

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

ПУГАЧ ВАДИМ НИКОЛАЕВИЧ

Инженер I категории
АО «НПП «Эталон», г. Омск, Россия
fgup@omsketalon.ru

АННОТАЦИЯ

В статье приводится описание разработки АО «НПП «Эталон» автоматизированных систем полевого мониторинга температур грунтов согласно ГОСТ 25358-2012 вдоль протяженных объектов. Внедрение разработанных технических решений позволяет повысить точность и надежность измерений, упростить существующие системы мониторинга температур, расширить области их применения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

температура грунтов; мониторинг температуры; автоматизированная система; автоматизированный сбор данных; термометрическая скважина.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Пугач В.Н. Автоматизированные системы мониторинга температуры многолетнемерзлых грунтов // Геоинфо. 2023. Т. 5. № 9/10. С. 30–36
doi:10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-30-36

AUTOMATED SYSTEMS FOR MONITORING THE TEMPERATURE OF PERMAFROST SOILS

PUGACH VADIM N.

First category engineer at
AO NPP "Etalon" ("Scientific and
Production Enterprise "Etalon" JSC),
Omsk, Russia
fgup@omsketalon.ru

ABSTRACT

The article describes the development of automated systems for field monitoring of soil temperatures in accordance with GOST 25358-2012 along extended objects by AO NPP "Etalon" ("Scientific and Production Enterprise "Etalon" JSC). The implementation of the developed technical solutions makes it possible to increase the accuracy and reliability of measurements, to simplify the existing temperature monitoring systems, and to expand the fields of application of them.

KEYWORDS:

temperature of grounds; temperature monitoring; automated system; automated data acquisition; thermometric borehole.

FOR CITATION:

Pugach V.N. Avtomatizirovannyye sistemy monitoringa temperatury mnogoletnemerzlykh gruntov [Automated systems for monitoring the temperature of permafrost soils] // *GeoInfo*. 2023. T. 5. № 9/10. S. 30–36 doi:10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-30–36 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

В Российской Федерации общая площадь многолетнемерзлых грунтов составляет около 63% территории. Там 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 техногенном воздействии (приложении тепловых и механических нагрузок) оказываются неустойчивыми. Грунты, считавшиеся ранее твердомерзлыми, переходят в пластичномерзлое состояние, изменяется их водный режим, появляются таликовые зоны, увеличивается 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 – многолетняя 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 повреждения зданий и сооружений в городах Севера. Деформации нефте-, газо- и продуктопроводов,

а также объектов различных производств (особенно химических и металлургических) приведут к колоссальным выбросам загрязнителей в окружающую среду. Просадки и провалы полотна автомобильных и железных дорог, деформации аэродромных покрытий подорвут транспортное единство.

Проблема многолетнемерзлых 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 протяжен-

ных объектов, которые предназначены для полевого определения температуры грунтов согласно ГОСТ 25358-2012. Внедрение разработанных технических решений позволяет повысить точность и надежность измерений, 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 или вдоль земляного полотна железных дорог, тем самым обеспечивая работоспособность и безопасность функционирования объектов в условиях многолетней 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 многолетнемерзлых грунтах. Добавим сюда дорожное строительство, объекты теплоэнергетики и метеорологию. В геофизике системы



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

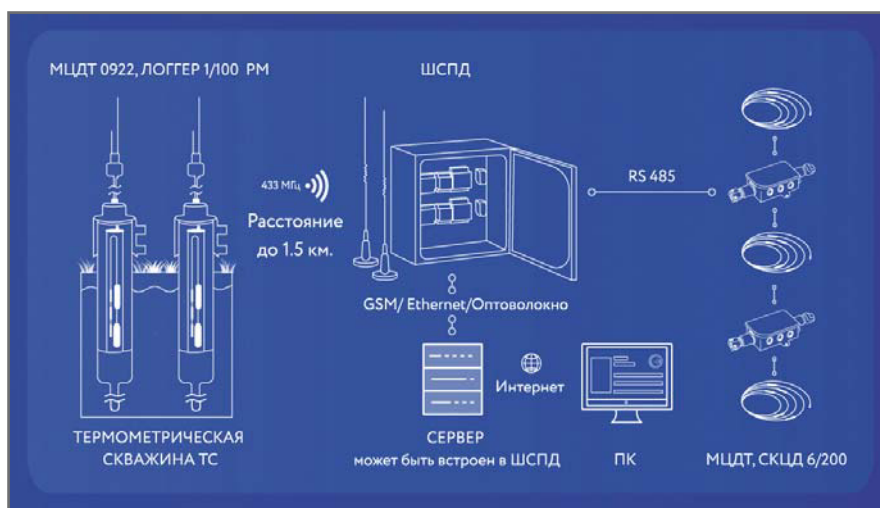


Рис. 2. Конфигурация автоматизированной системы температурного мониторинга грунтов

температурного мониторинга необходимы для отслеживания температуры грунта на значительной площади, в том числе в термометрических скважинах.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СБОР ДАННЫХ ►

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

Это устройство предназначено для автоматизированного сбора данных изме-

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

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

- 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 логгеров 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 «ГеоМет».

