

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ
НЕПРЕРЫВНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ,
РАСПОЛОЖЕННЫХ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ
ИЛИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ
МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

В.Н. Пугач, инженер 1 категории
АО «Научно-производственное предприятие «Эталон», г. Омск, Россия
fgup@omsketalon.ru

Приводится описание разработки АО «НПП «Эталон» по автоматизированным системам мониторинга температур протяженных объектов, которые предназначены для полевого определения температуры грунтов согласно ГОСТ 25358-2012. Внедрение разработанных технических решений позволяет повысить точность измерений и надежность, упростить существующие системы мониторинга температур, расширить области их применения.

В Российской Федерации общая площадь вечномерзлых грунтов составляет около 63% территории. На этой территории существует и развивается почти весь газодобывающий комплекс, значительная часть нефтедобычи, добыча цветных металлов, золота и алмазов; проходят газо- и нефтепроводы, железные и автомобильные дороги; расположены города и поселки с аэродромами и другой инфраструктурой. Многолетнемерзлые основания при приложении тепловых и механических нагрузок оказываются неустойчивыми при техногенном воздействии. Считавшиеся ранее твердомерзлыми грунты переходят в пластичномерзлое состояние, изменяется их водный режим, появляются таликовые зоны, увеличиваются глубина сезонно-талого слоя, идет процесс техногенного обводнения и засоления, активизируются опасные криогенные процессы [1].

Природные условия Севера и один из самых уязвимых его элементов — вечная мерзлота — чутко реагируют на техногенные воздействия, которые вызывают изменения в экологической ситуации и геотехнической безопасности, что приводит к возникновению ряда негативных последствий.

Деградация мерзлоты вызывает массовые деформации зданий и сооружений в городах Севера. Деформации нефте-, газо- и продуктопроводов, а также различных производств (особенно химических и металлургических) приведут к колоссальным выбросам загрязнителей в окружающую среду. Просадки и провалы полотна автомобильных и железных дорог, деформация аэродромных покрытий подорвут транспортное единство.

Проблема вечномерзлых грунтов, используемых в качестве оснований зданий и сооружений, является комплексом сложных проблем строительства на Севере в течение долгих лет практики возведения сооружений.

Для предотвращения рисков возникновения негативных последствий (деформаций зданий и сооружений) и затрат на их ремонт и восстановление, необходимо вести постоянный геотехнический мониторинг и внедрять различные методы обеспечения эксплуатационной надежности объектов на всех стадиях жизненного цикла сооружений [2].

Залогом успешного проектирования и эксплуатации объектов в северо-восточной части РФ является разработка и промышленное применение новых адекватных технических

решений по контролю и управлению температурным режимом грунтов оснований различных сооружений.

Для этих целей АО «НПП «Эталон» разработало автоматизированные системы мониторинга температур протяженных объектов, которые предназначены для полевого определения температуры грунтов согласно ГОСТ 25358-2012. Внедрение разработанных технических решений позволяет повысить точность измерений и надежность, упростить существующие системы мониторинга температур, расширить области их применения [3].

Архитектура разработанных измерительных систем очень гибкая и позволяет в зависимости от поставленной задачи осуществлять оперативный, автономный или непрерывный мониторинг температуры грунта под основаниями зданий и сооружений, вдоль земляного полотна железных дорог, тем самым обеспечивая работоспособность и безопасность функционирования объектов в условиях вечной мерзлоты.

Область применения температурного мониторинга протяженных объектов достаточно широка. Туда относится нефтяная и газовая промышленность, а именно - мониторинг тепловых потерь нефтепроводов и газопроводов; мониторинг распределения температуры в резервуарах с неагрессивными жидкостями. В строительной отрасли это - мониторинг распределения температуры оснований зданий на вечномерзлых грунтах. Добавим сюда дорожное строительство, объекты теплоэнергетики и метеорологию. В геофизике системы температурного мониторинга необходимы для отслеживания температуры грунта на значительной площади, в том числе в термометрических скважинах.

Для **автоматизированного сбора данных** разработан и запущен в производство шкаф сбора и передачи данных ШСПД (рис.1) (Декларация о соответствии требованиям ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования», ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств»).

Устройство предназначено для автоматизированного сбора данных измерений температуры и других физических величин с контроллеров цифровых датчиков стационарных типа СКЦД по интерфейсу RS-485 и логгеров цифровых датчиков типа ЛЦД по радиоканалу с заданной периодичностью и передачи данных на сервер с последующей обработкой на ПК с помощью программного обеспечения «ГеоМет» (рис. 2).



