© М.Н. Шуплик, В.Н. Борисенко, 2006

УДК 69.035.4:622.253.3

М.Н. Шуплик, В.Н. Борисенко

ТЕХНОЛОГИЯ ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЕРДЫХ КРИОАГЕНТОВ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Круглый стол

Быстрое развитие современных городов мира, непрерывный рост численности их населения и занимаемых территорий, а также высокие темпы социального и научно-технического прогресса остро ставят вопрос о планомерном и эффективном освоении подземного пространства крупнейших городов и размещения в этом пространстве объектов самого различного назначения. Современные города уже не способны обойтись без подземной инфраструктуры, которая, на первый взгляд незаметна, но представляет важную предпосылку общественного здоровья.

В крупных городах России подземные сооружения строятся в сложных горно-геологических условиях, характеризующихся неустойчивыми грунтами с низкими коэффициентами фильтрации, нередко с напорными подземными водами.

В этих условиях при строительстве подземных сооружений требуется применение специальных способов производства работ. Как показывает мировая практика одним из универсальных способов является способ замораживания грунтов. Наиболее распространенным является «рассольный» способ замораживания грунтов.

В городских условиях основной объем замораживания грунтов приходится на глубины до 30 м, в основном 11-20 м от поверхности земли. При замораживании грунтов на таких глубинах неизбежное влияние на процесс формирования ледогрунтового ограждения оказывает теплоприток со стороны земной поверхности, который в летнее время, как показывает практика, может превышать в 5-10 раз теплоприток со стороны незамороженного массива.

Анализ опыта строительства коммунальных тоннелей в Москве показывал, что в 85 % всех случаев в радиусе до 3 м находились или наземные, или подземные коммуникации. Особую сложность при этом вызывает наличие в непосредственной близости от строящихся объектов теплотрасс, канализационных коллекторов и других коммуникаций, имеющих повышенную температуру (локальные источники тепла с температурой до 60 ^{o}C).

Специфика городского хозяйства оказывает воздействие на состав подземных вод. Зачастую подземные воды, подлежащие замораживанию, содержат примеси нефтепродуктов, растворы минеральных солей, что резко снижает температуру ледообразования, и на отдельных объектах она составляет – (10–15) ^{o}C. Жизнедеятельность города влияет и на начальную температуру подземных вод, которая вблизи теплотрасс

подземных коммуникаций достигает 20–25 ^{o}C.

Все возрастающие объемы замораживания грунтов вблизи зданий, сооружений, под железными и автомобильными дорогами, с одной стороны, высокая стоимость, большая энерго- и материалоемкость этого процесса, с другой, приводят к необходимости решения крупной проблемы, направленной на обоснование и разработку параметров технологии замораживания грунтов в городских условиях, обеспечивающей ресурсосбережение, охрану окружающей среды и повышение технико-экономи-ческих показателей подземного строи-тельства.

Одним из путей достижения поставленной цели является обоснование и разработка принципиально новых мобильных способов замораживания грунтов с применением твердых криоагентов, позволяющих обеспечить ресурсосбережение. Под последним понимается снижение для замораживания заданного объема грунта электроэнергии, воды, труб и требуемого оборудования.

В качестве твердых криоагентов для замораживания грунтов могут быть использованы любые химические вещества, обладающие свойством суб-лимации, т.е. способностью переходить из твердого состояния в газообразное минуя жидкое, при низких отрицательных температурах. Анализируя современные криоагенты, используемые во всех отраслях техники, можно выделить целый ряд твердых криоагентов, которые могут быть применены для замораживания грунтов. С точки зрения технологии их получения, дефицитности, безопасности, стоимости, можно констатировать, что на сегодняшний день развития техники и технологии наиболее приемлемым для промышленного при-менения при замораживании грунтов является диоксид углерода CO_2, называемый иногда «сухой лед».

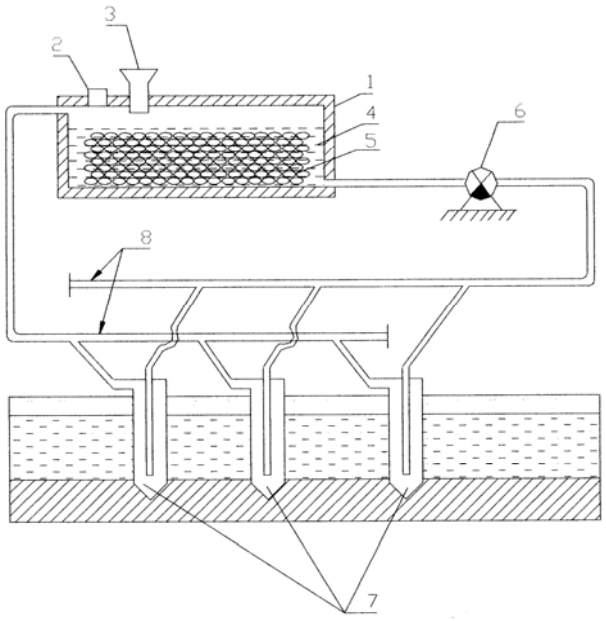
Анализ закономерностей изменения свойств твердого диоксида углерода, в зависимости от внешних условий и воздействий, позволяет обосновать и предложить ряд технологических схем замораживания грунтов.

