

Для радарного уровнемера необходимо создать условия, чтобы прибор четко различал заполнена выносная камера или нет. Решением данной задачи служит новый коаксиальный зонд радарного уровнемера 5300. Достоинством данного волновода в отсутствии верхней мертвой зоны, зоны нечувствительности является возможность производить измерения практически по всей высоте резервуара (рис. 5).

Уровнемер 5300 отслеживает два сигнала: первый (синяя стрелка) на границе раздела воздух-углеводороды и второй (фиолетовая стрелка) на границе раздела углеводороды-вода. В зависимости от степени заполнения выносной камеры продуктом производится компенсация замедления распространения радиоволн в углеводородах.

Как видно на рис. 5, уровнемер показывает уровень углеводородов при 100% заполнении выносной камеры. При этом значение уровня раздела сред составляет 0%. В качестве дополнения можно увидеть смещенный сигнал от «конца» волновода отрицательной полярности. При уменьшении уровня в вы-

носной камере на 200 мм появляется значение уровня газовой фазы и при этом значение уровня раздела сред не изменяется и составляет 0% (рис. 6).

Дальнейшее дренирование углеводородов также не оказывает никакого воздействия на измерение уровня раздела сред рис. 7. Вплоть до полного осушения выносной камеры рис. 8.

Волноводные радарные уровнемеры 5300 в комплекте с коаксиальным зондом успешно решают задачи достоверного измерения уровня в применениях с разделом сред, где возможно появление газовой фазы. А специализированное программное обеспечение компании Эмерсон позволяет легко оценить работу уровнемеров, а также состояние измеряемой среды.

#### Список литературы

1. Кузнецов О.А. Автоматический контроль уровня раздела сред. М. -Л.: «Энергия». 1964. - 88 с.
2. Bolton W. Instrumentation and Control Systems. Elsevier Science & Technology Books. 2004.

*Ротчев Константин Владимирович — ведущий инженер ООО "КИНЕФ".  
Контактный телефон +7 (812) 315-18-23.*

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

**А.И. Потапов, А.И. Шихов, Е.Н. Дунаева (Санкт-Петербургский горный институт)**

*Показано влияние температуры на свойства вечномерзлых грунтов. Рассмотрены методы и средства, используемые при температурном контроле вечномерзлых грунтов. Отмечено, что проблема мониторинга вечномерзлых грунтов на сегодняшний день не решена в полном объеме.*

*Ключевые слова: вечномерзлые грунты, температурный контроль, криолитозона, термометрическая скважина, логгер, термометрическая коса.*

#### Введение

Большая часть горнодобывающих и перерабатывающих предприятий России находится в зоне распространения вечномерзлых грунтов. Основная часть наземных зданий и сооружений в условиях крайнего севера возводится по I принципу строительства<sup>1</sup>. Обязательным условием при этом является контроль температуры вечномерзлых грунтов, на протяжении всех этапов строительства и службы сооружения.

За последние 20 лет число аварий на горных предприятиях, связанных с оттаиванием и деградацией вечномерзлых грунтов, резко увеличилось. Связано это с повышением температуры воздуха. По прогнозам, приведенным в [1], уже к середине XXI века температура воздуха в области распространения криолитозоны может возрасти на 3...4 °С, а температура на грунтов — на 1...2 °С. Кроме природного фактора на деградацию вечномерзлых грунтов также оказывает влияние техногенный фактор. Изменение температуры криолитозоны является главным фактором, влияющим на устойчивость зданий и сооружений.

На рис. 1 и 2 приведены данные об изменении температуры грунтов и глубины сезонного протаивания за последние 40 лет.

Все физико-механические свойства вечномерзлых грунтов зависят от их температуры [2]. Величина температуры влияет на количество незамерзшей воды, прочность и сжимаемость вечномерзлых грунтов.