Рис. 1. Шкаф сбора и передачи данных ШСПД и термокоса МЦДТ 0922.

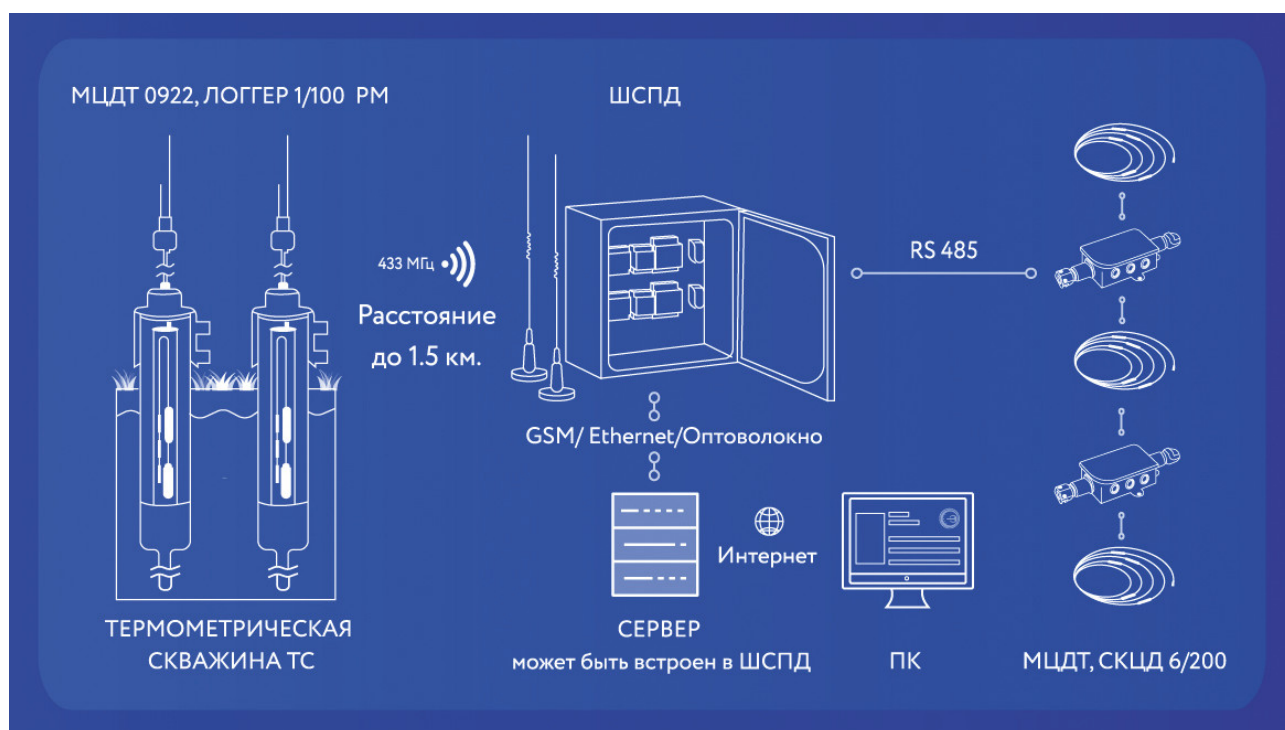


Рисунок 2. Конфигурация автоматизированной системы температурного мониторинга грунтов.

В зависимости от варианта исполнения ШСПД передача данных потребителю может быть осуществлена:

1. ШСПД-Е/О - по Ethernet или оптоволоконной сети на внешний сервер;
2. ШСПД-Е/О-С - по Ethernet или оптоволоконной сети на ПК со встроенного в ШСПД сервера;
3. ШСПД-GSM - по GSM-связи на внешний сервер.

ШСПД с заданным интервалом собирает данные измерений со всех СКЦД, подключенных по интерфейсу RS-485 и логов по радиоканалу, и передает их на единый сервер по GSM или Ethernet. Доступ для работы с данными осуществляется только для зарегистрированных пользователей через программное обеспечение “GeoMet”.

ШСПД относится к радиоэлектронным средствам (РЭС), не подлежащим регистрации (полоса радиочастот 433,075-434,79 МГц, мощность передатчика не более 10 мВт), согласно п. 22 Приложения к перечню РЭС, подлежащих регистрации Постановления Правительства РФ от 12.10.2004 г. № 539.