Одна из наиболее простых и распространенных технологических схем это схема, при которой твердый криоагент является хладоносителем. По этой технологии замораживание грунтов осуществляется через заглушенную в нижней части трубу (в дальнейшем называемой «колонкой»), которая периодически по мере сублимации заполняется твердым диоксидом углерода. За счет притока тепла из окружающих грунтов диоксид углерода сублимирует, и в зависимости от давления в колонке температура сублимации будет находиться в пределах –78,9 ÷ - 56,6 ^{o}C.

Максимальная глубина замораживания определяется из условия, чтобы в самой нижней части колонки давление не превышало 0,518 МПа (давление тройной точки), которое получается при заполнении колонки на 35 ÷ 40 м твердым диоксидом углерода. Газ диоксида углерода по мере его накопления поднимается вверх и, пройдя всю колонку по высоте, выбрасывается наружу. Колонка в верхней части должна быть открытой для свободного выхода газообразного диоксида углерода в атмосферу.

По этой технологии построено 8 объектов в г. Москве [1]. Анализ опыта строительства показал, что этот способ имеет ряд преимуществ: не требуется вода, электроэнергия, уменьшается количество труб, сокращаются сроки подготовительного режима и активного замораживания.

Недостатками данной технологии замораживания грунтов является слож-



Технологическая схема замораживания грунтов с применением сухого льда в качестве хладагента с труднозамерзающей жидкостью

ность контроля заполнения скважин сухим льдом по глубине, относительно высокая стоимость хладоносителя.

Твердый диоксид углерода при замораживании грунтов может быть использован и в качестве хладагента. Способ замораживания грунтов с применением твердого диоксида углерода в качестве хладагента является комбинацией рассольного способа и способа замораживания грунтов с применением твердых криоагентов в качестве хладоносителя.

На рисунке показана принципиальная схема замораживания грунтов с применением твердого диоксида углерода в качестве хладагента.

Замораживающая система состоит из резервуара *1* с двумя входными отверстиями *2, 3* для подачи хладоносителя *4* и твердого криоагента *5*, всасывающий патрубок которого расположен в верхней части резервуара *1*, и замораживающей сети. Замораживающая сеть включает замораживающие колонки *7*, соединенные с резервуаром *1* посредством магистральных трубопроводов *8*, и насос 6, установленный на выходе резервуара *1*.

Сущность данного способа заключается в следующем. Вокруг подземного сооружения на заданном от него расстоянии бурят скважины и устанавливают в них замораживающие колонки *7* с жидким хладоносителем, которые соединяют с резервуаром *1*. Далее резервуар заполняют жидким хладоносителем и твердым криоагентом. В результате непосредственного взаимодействия твердого криоагента с хладоносителем происходит сублимация криоагента и интенсивное охлаждение хладоносителя. Затем охлажденный хладоноситель поступает с помощью насоса *6* в замораживающие колонки, в которых он отбирает тепло от окружающего массива грунта и движется на повторное охлаждение. По мере сублимации твердого диоксида углерода производим догрузку.

Циркуляцию хладоносителя по замораживающей сети осуществляют до образования ледогру нтового ограждения заданной толщины.

Примерами хладоносителей, применяемых при низких температурах, могут служить метиленхлорид (CH_2Cl_2), трихлорэтилен C2HCl3, этиловый спирт, ацетон, различные фракции перегонки нефти (керосин) и др. Наибольшее распространение в качестве хладоносителя получил

водный раствор хлористого кальция $CaCl_2$.

Данный способ позволяет уменьшить температуру хладоносителя до – 70°С за счет увеличения площади поверхности теплообмена хладоносителя с твердым криоагентом и обеспечить оптимальный режим работы замораживающей системы, исключив наличие газовой составляющей криоагента в жидком хладоносителе. Дальнейшее понижение температуры хладоносителя вызывает значительное повышение материальных затрат и негативно влияет на окружающую среду. При снижении температуры хладоносителя до – 70 °С сроки замораживания грунтов при одинаковых гидрогеологических условиях уменьшаются в 2÷3 раза по сравнению с известными способами замораживания грунтов с принудительной циркуляцией жидкого хладоносителя.

К *достоинствам* способа следует отнести простоту эксплуатации замораживающей станции; компактность; высокие темпы замораживания; относительно невысокую стоимость; незначительные энергозатраты; отсутствие потребности в воде; а к *недостаткам* – относительно большие сроки проведения подготовительных работ.

Применение данного способа позволяет расширить использование технологии замораживания грунтов с применением твердого диоксида углерода при строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шуплик М.Н., Плохих В.А., Никифоров К.П., Киселев В.Н.* Перспективы технологии замораживания грунтов в подземном строительстве // Подземное пространство мира № 4, 2001.
2. *Пименова Т.Ф.* Производство и применение «сухого льда». – М.: Легкая промышленность. 1982.

Коротко об авторах

Шуплик Михаил Николаевич – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительство подземных сооружений и шахт»,
Борисенко В.Н. – аспирант,

Московский государственный горный университет.

Р У К О П И С И ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1. *Сенаторов Н.П., Садчиков В.С.* Влияние качества асбестовых руд в запасах, находящихся за границами контура карьера, на целесообразность вовлечения их в разработку открытыми «выработками» ограниченных размеров (490/08-06 — 07.06.06) 5 с.