При отрицательной температуре не вся вода в вечномерзлых грунтах замерзает. С повышением температуры количество незамерзшей воды растет. Наиболее значительные изменения количества незамерзшей воды в вечномерзлых грунтах происходят при температуре 0...-5 °С в области значительных фазовых переходов [2]. Количество незамерзшей воды значительно влияет на прочность и сжимаемость вечномерзлых грунтов.

На основе температурных показателей вечномерзлые грунты могут подразделяться по сжимаемости. Отметим, что переход от твердомерзлых грунтов к пластичномерзлым грунтам возможен при изменении температура на 0,1 °С.

<sup>1</sup> Согласно СП 25.13330.2102 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», I принцип строительства подразумевает сохранение мерзлого состояния грунтов как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации сооружения.

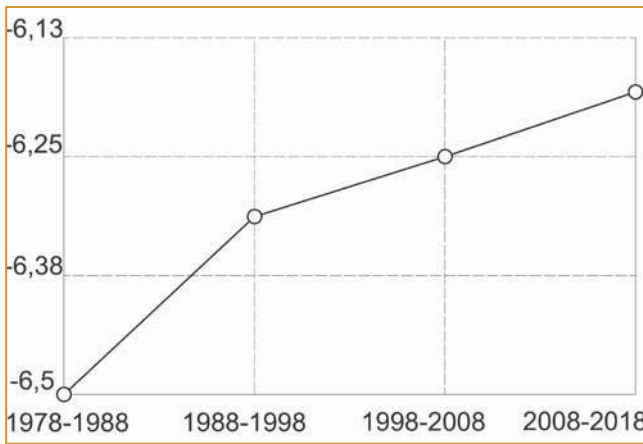


Рис. 1. График изменения температуры вечномерзлых грунтов на глубине 10 м. По вертикале – температура грунтов, °C; по горизонтали – отчетный период времени

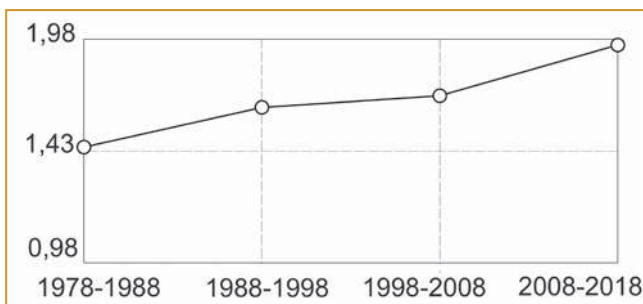


Рис. 2. График изменения глубины сезонного протаивания грунтов. По вертикале – глубина протаивания, м; по горизонтали – отчетный период времени, г.

Согласно СП 25.13330.2102 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», при проектировании инженерных сооружений используют значения предельно-длительной прочности вечномерзлого грунта, определяемой экспериментально в каждом отдельном случае. Значения предельно-длительной прочности значительно меньше мгновенной прочности. Разница между значениями может быть кратна 10. Разница между мгновенной и предельно-длительной прочностью в большой степени зависит от температуры вечномерзлого грунта.

Таким образом, для успешного проектирования и безаварийной эксплуатации инженерных сооружений в условиях криолитозоны необходима разработка новых и совершенствование уже существующих методов и средств по контролю температурного режима вечномерзлых грунтов.

Рассмотрим основной метод и несколько вариантов приборов, используемых для контроля температуры вечномерзлых грунтов.

### Термометрическая скважина

При геотехническом мониторинге температуры вечномерзлых грунтов используют термометрические скважины. С их помощью по полученным температурным данным определяют глубину сезонного промерзания и физико-механические свойства вечномерзлых грунтов.