ШСПД имеет степень защиты от пыли и воды IP65 и оснащен термостатом для подогрева электроники для работы при отрицательных температурах окружающего воздуха до - 60 °С.

Состав систем мониторинга:

- Высокоточные средства измерений, устройства сбора и передачи информации, программное обеспечение.
- Диапазон измерений от минус 50 до 100 °С;
- Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,1^\circ\text{C}$;
- Интервал между поверками 5 лет,
- Маркировка взрывозащиты - POEx ia I Ma X / 0Ex ia IIC T6 Ga X,

- Степень защиты от воды и пыли IP68,
- Кабель с усиленной стальной жилой, разрывная прочность 440Н.

Автоматизированные системы температурного мониторинга производства АО «НПП «Эталон» позволяют проводить в режиме реального времени:

- Измерения значений температуры объектов в различных средах (грунт, вода, воздух);
- Сбор, накопление и хранение результатов температурного мониторинга без ограничений по объему данных;
- Визуализация информации в удобной форме в виде графиков, графическое отображение динамики температуры;
- Сигнализация о приближении значений температуры к критической отметке;
- Автоматизированный, круглосуточный мониторинг. Работа системы возможна в отсутствие связи и электроснабжения.

ВАРИАНТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ

1. Мониторинг температуры в ручном режиме при помощи переносного прибора ПКЦД

Для проведения оперативных замеров используется комплект оборудования, состоящий из контроллера ПКЦД-1/100 и термокосу МЦДТ 0922. ПКЦД-1/100 позволяет устойчиво считывать показания термокосы с интервалом опроса от 10 секунд до 1 часа, а также сохранять информацию об измеренной температуре каждого датчика в термокосе в энергонезависимой памяти прибора.

В данном варианте оператор определяет температуру в текущий момент времени, подключая ПКЦД к МЦДТ. Записанные в ПКЦД данные со всех МЦДТ объекта затем переносятся оператором на ПК. Рис. 3

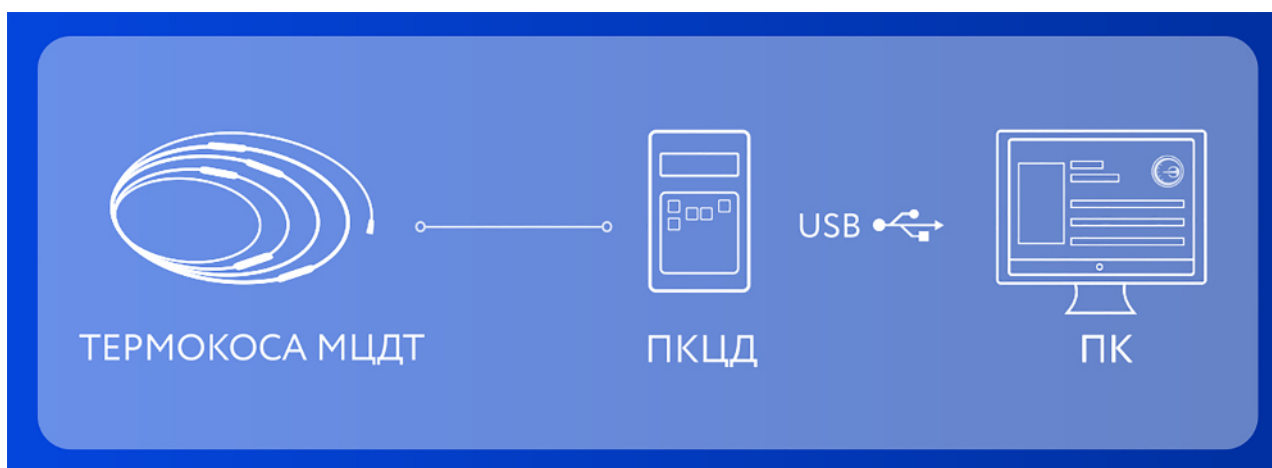


Рисунок 3. Мониторинг температуры в ручном режиме при помощи переносного прибора ПКЦД.

2. Мониторинг температуры в ручном режиме при помощи логгера с USB выходом

Для проведения автономных замеров температурных полей удаленных и труднодоступных объектов (термометрических скважин) используется комплект оборудования, состоящий из логгеров ЛЦД-2-USB и термокосы МЦДТ 0922 или МЦДТ 1201.

