

Современная аммиачная холодильная станция для замораживания грунтов при проходке шахтных стволов большой глубины

В.А.ЧЕРНЯК, В.Я.ЯНЮК,
А.А.ШТЫЛЕВА, Т.А.КЛИМЕНКО,
ГИПРОХОЛОД
И.Н.СКУМС,
Шахтспецстройпроект

В настоящее время в г. Мирный Республики Саха (Якутия) заканчивается строительство холодильной станции, предназначенной для замораживания грунтов при проходке двух вертикальных стволов рудника «Мир» (клетевого и скипового) глубиной по 1000 м. Проект станции разработан Гипрохолодом в 2002 г. по заданию ДГУП «Шахтспецстройпроект».

Впервые в отечественной практике перед разработчиками проекта подобной холодильной станции встала сложная нетрадиционная задача, обусловленная, с одной стороны, большой глубиной (525 м) замораживания шахтных стволов, а с другой — низкой температурой замерзания грунтов вокруг горных пород из-за высокого содержания в грунтовой воде хлоридно-натриевых солей (естественный рассол).

Кроме того, при выборе оборудования холодильной станции требовалось учитывать резко континентальный климат места строительства (расчетная температура наружного воздуха: летняя +35 °С, зимняя —52 °С), отсутствие воды для создания оборотной системы охлаждения конденсаторов, а также требование Госгортехнадзора России о максимальном сокращении аммиакоемкости системы охлаждения из-за расположения объекта на окраине Мирного.

Проект прошел экспертизу Госгортехнадзора России, одобрен им и рекомендован к строительству.

Весь комплект технической документации по проекту выполняли с помощью системы автоматизированного компьютерного проектирования, согласовывали и отправляли электронной почтой заказчику — Якутскому научно-исследовательскому и проектному институту алмазодобывающей промышленности АК «Алроса».

The technology of soil freezing and the arrangement of the freezing columns are presented in the article. The refrigeration equipment of the station is described together with the procedure of its operation. Special features of the building of the station connected with efficiency and safety of operation are listed.

Технология замораживания грунтов и устройство замораживающих колонок. Учитывая сложные гидрогеологические условия участка заложения стволов рудника «Мир», проходку их осуществляют под защитой искусственно создаваемого кольцевого ледопородного ограждения. Для этого по окружности диаметром, большим, чем диаметр ствола шахты в проходке, бурили скважины, в которых монтировали замораживающие колонки.

Глубина бурения скважин принята равной 525 м из расчета заглубления колонок в водоупор, представленный мелкокристаллическими массивными породами грунта.

Тепло от обводненных горных пород отводится путем циркуляции в замораживающих колонках хладоносителя (водного раствора хлорида кальция), охлаждаемого в испарителях станции до —40 °С. Выбор температуры хладоносителя обусловлен необходимостью замораживания многокомпонентных естественных рассолов метегеро-ичерского водоносного комплекса, температура замерзания которых, по данным исследований, составляет в зависимости от концентрации растворенных солей —10...—15 °С.

Диаметр окружности расположения замораживающих колонок определен равным 16 м. В кольцо пробурили 38 скважин, расстояние между устьями которых 1,32 м.

Поскольку диаметры клетевых и скиповых стволов в свету одинаковы и равны 8 м, все другие параметры — схема, способы и методы образования ледопородных ограждений —

также приняты одинаковыми по каждому стволу.

Для контроля за процессом замораживания на каждом стволе пробурили по 4 скважины для монтажа в них контрольно-термических колонок и по 2 скважины для измерения прибором ультразвукового контроля сплошности и толщины ледопородного ограждения.

Особо жесткие требования при бурении основных замораживающих скважин предъявляют к их отклонению от вертикали, которое не должно превышать 1,55 м на глубине 525 м. Если при бурении скважин путем измерений установлено отклонение свыше допустимых норм и принятые меры не помогли исправить искривление, проектом предусмотрено бурение дополнительных скважин в местах их сверхнормативного отклонения.

