

УДК 624.138.35; 624.193

**М.Н. Шуплик, Р.А. Никитушкин**

## **ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ ГРУНТОВ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ КОЛОНКАМИ**

*Рассмотрены возникающие проблемы при искусственном замораживании грунтов. Решена задача по оценки температурных потерь при применении буровой технологии, прокладки горизонтальных замораживающих колонок. По результатам расчета видна потеря температуры, и как следствие увеличение мощности замораживания.*

*Ключевые слова: теплообмен, теплоотдача, замораживание.*

---

**Т**ехнология строительства подземных сооружений в сложных гидро-геологических условиях характеризуется неустойчивыми грунтами с низкими коэффициентами фильтрации нередко с напорными подземными водами.

В г. Москве такие условия составляют примерно 27% общего объема подземного строительства. В этих условиях при строительстве подземных сооружений требуются применение специальных способов. Как показывает мировая практика, одним из универсальных и перспективных специальных способов на сегодняшний день является способ искусственного замораживания грунтов.

Технология замораживания грунтов при строительстве подземных сооружений в условиях города сопряжена с целым рядом принципиальных особенностей по сравнению с технологией замораживания в шахтном строительстве:

- при небольших глубинах подземного объекта существенное влияние на процесс формирования ледогрунтового ограждения оказывает теплоприток со стороны земной поверхности;

- в большинстве случаев (70% объектов) на характер формирования ледогрунтового ограждения оказывает влияние локальные источники тепла (действующие коллекторные тоннели, теплотрассы, подземные коммуникации), имеющие температуру, намного превышающую естественную температуру грунта (до 70° С);

- частые пересечения трасс, строящихся объектов железными или автомобильными дорогами, замораживание грунтов под зданиями и сооружениями подчас в малых объемах (200-700 м<sup>3</sup>), что требует применения в таких условиях нетрадиционных технологий замораживания грунтов.

Существующие теории, методы проектирования, а также технология замораживания грунтов в городских условиях не учитывают вышеперечисленных особенностей, что приводит на практике к увеличению сроков замораживания, значительными материальными и энергетическими затратами, а иногда и к аварийным ситуациям.

Опыт строительства городских подземных сооружений показывает, что практически весь объем замораживания грунтов осуществляется с

применением рассольного способа. Применение жидкого азота в практике городского подземного строительства носит эпизодический и, как правило, экспериментальный характер.

Анализируя опыт замораживания грунтов при строительстве городских подземных сооружений, следует отметить, что наиболее распространенной рассольной схемой замораживания грунтов является схема создания ледогрунтовых ограждений с применением вертикальных колонок (стволы, котлованы) или наклонных колонок (эскалаторные тоннели).

Следует отметить, что технология замораживания грунтов при строительстве таких объектов хорошо изучена и отработана.

Намного больше проблем возникают при замораживании грунтов при строительстве горизонтальных сооружений (тоннелей различного назначения, тоннельных сбоек).

При этом возможны принципиально две технологические схемы замораживания: с применением вертикально-расположенных колонок в различных сочетаниях или же с применением замораживания грунтов колонками, расположенными по оси тоннеля (горизонтальное замораживание) в различных сочетаниях. Применительно к городскому строительству замораживание грунтов вертикальными колонками имеет ряд крупных недостатков, из которых отметим следующие:

- нерациональность такой технологии с точки зрения ресурсов (большой перерасход замораживающих труб, электроэнергии, воды);

- необходимость разрушения дорожных полотен и порчи зеленых насаждений;

- нарушение городского движения, что приводит к огромным потерям на транспорте;

- замораживание значительных объемов грунта, не выполняющих роль ограждающей конструкции (иногда эти объемы в 2-6 раз превышают полезный объем замораживаемых грунтов.

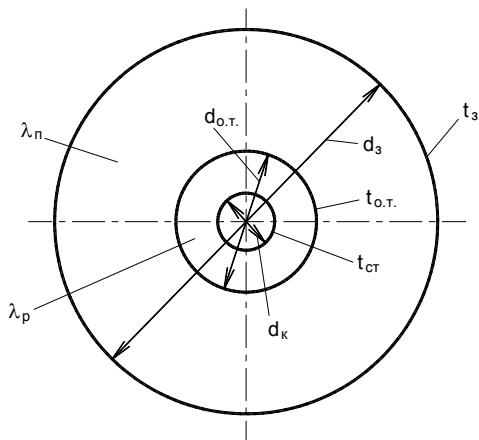
- увеличение сроков и стоимости замораживания.