При таком варианте логгер ЛЦД-2-USB совместно с термокосой МЦДТ размещается в термометрической скважине ниже уровня земли и работает автономно в течение нескольких лет, осуществляет периодические измерения температуры, сохраняет результаты измерений в собственной памяти. Записанные в ЛЦД-2-USB данные «считываются» оператором при непосредственном подключении ЛЦД-2-USB к ПК. Рис.4

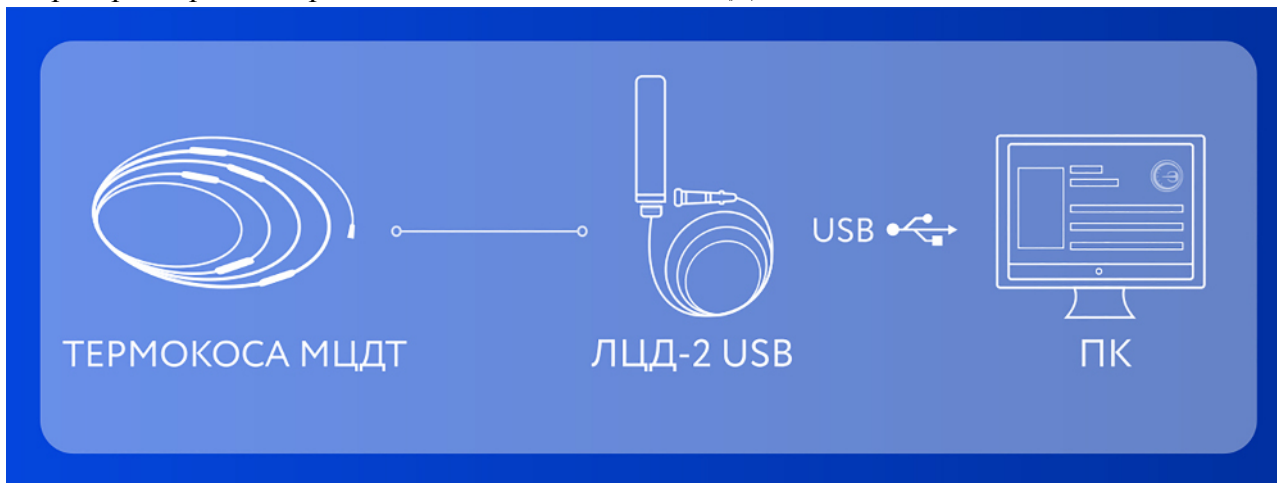


Рисунок 4. Мониторинг температуры в ручном режиме при помощи логгера с USB выходом.

3. Мониторинг температуры в ручном режиме при помощи логгера с радиоканалом ЛЦД-2-RM

При таком варианте ЛЦД-2-RM размещается с МЦДТ в скважине, осуществляет периодические измерения температуры, сохраняет результаты измерений в собственной памяти. По запросу оператора записанные в ЛЦД-2-RM данные передаются по радиоканалу непосредственно на ноутбук или ПКЦД-2 с последующей передачей на ПК через USB. Рис 5.

ЛЦД-2-RM обеспечивает передачу данных по радиоканалу 434 МГц на расстояние до 1 км.



Рисунок 5. Мониторинг температуры в ручном режиме при помощи логгера с радиоканалом ЛЦД-2-RM

Разработана первая версия ПО для чтения данных с радиологгеров при помощи смартфона с операционной системой Android. Рис. 6



Рисунок 6. ПО для чтения данных с радиологгеров при помощи смартфона с операционной системой Android

В настоящее время ПО позволяет:

- + подключиться к радиологгеру при помощи переходника USB-PM;
- + считать с него данные в файл;
- + перенести этот файл на ПК;
- + прочитать из него данные при помощи ПО Viper.

4. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД-2-GSM

ЛЦД-2-GSM размещается с МЦДТ в скважине и подключается к антенне, находящейся снаружи скважины, осуществляет периодическое считывание температуры, сохраняет результаты измерений во встроенной памяти. Данные с логгера передаются на удаленный сервер посредством GSM-связи, с последующей обработкой их на ПК с помощью ПО «ГеоМет». Рис. 7. Таким образом, данный вариант не требует дополнительного оборудования для передачи данных и выездов к месту установки логгеров. Отличительными особенностями ЛЦД-2 по сравнению с ЛЦД-1/100 являются: увеличенная емкость элементов питания и, соответственно, увеличенный срок автономной работы, так же увеличен объем встроенной памяти для хранения измерений с МЦДТ, кроме этого ЛЦД-2 получил степень защиты от пыли и воды IP68.