Местоположение контрольно-термических скважин определяют после бурения замораживающих скважин, чтобы расположить их в местах наибольшего расхождения последних.

Замораживающие колонки представляют собой теплообменники типа «труба в трубе». Каждая колонка состоит из внешних стальных труб диаметром 146 мм с толщиной стенки 8,5 мм. Соединение труб муфтовое. Резьбовые соединения муфт уплотняются смазкой.

Нижняя часть внешней трубы имеет коническую форму. Внутри внешней трубы монтируют стояк питающей трубы диаметром 60 мм с толщиной стенок 5 мм, который не дости-

гает до конца внешней трубы. Верхняя часть замораживающей колонки перекрывается съемной головкой, к которой подсоединены питающие трубы и отводящие патрубки.

Охлажденный на замораживающей станции хладонотеплоноситель по магистральному трубопроводу поступает в кольцевой коллектор-распределитель, а из него — в питающие внутренние трубы, по которым опускается до дна замораживающих колонок. Поднимаясь по кольцевому межтрубному пространству, хладонотеплоноситель отбирает теплоту от пород, окружающих замораживающую колонку. Через отводящие патрубки он собирается в кольцевой коллектор обратного хладонотеплоносителя и по магистральному трубопроводу возвращается на станцию.

Процесс искусственного замораживания горных пород принято делить на период образования вокруг ствола сплошного ледопородного ограждения проектных размеров (активное замораживание пород) и период поддержания созданного криогидратного ледового ограждения в замороженном состоянии (пассивное замораживание пород) до завершения проходки и возведения постоянной крепи ствола.

В процессе активного замораживания на первом этапе породный массив охлаждается до температуры замораживания естественных рассолов, а затем вокруг замораживающих колонок намораживаются ледопородные цилиндры до их полного смыкания друг с другом. Породы замораживаются при строгом соблюдении проектного режима. Недопустимо принимать среднюю (за какой-либо промежуток времени) температуру.

Повышение температуры прямого рассола приводит к оттаиванию криогидратного цилиндра. Иными словами, проектный срок замораживания можно выдержать только при устойчивой работе станции в режиме, обеспечивающем проектную температуру прямого рассола $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и обратного $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$. В первые 10 сут перепад температур рассола на выходе и входе колонки поддерживают несколько выше.

Процесс образования ледопородного ограждения ежесуточно контролируется путем измерения температур в контрольно-термических ко-

лонках, а также с помощью ультразвукового прибора, осуществляющего нулевой, промежуточный и заключительный циклы измерений.

Расчетами срок активного замораживания пород вокруг стволов рудника «Мир» определен равным 200 сут, при этом проектная толщина ледопородного ограждения составляет 4 м на глубине 525 м.

После образования ледопородного ограждения требуемых размеров путем активного замораживания и выдачи заключения о возможности начала проходческих работ станцию переводят в пассивный режим.

Пассивное замораживание позволяет сохранить достигнутые в процессе активного замораживания проектные параметры криогидратного ограждения (толщина, средняя температура, прочность). Продолжительность работы в пассивном режиме определяется временем, необходимым для проходки и крепления стволов на участке замороженных пород и сооружения водонепроницаемых венцов ниже этого участка.

Пассивное замораживание проводят при тех же температурах прямого рассола, что и при активном замораживании. Повышение температуры рассола при пассивном замораживании недопустимо. Смысл пассивного замораживания состоит в том, чтобы не допустить оттаивания или ослабления ледопородного ограждения из-за теплопритоков к его внешней поверхности.

Продолжительность работы холодильной станции в пассивном режиме определяется графиком проходки ствола на участке замороженных пород.

Холодильное оборудование станции. Общая расчетная холодопроизводительность холодильной установки составляет 3500 кВт при температуре хладонотеплоносителя на выходе $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом на один ствол требуется 1750 кВт холода для периода активного замораживания грунта и 875 кВт для периода пассивного замораживания.