К преимуществам схемы замораживания горизонтальными колонками в первую очередь относятся замораживание наиболее рациональных объемов грунта, резкое снижение стоимости и объема буровых и монтажных работ, труб, электроэнергии, воды, уменьшение площади отчуждаемой территории вблизи жилой, промышленной и других застроек; возможность применения безрассольных способов замораживания; горизонтальное ледогрунтовое ограждение может выполнять роль долговременной несущей конструкции. Отмеченные выше преимущества замораживания горизонтальными колонками определяют целесообразность его разработки и широкого внедрения в практику городского подземного строительства.

Вместе с тем способ замораживания горизонтальными колонками внедряется крайне медленно. Причина этому отсутствие отечественных надежных машин и механизмов для бурения замораживающих колонок, недостаточная изученность процесса замораживания грунтов горизонтальными колонками применительно к условиям плотной городской застройки.

Одной из задач, которая не решена к настоящему времени, является задача, связанная с оценкой температурных потерь при существующей буровой технологии прокладки горизонтальных замораживающих колонок.

Для аналитического решения поставленной задачи применим следующие допущения и упрощения:



**Расчетная схема**

1. Пространство между обсадной трубой и замораживающей колонкой заполнено раствором с известным коэффициентом теплопроводности.

2. Процесс теплопередачи в ледогрунтового ограждении принят квазиустановившимся и рассматривается как плоская задача теплопроводности в цилиндрической стенке.

3. Замораживающая колонка расположена по центру обсадной трубы. Раствор по всему сечению имеет одинаковую толщину.

4. Коэффициенты теплопроводности замороженной породы и раствора постоянны и равны соответственно  $\lambda_n$  и  $\lambda_p$ .

5. Тепловой поток и толщина ледогрунтового ограждения являются переменными величинами, зависящими от времени замораживания. В расчётах, используя проектные и опытные данные, вышеназванные величины приняты как известные величины на определённый момент активного замораживания.

В такой постановке расчетная схема показана на рис.

При отсутствии обсадной трубы и известном постоянном тепловом потоке перепад температур между температурой стенки колонки  $t_{cm}$  и гра-

ницей ледогрунтового ограждения определяется из известного выражения:

$$\Delta t_1 = t_{cm} - t_3 = \frac{q_e}{2\pi} \cdot \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{d_3}{d_k}$$

где:  $t_{cm}$  – температура стенки колонки при отсутствии обсадной трубы;  $t_3$  – температура замораживания воды в породе;  $q_e$  – линейный тепловой поток к колонке;  $\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности замороженной породы;  $d_3$  – диаметр ледогрунтового ограждения;  $d_k$  – наружный диаметр замораживающей колонки.

При наличии обсадной трубы и таком же тепловом потоке перепад температур между колонкой и границей ледопородного ограждения составит:

$$\Delta t_2 = t_{cm} - t_3 = \frac{q_e}{2\pi} \left( \frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_{om}}{d_k} + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{d_3}{d_{om}} \right)$$

где  $\lambda_p$  – теплопроводность раствора, заполняющего пространство между замораживающей колонкой и обсадной трубой;  $d_{om}$  – диаметр обсадной трубы.

Разница перепада температур между поверхностью колонки и обсадной трубой заполненной раствором составит:

$$\Delta t = \Delta t_1 - \Delta t_2 = \frac{q_e}{2\pi} \left[ \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{d_3}{d_k} - \frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_{om}}{d_k} - \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{d_3}{d_{om}} \right]$$

Используя вышеприведенную формулу, для оценки температурных перепадов в замораживающей колонке с обсадной трубой, были выполнены соответствующие расчёты для следующих исходных данных:

линейный тепловой поток – величина переменная, зависящая от толщины ледогрунтового ограждения. В соответствии с проектом она принята максимальной в начальный период

$q_e$ , ккал/м·ч	$d_3$ , м	$\Delta t$	Потери от про- ектной темпера- туры рассола, %
150	0,5	3,2	16
	0,8	3,4	14
120	0,8	2,7	13,5
	1,0	2,6	13
100	1,0	2,32	11,6
	1,5	2,16	10,8
70	1,5	1,62	8,1
	2,0	1,51	7,5
50	2,0	1,08	5,4
	2,5	1,08	5,4
30	2,5	0,62	3,1
	3,5	0,6	3

