассола через колонку G ;

Для обеспечения получения этих данных необходимо установить датчики термомпар:

- на входе в питающую трубу t_0 ;
- на выходе из питающей трубы t_1 ;
- на входе в отводящую трубу;
- на выходе из колонки t_b и определения расхода рассола в момент измерения температур G .

По расходу рассола, плотности и удельной теплоемкости вычисляется

расход тепла $\frac{Gcj \text{ ккал}}{\text{час}} \text{ } ^\circ\text{C}$, а по формулам (1) и (2) определяют величины теплоотдачи в рабочей и нерабочей зонах.

Учитывая невозможность достаточно точного измерения температур в производственных условиях дополнительную проверку полученных результатов следует произвести по развитию процесса в массиве горных пород. В этих целях дополнительно помещаются датчики в нерабочей и рабочей частях колонки на их внешней поверхности. Оценка теплоотдачи должна производиться с привлечением аналоговых методов расчета по специальной методике.

Проанализировав опубликованные характеристики различных конструкций колонок для зонального замораживания и выявив некоторые недостатки, присущие колонкам с рассольным теплоизолятором, предлагаю вновь разработать конструкцию с расширяющимся эластичным элементом.

Замораживающая колонка состоит из става обсадных труб 146x70 с башмаком, соосно расположенных питающей и отводящей труб, эластичной расширяющейся диафрагмой и оголовником (рис. 2). Для става питающих труб приняты стальные трубы диаметром 45 x 4 мм

Колонка для зонального замораживания горных пород состоит из коаксиально установленных обсадной, отводящей и питающей труб 1, 2, 3 соответственно, кольца 4, жестко закрепленного на внешней стороне отводящей трубы 2 и взаимодействующего с эластичным уплотнителем 5, размещенным на отводящей трубе в нижней ее части, и камеры 6. Камера выполнена в виде усеченного конуса со сквозными отверстиями в основаниях для прохода обратного хладоносителя

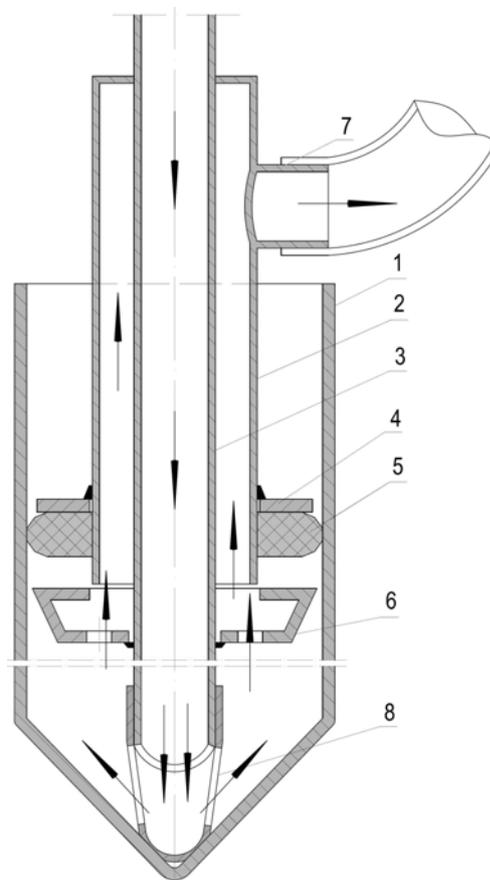


Рис. 2. Предлагаемая конструкция замораживающей колонки

сителя в межтрубное пространство между питающей и отводящей трубами. Далее хладоноситель поступает через патрубок 7 в рассольную сеть (на рис. не показана). При этом камера жестко соединена с питающей трубой 3 в нижней ее части. Обсадная труба 1 имеет коническое днище, а на конце питающей трубы 3 установлена насадка 8 с боковыми отверстиями. Продольное перемещение отводящей трубы 2 осуществляют посредством, например, автокрана. Верхняя часть замораживающей колонки оборудована инвентарной головкой известной конструкции.

Нижний конец става питающих труб крепят к опорному фонарю высотой 0.5 м.

Отводящий став монтируют из стальных труб диаметром 88,5x4.5 мм. К нижнему концу става приварен стальной стакан конической формы. Замораживающую колонку перекрывают головкой, состоящей из патрубков и фланцев для присоединения ее к обсадной трубе, питающей и отводящей трубе.

Под действием веса става отводящих труб и дополнительного осевого усилия на него, создаваемого съемным натяжным устройством, стальной конус входит в резиновую манжету, разжимает ее и, тем самым, прижимая

наружную часть манжеты к внутренней поверхности замораживающей трубы, разделяет зоны замораживания.

Линейная теплоотдача колонки на участке определяется на основании решения задачи о распределении температур в колонке зонального замораживания. Суммарный перепад температур в колонке равен

$$\Delta t_{\Sigma} = \frac{q_1 h_1 + q_2 (h_2 - h_1)}{GcI}.$$

При $GcI = 1800$, $\Delta t = 0,007q_2$.

Следовательно, можно заключить, что потери холода в нерабочей зоне замораживающей колонки составят не более 15 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трулак Н.Г. Замораживание горных пород при проходке стволов. — М.: Углетехиздат, 1954.

2. Насонов И.Д., Шуплик М.Н. Закономерности формирования ледопородных ограждений при сооружении стволов шахт. — М.: Недра, 1976.

3. Временное руководство по проектированию процесса замораживания пород

при проходке вертикальных стволов шахт. — Харьков: ВНИПИМШС, 1971.

4. Бельферман М.У. О снижении энергозатрат на замораживание пород при сооружении шахтных стволов. М. «Шахтное и подземное строительство», №2.1984.

5. Шуплик М.Н., Месхидзе Я.М., Королев И.О., и др. Строительство подземных сооружений. Справочное пособие. — М.: Недра, 1990. — С. 132—200. 

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Паланков Ибрагим Магомедович — президент Объединенной шахтостроительной компании «Союзспецстрой».



ФОНД ПОДДЕРЖКИ ГОРНОГО КНИГОИЗДАНИЯ

В 2011 году в Фонд поддержки горного книгоиздания были перечислены добровольные взносы в размере 217 548 руб. Меценатами были 9 горных предприятий и 38 специалистов-авторов статей и книг.

Полученные средства были использованы на выпуск отдельных номеров ГИАБа и пяти учебников.

Издательство «Горная книга» благодарит меценатов за поддержку и желает всем заслуженных успехов и хорошего здоровья.