В соответствии с тендером, проведенным заказчиком АК «Алроса» на поставку холодильного оборудования среди фирм, было принято решение о закупке оборудования, предложенного фирмой York Refrigeration.

По согласованию с Гипрохолодом

фирма осуществила комплектную поставку четырех аммиачных агрегатов блочных холодильных машин.

Машины полностью автоматизированы, прошли все необходимые заводские испытания, укомплектованы арматурой, приборами автоматики, щитами управления и питания.

Холодопроизводительность каждой холодильной машины составляет 890,4 кВт при температуре охлажденного хладонотеплоносителя $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре конденсации $+44\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Каждая холодильная машина состоит из следующих трех блоков:

- **компрессорный**, представляющий собой смонтированный на одной раме двухступенчатый компрессорный агрегат на базе винтовых аммиачных компрессоров нижней ступени TDSH-355L и верхней ступени SAB-202SM, каждый из которых снабжен горизонтальными маслоотделителями и кожухотрубными маслоохладителями для охлаждения масла аммиаком по термосифонной схеме подключения;

- **теплообменный**, также смонтированный на одной раме, в который входят кожухотрубный испаритель и отделитель жидкости в одном аппарате и горизонтальный ресивер, совмещающий функцию термосифонного питателя для маслоохладителей компрессоров. Конструкция испарителя с внутритрубным кипением аммиака, обеспечивающим более высокую эффективность работы и сокращение аммиакоемкости аппарата, выполнена по индивидуальному проекту фирмы York Refrigeration;

- **конденсаторный** — это воздушный конденсатор фирмы «Güntner» V-образного типа с двухскоростными осевыми вентиляторами.

Компрессорные и теплообменные блоки холодильных машин устанавливают в машинном отделении станции, а конденсаторные блоки — на металлической открытой площадке, рядом со зданием машинного отделения.

Каждая блочная холодильная машина с дозированной заправкой аммиаком оснащена всеми необходимыми приборами и регулирующими устройствами для полностью автоматического управления работой при изменяющихся условиях (регулирование холодопроизводительности от 100 до 10 %) с помощью микропро-

цессорных русифицированных блоков UNISAB II.

Количество аммиака, заправляемого в одну холодильную машину согласно паспортным данным, составляет 1000 кг.

Под площадкой воздушных конденсаторов установлен дренажный ресивер РД-2, вместимость которого (2 м³) позволяет принять аммиак из всех аппаратов любой холодильной машины в случае ремонта или разгерметизации системы. Под дренажным ресивером устроен металлический поддон, предотвращающий растекание аммиака при аварийной разгерметизации самого дренажного ресивера.

Рядом с дренажным ресивером установлен ресивер РДГ-0,75 для сбора отработанного масла, а также узел приема аммиака, предназначенный для первоначального заполнения и ежегодного пополнения системы аммиаком из баллонов или автоцистерны.

В качестве хладоносителя в системе охлаждения замораживающих колонок использован водный раствор хлористого кальция (CaCl₂) концентрацией 29,4%, с температурой заморозки -55 °С и плотностью 1280 кг/м³. Для циркуляции хладоносителя установлены химические насосы ОАО «Волгограднефтемаш» — по два на каждый шахтный ствол (из них один — рабочий, другой — резервный). Подача насосов 380...400 м³/ч, напор 90 м вод. ст.

В машинном отделении смонтировано дополнительное вспомогательное оборудование: бак для разведения рассола вместимостью 20 м³ и два расширительных бака — по 1 м³ каждый. Расширительные баки снабжены поплавковыми регуляторами уровня, позволяющими следить за уровнем рассола в системе и сигнализировать о его утечке и возможном прорыве труб в какой-либо из замораживающих колонок.

