

**ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ  
ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ,  
СООРУЖЕНИЙ И ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

**Черняева И.Е., Тюрнина И. Ю.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Малиновский Е.Г.**

*Сибирский федеральный университет*

В практике отработки месторождений полезных ископаемых за полярным кругом в зоне многолетнемерзлых пород возникает проблема обеспечения устойчивости инженерных сооружений (в первую очередь копры стволов) и создание ледопородных завес для изоляции горных выработок от водопритока, при этом необходимо рассмотреть две задачи:

Обеспечение надежности и устойчивости грунтов оснований фундаментов поверхностных зданий и сооружений при строительстве и эксплуатации на многолетнемерзлых породах. На стадии проектирования невозможно учесть все непредвиденные тепловыделения, поэтому необходимо использовать такие технические решения, с помощью которых возможно оперативное управление состоянием грунтов оснований.

К задаче второго типа относится создание ледогрунтовой завесы при обеспечении ледопородной изоляции зоны подземных выработок от подземных вод.

Примером прогрессивных способов решения первой задачи могут являться системы термостабилизации грунтов оснований – «ГЕТ» (горизонтальная, естественно действующая, трубчатая), «ВЕТ» (вертикальная естественно действующая, трубчатая) и «СОУ-термостабилизаторы» (сезоннодействующие охлаждающие устройства). Эти системы имеют много разновидностей и применяются совместно и в отдельности, экономя до 50% капитальных вложений на нулевом цикле. Они совместимы с холодильными машинами, что очень важно как при непредвиденных тепловыделениях, так и при ожидаемом повышении температуры окружающей среды.

Для поддержания грунтов в мерзлом состоянии и обеспечения расчетной несущей способности буронабивных свай фундаментов копров КС и СС институтом Горного дела Севера (ИГДС, г.Якутск) рассмотрены пять вариантов устройства замораживающей системы, каждая из которых обеспечивает необходимую несущую способность свайных оснований.

В результате выбрана замораживающая система с применением охлаждающих устройств (ОС) – 14 шт. глубиной 30 м, с принудительной подачей хладагента с температурой  $-10^{\circ}\text{C}$ , расположенных вокруг ствола, и использование вокруг свайных кустов жидкостных термосифонов (72 шт.) с естественной циркуляцией хладоносителя. Расчеты проводились для термосифонов (типа ТПС4) длиной 14,8 м по периметру «ног» копра и основания укосины. Температура включения-выключения на основании равна минус  $15^{\circ}\text{C}$ .

Поддержание грунтов основания в мерзлом состоянии обеспечивается замораживающей станцией с использованием двух замораживающих «чиллеров» (1 раб. + 1 резерв) фирмы «York» и проложенных по поверхности рассолопроводов.

В результате анализа технической и патентной информации в данной области техники можем сделать вывод, что общим в системе замораживающих установок является наличие трубопроводов, по которым циркулирует хладоагент, в качестве которого может использоваться либо аммиак, либо жидкий азот. Учитывая высокую степень токсичности, агрессивности и взрывоопасности, а также более высокую температуру аммиака, предлагается использовать в качестве хладоагента жидкий азот, который ли-

шен этих недостатков, а также обладающий более низкой температурой и повышающий скорость замораживания, что существенно сокращает сроки строительства, повышается безопасность работ, срок службы трубопроводов, вследствие невысокой агрессивности хладагента.

Количество изобретений, посвященных заморозке грунтов подтверждает высокоактуальность задачи создания гидроизолирующих сред для проходки выработок в сложных горно-геологических условиях.

Представляется интересным применение отечественных разработок, таких как:

Способ замораживания грунтов при строительстве подземных сооружений, включающий бурение скважин с установкой в них замораживающих колонок с жидким хладоносителем, которые соединяют с резервуаром, заполненным твердым криоагентом с обеспечением циркуляции охлажденного жидкого хладоносителя и выделения газовой составляющей криоагента. При снижении температуры хладоносителя до  $-70^{\circ}\text{C}$  сроки замораживания грунтов уменьшаются в 2-3 раза по сравнению с известными прототипами способов замораживания грунтов с принудительной циркуляцией жидкого хладоносителя.

Также предложен способ изолирования зоны ведения работ – зоны подземной выработки от подземных вод в области технологической скважины, включающий создание ниже уровня основания подземной выработки герметизирующей ледовой перемычки и ледогрунтового ограждения с использованием метода азотного замораживания. Процесс азотного замораживания включает стадию постепенного охлаждения замораживаемой области газообразным азотом и последующую стадию замораживания жидким азотом. Данное изобретение помогает обеспечить безопасность ведения проходческих работ в сложных горно-геологических условиях от прорыва высоконапорных грунтовых вод в подземные сооружения.