Рисунок 7. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД-2-GSM

При комплектации и обустройстве термометрической скважины необходимо учесть, чтобы длина соединительного кабеля l_k (расстояние от первого датчика до разъема) термокосы МЦДТ 0922 могла обеспечить расположение логгера ЛЦД на глубине 0,5...2 м от поверхности грунта. Это обеспечит комфортные условия работы для логгера даже при критических отрицательных температурах.

5. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД-2-LoRa

ЛЦД-2-LoRa размещается с МЦДТ в скважине и подключается к антенне, находящейся снаружи скважины, осуществляет периодическое считывание температуры, сохраняет результаты измерений во встроенную память. Данные с логгера передаются на сервер через шлюзы сети LoRaWAN, с последующей обработкой их на ПК с помощью ПО «ГеоМет». Рис.8.



Рисунок 8. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД-2-LoRa.

6. Стационарный вариант мониторинга температуры с проводной передачей данных

Для решения задач непрерывного мониторинга температуры и оповещения об ее критических изменениях под зданиями и сооружениями, рекомендуется использовать систему, представляющую собой совокупность контроллеров СКЦД-6/200 с использованием линии связи RS-485, и термокосы МЦДТ 0922 и (или) МЦДТ 1201.

СКЦД соединяются в одну линию и подключаются к ПК через устройство распределительное USB/RS-485. Данные с заданной периодичностью считываются и сохраняются во встроенной памяти СКЦД или сразу передаются на ПК в режиме реального времени для дальнейшей обработки в программе «Viper». К каждому СКЦД можно подключить до шести МЦДТ. Рис. 9



Рисунок 9. Стационарный вариант мониторинга температуры с проводной передачей данных при помощи контроллеров СКЦД-6/200.

7. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи стационарного контроллера СКЦД

В данном варианте все подключенные к ШСПД СКЦД-6/200 передают данные со всех подключенных к ним МЦДТ через установленный операторов (вШСПД) промежуток времени. Данные передаются в ШСПД в режиме реального времени. Данные с ШСПД поступают на сервер для последующей обработки на ПК при помощи ПО «ГеоМет». В зависимости от варианта исполнения передача данных потребителю может быть осуществлена по Ethernet, оптоволоконной сети или GSM-связи на внешний сервер. Рис. 10



Рисунок 10. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи стационарного контроллера СКЦД.

8. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД2-РМ

В данном варианте логгеры ЛЦД2-РМ передают результаты измерений на ШСПД по радиоканалу с заданной периодичностью. Данные с ШСПД поступают на сервер для последующей обработки на ПК при помощи ПО «ГеоМет». В зависимости от варианта исполнения передача данных потребителю может быть осуществлена по Ethernet, оптоволоконной сети или GSM-связи на внешний сервер.



Рисунок 11. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД2-РМ

Для удобства установки термокос и логгеров на объектах производителем выпускаются дополнительные аксессуары обустройства термометрических скважин.

Это оголовки термометрических скважин ОТС 0922 и ООТ 0922, предназначены для защиты скважины от попадания атмосферных осадков и от актов вандализма, элементы крепления ЭК 0922, предназначены для установки (подвешивания) термокосы МЦДТ 0922 и логгера ЛЦД-1/100 на заданную глубину в термометрической скважине и др.

Для примера приведем несколько вариантов обустройства термометрических скважин.

1. Классическая термометрическая скважина с логгером ЛЦД2-USB

Комплектность:

- Элемент крепления ЭК 0922-XX
- Оголовок ОТС 0922-XX
- Термометрическая скважина (ТС)
- МЦДТ 0922
- Логгер ЛЦД2-USB

2. Классическая термометрическая скважина с обсадной трубой и логгером ЛЦД2-USB

Комплектность:

- Элемент крепления ЭК 0922-XX
- Оголовок ООТ 0922-XX
- Теплоизоляция
- Термометрическая скважина (ТС)

- МЦДТ 0922
- Логгер ЛЦД-2-USB

Отличается от классической тем, что между обсадной трубой и самой термометрической скважиной есть наличие теплоизоляции, позволяющей более достоверно измерять температуру на малой глубине в скважине от 0 до 3 м из-за того, что колебание температуры окружающей среды оказывает меньшее влияние на малых глубинах.