Порядок и схема работы оборудования станции. Схемой установки предусматривается возможность работы любой из четырех холодильных машин на замораживающие колонки любого ствола.

На первом этапе работ замораживают клетевой ствол — период активного замораживания. Этот процесс осуществляется двумя холодильными

машинами. После окончания активного периода начинается пассивное замораживание клетцевого ствола с помощью одной холодильной машины. При переходе его на пассивный режим замораживания вступает в период активного замораживания скиповый ствол и на него начинают работать две холодильные машины. Таким образом, в работе постоянно участвуют три холодильные машины, а одна машина всегда в резерве. Резервная машина способна заменить любую из вышедших из строя холодильных машин. Такое решение позволяет обеспечить бесперебойную выработку проектного количества холода, необходимого для замораживания двух стволов. При этом автоматически учитывается время работы каждого компрессорного агрегата с целью достижения равномерного износа компрессорного оборудования.

После окончания пассивного замораживания клетцевого ствола (проходки ствола) две машины могут быть демонтированы и отправлены на другой объект при условии окончания периода активного замораживания скипового ствола.

Особенности здания станции. Площадка строительства здания холодильной станции находится в районе вечномёрзлых грунтов. В связи с этим под зданием предусмотрено проветриваемое холодное подполье с круглогодичной естественной вентиляцией, позволяющей сохранять грунты основания в мерзлом состоянии. В соответствии с местным опытом строительства и условиями снеготаносимости подполье выполнено открытым, защищенным металлической сеткой.

Перекрытие над подпольем, расположенное на сваях, выполняют из сборных железобетонных плит и монолитных железобетонных участков по ростверкам и рандбалкам, утеплитель пола — из плит ПСБ-С. Фундаменты под компрессорные блоки холодильных машин с динамической нагрузкой сделаны в виде отдельно стоящих свайных ростверков. Каркас здания металлический по типу серии «Канск». Наружные стены самонесущие из трехслойных панелей «сэндвич» производства ЗАО «Петропанель» (Санкт-Петербург). Утеплитель панелей — негорючая минеральная вата «Rockwool» на основе базальто-

вого волокна. Кровля здания рулонная многослойная из трех слоев изоплита с утеплителем из жесткой минераловатной плиты «Rockwool».

Помещение машинного отделения оборудовано двумя подвесными кран-балками грузоподъемностью по 3,2 т. В подсобно-вспомогательной части здания размещены: тепловой пункт, комната КИП и ЩСУ, трансформаторная подстанция, механическая мастерская, комната мастера и санузел. На антресоли располагаются приточная и вытяжная вентиляционные камеры.

С торцов здания предусмотрены выносные рампы для монтажа технологического оборудования и выкатки трансформаторов. Согласно противопожарным нормам здание станции относится к IIIа степени огнестойкости, а по размещенному в нем производству (аммиачная холодильная установка) — к категории «А» по взрывопожароопасности. В связи с этим предусмотрен ряд противопожарных мероприятий:

- часть стеновых панелей в дополнение к оконным проемам выполнены легкосбрасываемыми из расчета общей площади 5 % от объема помещения машинного отделения;
- устроен тамбур-шлюз с подпором воздуха при входе в помещение машинного отделения из помещений категории «Д»;
- возведены противопожарные стены, перегородки и двери, отделяющие помещение категории «А» от помещений категории «Д»;
- полы в машинном отделении выполнены в безыскровом исполнении;
- устроена молниезащита здания станции.

В проекте согласно требованиям Госгортехнадзора России определены относительные энергетические потенциалы и категории взрывоопасности технических блоков аммиачной холодильной установки, выявлена площадь зоны возможного заражения аммиаком при разгерметизации (аварии) системы, разработана система контроля уровня загазованности и оповещения об аварийных утечках аммиака в помещении машинного отделения и в пределах конденсаторной площадки, устроены необходимая система вентиляции и пожарная сигнализация станции.