Еще одним примером является изобретение, применяемое для повышения безопасности и эффективности ведения горных работ в обводненных горных породах за счет управления процессом формирования ледопородного ограждения с одновременным контролем за смыканием отдельных ледопородных тел. Указанная задача решается тем, что управляют процессом формирования ледопородного ограждения стадийно, при чем на всех стадиях проектный объем хладоносителя прокачивают через группу скважин в активном режиме замораживания, формируя тем самым отдельные ледопородные тела оптимальных размеров. Переход от стадии к стадии осуществляют переключением группы скважин предыдущей стадии на пассивный режим замораживания, направленное смыкание отдельных ледопородных тел в единое ограждение производят в заданные сроки на конечной стадии его формирования.

Известен также способ замораживания горных пород при возведении подземного сооружения, включающий бурение опережающих и замораживающих скважин с установкой в них охлаждающих труб с замораживающими колонками, нагнетание тампонирующего материала через замораживающие скважины для создания перекрытия фронтальной части, подачу хладагента и формирование ледопородного ограждения с последующей проходкой и созданием очередной горной выработки. Между опережающей и замораживающими скважинами бурят термометрические скважины с установкой в них обсадных термометрических труб для термодатчиков. Замораживание породы ведут до образования сплошного ледопородного массива на глубину очередной выработки.

На примере рудника «Мир» поставленные выше задачи решаются применением замораживающей станции.

Замораживающая станция входит в состав общего комплекса зданий и сооружений строящегося рудника «Мир» АК «АЛРОСА» в районе г. Мирный.

Замораживающая станция предназначена для замораживания горных пород на глубину 525 м с целью создания кольцевого ледопородного ограждения, обеспечивающего безопасную и безаварийную проходку клетового и скипового стволов рудника «Мир» в сложных горно-геологических условиях (наличие мощного водоносного горизонта) и расположена в 1 км от города Мирного.

Проектом предусмотрены четыре аммиачные агрегатированные холодильные машины комплектной поставки для периода проходки стволов, две из которых впоследствии будут демонтированы, а другие две (1 раб.+1 рез.) предусматриваются для поддержания грунтов стволов КС и СС в мерзлом состоянии.

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

Холодопроизводительность каждой холодильной машины = 890,4 кВт при температуре охлажденного хладоносителя  $t_{s2} = -40^{\circ}\text{C}$  и температуре конденсации  $t_{к} = -44^{\circ}\text{C}$ . Хладоноситель – водный раствор хлористого кальция  $\text{CaCl}_2$  концентрацией 29,4%, с температурой замерзания минус  $55^{\circ}\text{C}$  и плотностью  $1280 \text{ кг/м}^3$ .

Каждая холодильная машина состоит из трех блоков: компрессорный блок, теплообменный блок, воздушный конденсатор.

В машинном отделении устанавливаются компрессорный и теплообменный блоки.

Для циркуляции хладоносителя устанавливаются насосы марки НКВ-600/125-гН-ДМК021-4 шт. (по два на каждый ствол: из них один – рабочий, один – резервный).

Здесь же устанавливаются бак для разведения рассола емкостью  $20 \text{ м}^3$  и 2 расширительных бака емкостью  $1 \text{ м}^3$  каждый. Расширительные баки устанавливаются на металлической площадке на отм. +4,600 и служат для компенсации температурных изменений объема рассольной системы и кроме того, баки снабжены поплавковыми регуляторами уровня, позволяющими следить за уровнем рассола в системе и сигнализировать об утечке рассола, и о прорыве в какой-либо из замораживающих колонок.

В конденсаторном отделении установлен дренажный ресивер марки РЛД-2, емкостью  $2,0 \text{ м}^3$ , позволяющего принять аммиак из любой холодильной машины. Под ресивером установлен металлический поддон, предотвращающий растекание аммиака в случае аварийной разгерметизации сосуда.

Для приготовления  $1 \text{ м}^3$  рассола нужной концентрации требуется  $384 \text{ м}^3$  хлористого кальция и  $902 \text{ м}^3$  воды. Кроме того, для уменьшения коррозии трубопроводов в раствор необходимо добавлять пассиваторы и ингибиторы: на  $1 \text{ м}^3$  рассола –  $1,6 \text{ кг}$  раствора бихромата натрия и на каждые  $10 \text{ кг}$  бихромата натрия –  $2,7 \text{ кг}$  едкого натра. Щелочность рассола должна поддерживаться в пределах  $\text{pH} = 7,0 + 7,5$ .

Применение высокоэффективных низкотемпературных и нетоксичных хладагентов представляется весьма перспективным для замораживания грунтов и обводненных пород.