3. Термометрическая скважина с радиологгером ЛЦД-1/100-PM

Комплектность:

- Элемент крепления ЭК 0922-XX
- Оголовок ООТ 0922-XX
- Теплоизоляция
- Термометрическая скважина (ТС)
- МЦДТ 0922
- Логгер ЛЦД-1/100-PM

Отличается от второго тем, что вместо логгера с SD картой устанавливается антенна и радиологгер ЛЦД-1/100-PM, позволяющий без вскрытия скважины считывать накопленные данные на расстоянии от 3 км. до термометрической скважины.

Продукция АО «НПП «Эталон» внесена в Государственный реестр средств измерений, имеет сертификаты соответствия для работы во взрывоопасных средах, маркировка взрывозащиты PO Ex ia I Ma X/0Ex ia IIC T6 Ga X.

Опыт применения систем мониторинга температуры.

Для контроля и управления температурным режимом грунтов системы ГТМ производства АО «НПП «Эталон» успешно внедрены на различных участках и объектах РФ:

- + Тындинская мерзлотная станция центра ИССО ОАО «РЖД» на БАМе;
- + Железнодорожная станция Обская, г. Лабытнанги (ЯНАО);
- + ООО «Газпром добыча Надым», объекты:
- + ДКС ГП-6 Медвежьего НГКМ;
- + Дожимная компрессорная станция Юбилейного НГКМ;
- + Кусты газовых скважин Бованенковского НГКМ;
- + Участок газопровода Бованенково -Ухта;
- + Омолонская Золоторудная компания:
- + Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, территория Колымской низменности;
- + Площадка Северо-Восточной научной станции Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН и многие другие объекты нефтегазовой отрасли;
- + Объекты ПАО «Газпром нефть» на Бованенковском НГКМ, 2023 г.

Опыт применения оборудования подробно описывался в предыдущих статьях нашего предприятия.

В октябре 2012 г. совместно со специалистами Мерзлотной станции Центра ИССО АО РЖД в скважины установлены логгеры ЛЦД-1/100-СД и термокосы МЦДТ 0922 на объекте земляного полотна «Км 2339» перегона Курьян-Тында.

Анализ работы системы показал высокую точность и надежность приборов, получена качественно новая информация о температурном режиме объекта земляного полотна. По результатам температурного мониторинга были выполнены определённые практические мероприятия по предотвращению деформаций насыпи.

В мае 2014 г. установлены в опытную эксплуатацию логгеры ЛЦД-1/100-РМ, позволяющие уже без извлечения самих логгеров из скважин получать информацию о температурных режимах грунтов по беспроводной связи. Устойчивая работа по передаче данных с логгеров на ноутбук с помощью радиомодема (дальность связи) осуществлялась на расстоянии 1500 метров.

Аналогичная система температурного мониторинга установлена на поворотном круге станции Обская ООО «ГазпромТранс», г. Лабитнанги в октябре 2014 г.

Начиная с 2014 года, специалистами службы геотехнического мониторинга инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Надым» применяется термометрическое оборудование производства АО «НПП «Эталон» в составе термокос МЦДТ 0922, логгеров ЛЦД-1/100 РМ, а также контроллеров портативных ПКЦД – 1/100 для контроля температуры грунтов оснований объектов газопромысловой инфраструктуры.

В заключении отметим следующее:

– системы мониторинга температуры являются необходимыми составляющими как для эксплуатируемых объектов, так и для проведения новых изысканий в области строительства и стабилизации вечномерзлых грунтов;

– разработанная автоматизированная система позволяет удаленно производить сбор данных с систем температурного мониторинга грунтов, без необходимости выезжать на объект, что значительно повышает эффективность работы с системами температурного мониторинга грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корниенко С.Г. Изучение и мониторинг мерзлых грунтов с использованием данных космической съемки // Материалы 11-й Всероссийской научно-практической конференции «Геоинформатика в нефтегазовой отрасли».

2. Минкин Марк Строительство нефтегазовых объектов на Севере // Материалы семинара «Вопросы проектирования фундаментов на особых грунтах. Новые геотехнические конструкции и методы их расчетов», 2010.

3. Никоненко В.А., Кропачев Д.Ю., Сиротюк В.В., Иванов Е.В., Мониторинг температуры на транспортных объектах в регионах с сезонно промерзающими и многолетнемерзлыми грунтами / Приборы — Москва: Союз общественных объединений "Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов", 2015. Выпуск 9 (183). - с. 7-13.

АО «НПП «Эталон»
г. Омск, ул. Лермонтова, 175
тел. (3812), 36-79-18, 36-94-53
www.omsketalon.ru
E-mail: fgup@omsketalon.ru