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 № 539.

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

СОСТАВ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ►

Системы мониторинга характеризуются наличием:

- высокоточных средств измерений;
- устройств сбора и передачи информации;
- программного обеспечения;
- диапазона измерений от минус 50 до плюс 100°C;
- пределов допустимой абсолютной погрешности плюс-минус 0,1°C;
- необходимого интервала между поверками 5 лет;
- маркировки взрывозащиты POEx ia I Ma X / 0Ex ia IIC T6 Ga X;
- степени защиты от воды и пыли IP68;
- кабеля с усиленной стальной жилой с разрывной прочностью 440Н.

ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВА

АО «НПП «ЭТАЛОН» ►

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

- измерения температуры объектов в различных средах (в грунте, воде, воздухе);
- сбор, накопление и хранение результатов температурного мониторинга без ограничений по объему данных;



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



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



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

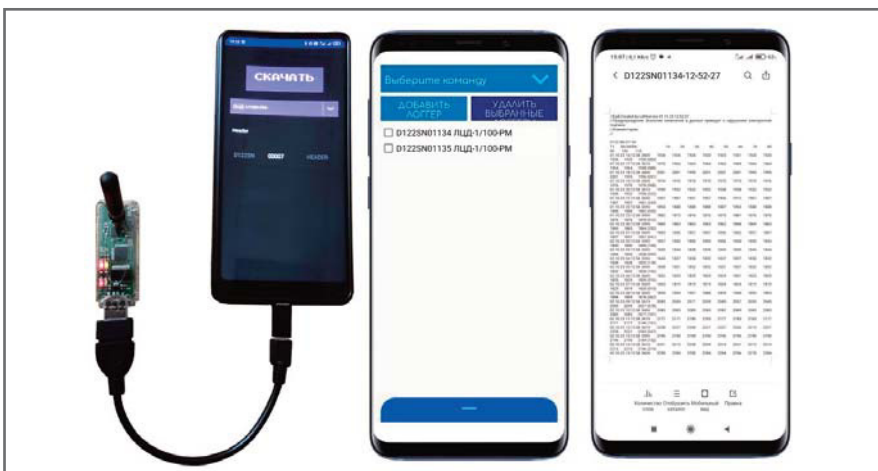


Рис. 6. Программное обеспечение для чтения данных с радиологгеров при помощи смартфона с операционной системой Android

- визуализацию информации в удобной форме в виде графиков, графическое отображение динамики температуры;
- включение сигнализации о приближении значений температуры к критической отметке;

- автоматизированный круглосуточный мониторинг (работа системы возможна даже в отсутствие связи и электроснабжения).

ВАРИАНТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ▶

Мониторинг температуры в ручном режиме при помощи переносного прибора ПКЦД ▶

Для проведения оперативных замеров используется комплект оборудования, состоящий из контроллера ПКЦД-1/100 и термокосы МЦДТ 0922. ПКЦД-1/100 позволяет устойчиво считывать показания термокос 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 в ПК (рис. 3).

Мониторинг температуры в ручном режиме при помощи логгера с USB-выходом ▶

Для проведения автономных замеров температурных полей удаленных и труднодоступных объектов (например, термометрических скважин) используется комплект оборудования, состоящий из логгеров ЛЦД-2-USB и термокос 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).

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 ра-



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



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



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

диоканалу непосредственно на ноутбук или ПКЦД-2 с последующей передачей на ПК через USB (рис. 5). ЛЦД-2-RM обеспечивает передачу данных по радиоканалу 433 МГц на расстояние до 1 км.

Уже разработана первая версия программного обеспечения для чтения данных с радиологгеров при помощи смартфона с операционной системой Android (рис. 6).

В настоящее время ПО позволяет:
подключиться к радиологгеру при помощи переходника USB-RM;
• считать с него данные в файл;
• перенести этот файл на ПК;
• узнать из него данные при помощи ПО Viper.

Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД-2-GSM ▶

Логгер 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. Также увеличен объем встроенной памяти для хранения результатов измерений с МЦДТ. Кроме этого ЛЦД-2 получил степень защиты от пыли и воды IP68.

При комплектации и обустройстве термометрической скважины необходи-

мо учесть следующее. Длина соединительного кабеля l_k (расстояние от первого датчика до разъема) термокосы МЦДТ 0922 должна 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.

Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД-2-LoRa ▶

Логгер 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).

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

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 применением линии связи RS-485 и термокос 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).

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 оператором (в ШСПД) 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 испол-

нения передача данных потребителю может быть осуществлена по Ethernet, оптоволоконной сети или GSM-связи на внешний сервер (рис. 10).

Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД-2-RM ▶

В данном варианте логгеры ЛЦД-2-RM передают результаты измерений на ШСПД по радиоканалу с заданной периодичностью. Данные с ШСПД поступают на сервер для последующей обработки на ПК при помощи ПО «Гео-Мет» (рис. 11). В зависимости от варианта исполнения передача данных потребителю может быть осуществлена по Ethernet, оптоволоконной сети или GSM-связи на внешний сервер.