Производство работ по установке термометрической скважины выглядит следующим образом. С отметки ноль (дневная поверхность) бурится направляющая скважина, глубина которой чуть больше установленной глубины сезонного оттаивания. Затем в скважину устанавливают металлическую трубу – кондуктор. Кондуктор предназначен для защиты скважины от повреждений, для этого его выводят выше нулевой отметки. Также кондуктор предназначен для перекрытия водоносного горизонта. После установки кондуктора бурят основную скважину. Она имеет значительно меньший диаметр по сравнению с направляющей скважиной. Затем в пробуренную скважину, устанавливают трубу со специальным наконечником в виде конуса. Пространство между кондуктором и трубой засыпают песком или выполняют обратную засыпку грунтом. После заполнения межтрубного пространства материал засыпки стараются максимально уплотнить. Также верхнюю часть межтрубного пространства нередко заполняют минеральной ватой. Кондуктор закрывают специальной плотной крышкой для защиты скважины от попадания атмосферных осадков, посторонних предметов, а также для исключения влияния теплых масс воздуха с поверхности. Схематическая конструкция термометрической скважины представлена на рис. 3.

Для проведения замеров термометрическую скважину оснащают термометрической косой и логгером, которые подвешиваются в скважине с помощью специального элемента крепления, присоединяемого к защитной крышке кондуктора.

Термометрическая коса представляет собой гирлянду термометрических датчиков, соединенных между собой гибким кабелем, оснащенную разъемом для подключения логгера, и помещенную в пыле-гидроизоляционную оболочку. Технические характеристики термометрических кос должны соответствовать ГОСТ 25358-2012 «Методы полевого определения температуры». Мониторинг температурных показателей грунтов может вестись как автономно, получая данные в ходе сбора информации с USB носителя за какой-то промежуток времени, так и оперативно, получая данные непосредственно у скважины после проведения измерений. Автономный

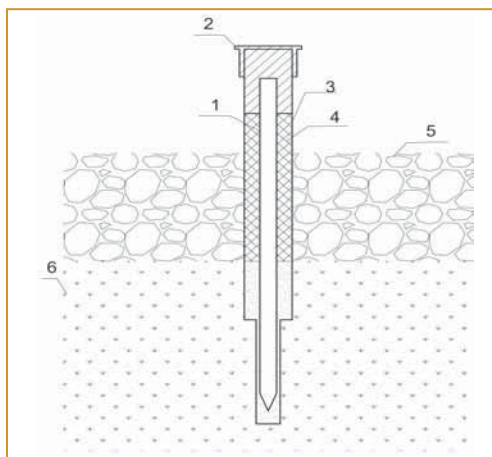


Рис. 3. Конструкция термометрической скважины, где 1 – трубка с наконечником; 2 – крышка кондуктора (оголовок); 3 – кондуктор; 4 – минеральная вата; 5 – слой сезонного протаивания грунтов; 6 – вечномерзлые грунты

**Требования к генератору Технические характеристики термометрической косы МЦДТ 1201**

Время поисков подключенных датчиков, с..... $\leq 6$   
 Время сохранения результатов измерения в память контроллера, с..... $\leq 3$   
 Число одновременно подключаемых датчиков, ед. .... 1...100  
 Разрешающая способность индикации, °С .....0,01  
 Средняя наработка до отказа, ч .....35 тыс.

**Технические характеристики логгера**

Период проведения измерений, ч .....1...99  
 Время непрерывной работы без замены элемента питания, лет ..... $\geq 3$   
 Число датчиков в термодосе, ед. ....1...100  
 Суточный ход часов в нормальных условиях, с/сут .....  $\pm 10$   
 Средняя наработка до отказа, ч .....35 тыс.

мониторинг обычно ведется в труднодоступных и удаленных местах. Возможен также и непрерывный контроль температурных показателей вечномерзлых грунтов. В зависимости от поставленных задач выбирается тип оборудования для выполнения мониторинга.

Для проведения единичных — оперативных замеров температуры, применяют термометрическую косу МЦДТ 0922. Соединительный кабель термометрической косы МЦДТ 0922 имеет маленькую тепловую инерцию, что позволяет сохранить гибкость кабеля при использовании его в отрицательном диапазоне температур. При размещении в нескольких термометрических скважинах десяти термометрических кос проведения полного цикла измерений занимает  $\leq 30$  мин. В зависимости от типа температурного мониторинга — автономный или оперативный применяемые логгеры также могут быть различными.