замораживания 150 ккал/ м час (480 ккал/м<sup>2</sup> час), минимальной в конце замораживания 30 ккал/м час (95 ккал/ м<sup>2</sup> час);  $\lambda_p$  - коэффициент теплопроводности замороженного грунта- 1,7 ккал/м час град;  $d_3$  - диаметр ледогрунтового ограждения вокруг колонки в пределах 0,5-3,5м;  $d_k$  - диаметр замораживающей колонки- 0,1 м;  $\lambda_p$  - коэффициент теплопроводности тампонажного раствора в замораживающей колонке 0,7-1,5 ккал/м час град;  $d_{от}$  - диаметр обсадной трубы- 0,14 м.

Результаты ряда расчётов при наилучшем сочетании исходных данных приведены в таблице

Анализ полученных данных показал, что заметное влияние обсадной колонны с тампонажным раствором на перепад температур в колонке оказывает в начальный период замораживания. Как видно из таблицы перепад температур колеблется в пределах 3,5-2,0 градуса в первый период замораживания (что составляет 16-10% от температуры замораживания), в дальнейшем стабилизируется и колеблется в пределах 1,5-0,5 градусов (7-3% от проектной температуры рассола).

### Заключение

Анализ результатов расчёта показывает, что наличие в замораживающей скважине обсадной трубы с тампонажным раствором приводит к потере температур в колонке в среднем на величину равную 9-10% от проектной температуры замораживания, и, как следствие, к увеличению мощности замораживающей станции и сроков замораживания при создании ледогрунтового ограждения проектных размеров.

Для снижения мощности замораживающей станции и сроков замораживания, особенно при строительстве горизонтальных выработок, целесообразен отказ от применения такой технологии замораживания.

В таких случаях необходимо переходить к иным технологическим решениям. Одним из путей снижения производительности замораживающей станции и времени замораживания является использование технологии замораживания с использованием завинчивающихся замораживающих колонок [1], которые были успешно испытаны и апробированы в МГГУ на экспериментальном полигоне.

Как показал анализ проведенных экспериментов, внедрение в практику городского подземного строительства такой технологии позволит прокладывать замораживающие колонки без трудоёмкого и дорогостоящего способа бурения с применением обсадных труб. Кроме того, такая технология позволит сократить сроки монтажа колонок и времени замораживания, позволит уве-

личить теплоотдачу между колонкой и грунтом; а также её использование даст возможность снизить затраты на электроэнергию и на мате-

риалы, в связи с возможностью выкручивания колонки и дальнейшего ее применения.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчак А.В., Никитушкин А. А., Никитушкин Р. А., Шуплик М.Н. Устройство для замораживания грунтов при строительстве подземных сооружений Патент на полезную модель №84869 от 17 марта 2009 года. **ПАТЕНТ**

#### Коротко об авторах

*Шуплик М.Н.* - профессор, доктор технических наук. кафедра строительства подземных сооружений и шахт.

*Никитушкин Р.А.* – аспирант, кафедра строительства подземных сооружений и шахт. Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru



---

#### ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ

**Гибадуллин З.Р.** - директор Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК»,  
e-mail: oit.sfugok@mail.ru

Формирование стратегии развития производственных процессов подземного рудника (на примере Сибайского филиала Учалинского ГОКа): Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). — 2010. — № 12. — 32 с.— М.: Издательство «Горная книга»

*Дано обоснование разработки методики формирования стратегии развития производственных процессов подземного рудника, обеспечивающей непрерывное повышение эффективности и безопасности производства. Предназначен для заинтересованных в повышении эффективности своей производственной деятельности руководителей и специалистов предприятий, региональных производственных объединений, управляющих компаний.*

*Ключевые слова: совершенствование; производственный процесс; стратегия развития; методика.*

**Gibadullin Z.R.** THE FORMULATION OF STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF PRODUCTION PROCESSES AT THE UNDERGROUND ORE MINE ON THE EXAMPLE OF SIBAYSKIY BRANCH OF JOINT STOCK COMPANY "UCHALINSKIY MINING AND CONCENTRATION COMPLEX")

*The feasibility study on the development of the method for formulation of strategy for the development of production processes at the underground ore mines is carried out. The strategy provides a stable increase of effectiveness and safety of production. The study may be useful for those who are particularly interested in productivity increase: managers and professionals at mining enterprises, regional production associations, and management companies.*