Для удобства установки термокос и логгеров на объектах производителем выпускаются дополнительные аксессуары для обустройства термометрических скважин. Это оголовки термометрических скважин ОТС 0922 и ООТ 0922, предназначенные для защиты скважины от попадания в них атмосферных осадков и от актов вандализма, элементы крепления ЭК 0922, предназначенные для установки (подвешивания) термокосы МЦДТ 0922 и логгера ЛЦД-1/100 на заданную глубину в термометрической скважине и др.

ПРИМЕРЫ ВАРИАНТОВ ОБУСТРОЙСТВА ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ СКВАЖИН ▶

Классическая термометрическая скважина с логгером ЛЦД-2-USB ▶

Комплектность классической термометрической скважины с логгером ЛЦД-2-USB:

- элемент крепления ЭК 0922-XX;
- оголовок ОТС 0922-XX;
- МЦДТ 0922;
- логгер ЛЦД-2-USB.

Термометрическая скважина с обсадной трубой и логгером ЛЦД-2-USB ▶

Комплектность термометрической скважины с обсадной трубой и логгером ЛЦД-2-USB:

- элемент крепления ЭК 0922-XX;
- оголовок ООТ 0922-XX;
- теплоизоляция;
- МЦДТ 0922;
- логгер ЛЦД-2-USB.

Этот вариант отличается от предыдущего (классического) тем, что между



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



Рис. 11. Автоматизированный мониторинг температуры при помощи логгера ЛЦД2-RM

обсадной трубой и самой термометрической скважиной есть наличие теплоизоляции, позволяющей более достоверно измерять температуру в скважине на малой глубине (от 0 до 3 м) из-за того, что колебания температуры окружающей среды оказывают меньшее влияние на малых глубинах.

Термометрическая скважина с радиологгером ЛЦД-1/100-PM ▶

Комплектность термометрической скважины с радиологгером ЛЦД-1/100-PM:

- элемент крепления ЭК 0922-XX;
- оголовок ООТ 0922-XX;
- теплоизоляция;
- МЦДТ 0922;
- Логгер ЛЦД-1/100-PM.

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

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ▶

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

- Тындинская мерзлотная станция центра ИССО ОАО «РЖД» на БАМе;
- железнодорожная станция Обская, г. Лабытнанги (ЯНАО);
- объекты ООО «Газпром добыча Надым»: дожимная компрессорная станция (ДКС) ГП-6 Медвежьего НГКМ; ДКС Юбилейного НГКМ; кусты газовых скважин Бованенковского НГКМ; участок газопровода Бованенково – Ухта;
- Омолонская золоторудная компания;
- Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (территория Кольмской низменности);
- площадка Северо-Восточной научной станции Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН;
- объекты ПАО «Газпром нефть» на Бованенковском НГКМ и многие другие объекты нефтегазовой отрасли

Опыт применения оборудования подробно описывался в предыдущих статьях авторов из АО «НПП «Эталон». Например, в статье «Опыт применения систем мониторинга температуры и тепловых потоков вечномерзлых грунтов» в журнале «ГеоИнфо».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ▶

Системы мониторинга температуры являются необходимыми составляющими как для эксплуатируемых объектов, так и для проведения новых инженерных изысканий для строительства и стабилизации многолетнемерзлых грунтов.

Автоматизированные системы мониторинга температуры многолетнемерзлых грунтов разработанные в АО «НПП «Эталон», позволяют удаленно производить сбор данных, полученных такими системами, без необходимости выезда на объекты, что

значительно повышает эффективность работы.

Следует отметить, что продукция АО «НПП «Эталон» внесена в Государственный реестр средств измерений, имеет сертификаты соответствия для работы во взрывоопасных средах,

отмечена маркировкой взрывозащиты PO Ex ia I Ma X/0Ex ia IIC T6 Ga X. Полный каталог продукции, в том числе систем температурного мониторинга мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов, представлен на сайте компании. **И**

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». 2009.
2. Минкин М. 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. М.: Союз общественных объединений «Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов». 2015. № 9 (183). С. 7–13.

REFERENCES ►

1. Korniyenko S.G. Izucheniye i monitoring merzlyh gruntov s ispol'zovaniyem dannyh kosmicheskoy s'emki [Study and monitoring of frozen soils using satellite imagery data] // Materialy 11-i Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Geoinformatika v neftegazovoy otrasli». 2009.
2. Minkin M. Stroitel'stvo neftegazovyh ob'ektov na Severe [Construction of oil and gas facilities in the North] // Materialy seminar «Voprosy proyektirovaniya fundamentov na osobyh gruntah. Novyie geotekhnicheskiye konstruksii i metody ih raschetov». 2010.
3. Nikonenko V.A., Kropachev D.Yu., Sirotyuk V.V., Ivanov E.V., Monitoring temperatury na transportnyh ob'ektah v regionah s sezonno promerzayushchimi i mnogoletnemerzlymi gruntami [Temperature monitoring at transport facilities in regions with seasonally frozen and permafrost soils] // Pribory. M.: Soyuz obshchestvennyh ob"edineniy «Mezhdunarodnoye nauchno-tehnicheskoye obshchestvo priborostroiteley i metrologov». 2015. № 9 (183). S. 7–13.



Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>