Термометрическую косу МЦДТ 1201 используют при проведении автономного температурного контроля вечномерзлых грунтов. Логгер подключается к термометрической косе и помещается непосредственно в скважину на весь срок эксплуатации. Комплект оборудования термометрической скважины для проведения автономного мониторинга может эксплуатироваться несколько лет.

Сбор температурных данных, полученных от датчиков термометрической косы, ведется с установленной периодичностью и сохраняется во встроенной памяти логгера. Во время обхода скважин специалистом по мониторингу встроенный в логгер флеш-накопитель извлекается, данные с него передаются на ПК, после чего флеш-накопитель устанавливают

Таблица 1. Технические характеристики термометрических кос.

| Характеристика  | МЦДТ 0922          | МЦДТ 1201          |
|---|--------------------|--------------------|
| Рабочий диапазон измеряемых температур, °С                | -50...100          | -50...100          |
| Допускаемая абсолютная погрешность, °С                    | $\leq 0,1$         | $\leq 0,1$         |
| Время термической реакции, с                              | $\leq 25$          | $\leq 20$          |
| Материал защитной арматуры измерительных преобразователей | Сталь<br>12X18H10T | Сталь<br>12X18H10T |
| Вид климатического исполнения по ГОСТ 15150-69            | У1,У3,Т1,Т3        | У1,У3,Т1,Т3        |
| Средняя наработка до отказа, ч                            | $\geq 80000$       | $\geq 60000$       |
| Число измерительных преобразователей, ед.                 | 3...250            | 3...100            |
| Общая длина, м  | 0,6...120          | 1,5...40           |

обратно в логгер. Логгер подключается к термометрической косе и помещается обратно в термометрическую скважину. Для целей автономного мониторинга температуры вечномерзлых грунтов широко применяется логгер ЛЦД-1/100.

В случае оперативного мониторинга роль логгера выполняет контроллер, например ПКЦД-1/100, который не устанавливают в термометрическую скважину вместе с термометрической косой. С помощью контроллера собирают температурные данные с каждой скважины, подключая его к термометрической косе непосредственно перед замером температуры. Полученные данные сохраняются контроллером и могут быть переданы на ПК посредством связи с ним по USB кабелю.

Для проведения непрерывного контроля температуры вечномерзлых грунтов, служащих основаниями для инженерных сооружений, применяется, например, система СТМ ПО [1].

Существует достаточное число аналогов и модификаций, рассмотренных выше комплектов оборудования. Некоторые из них представлены в [3, 4].

**Заключение**

Рассмотрен метод контроля температуры вечномерзлых грунтов с помощью термометрических скважин. Приведены примеры комплектов оборудования и систем, которые в настоящее время часто применяются в производственных условиях. Однако на сегодняшний день полностью решить проблему мониторинга вечномерзлых грунтов пока не удастся. Свидетельством тому могут служить участвовавшие аварийные ситуации, связанные с оттаиванием вечномерзлых грунтов и последующей потерей ими несущей способности.

**Список литературы**

1. Кропачев Д.Ю., Гаврилов И.И. Способ мониторинга температуры в вечномерзлых грунтах // Инженерная защита. 2015. №9.
2. Мангушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И. Механика грунтов. М.: издательство АСВ. 2009.
3. Неделько А.Ю. Автономный логгер температуры вечномерзлых грунтов // Компетентность. 2013. №3.
4. Амосова Е.В., Кропачев Д.Ю., Паздерин Д.С. Система мониторинга температур протяженных объектов в вечномерзлых грунтах // Экспозиция нефть газ. 2011. №6.

**Потапов Анатолий Иванович** — д-р техн. наук, проф., **Шихов Александр Игоревич** — аспирант, **Дунаева Евгения Николаевна** — аспирант Санкт-петербургского горного института, E-mail: apot@mail.ru shihov-gol@mail.ru evgenia-dynaeva@mail.ru