



ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

OPERATION EXPERIENCE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF PERMAFROST SOIL TEMPERATURE MONITORING SYSTEMS

УДК 551.341

DOI 10.25296/1997-8650-2017-6-7-135-142

ПУГАЧ В.Н.

Инженер специального конструкторского бюро
АО «НПП «Эталон»», г. Омск, fgup@omsketalon.ru

PUGACH V.N.

Engineer of the Special Design Bureau, "Etalon" JSC research and
production enterprise, Omsk, fgup@omsketalon.ru

ДЕРГАЧЕВ С.В.

Ведущий инженер специального конструкторского бюро
АО «НПП «Эталон»», г. Омск, fgup@omsketalon.ru

DERGACHEV S.V.

Leading engineer of the Special Design Bureau, "Etalon" JSC research
and production enterprise, Omsk, fgup@omsketalon.ru

КРОПАЧЕВ Д.Ю.

Главный инженер АО «НПП «Эталон»», г. Омск,
fgup@omsketalon.ru

KROPACHEV D.YU.

Chief engineer of the "Etalon" JSC research and production enterprise,
Omsk, fgup@omsketalon.ru

МИХАЛЬЧЕНКО Д.И.

Инженер инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча
Надым», г. Надым, Mikhailchenko.DI@nadym-dobycha.gazprom.ru

MIKHALCHENKO D.I.

Engineer of the Engineering-Technical Center, «Gazprom добыча
Nadym» LLC, Nadym, Mikhailchenko.DI@nadym-dobycha.gazprom.ru

Ключевые слова: криолитозона; многолетнемерзлые грунты; многолетние изменения; мониторинг температуры грунтов; система мониторинга; термокоса; контроллер.

Key words: permafrost zone; permafrost soils; long-term changes; soil temperature monitoring; monitoring system; thermistor chain; controller.

Аннотация: в статье рассмотрены приборы, которые позволяют собрать системы для проведения разных вариантов мониторинга температуры многолетнемерзлых грунтов с разными способами передачи данных. Рассмотрен вариант расширения беспроводной сети передачи данных.

Abstract: this paper considers devices that allow assembling systems for various options of permafrost soil temperature monitoring with the use of various methods of data transmission. An extension variant of a wireless data transmission network is considered.

Развитие транспортной инфраструктуры северных регионов Российской Федерации и реализация национальных нефтегазовых проектов XXI века тесным образом связаны с развитием новых крупных центров добычи углеводородного сырья и с формированием новых систем магистрального трубопроводного транспорта газа, конденсата и нефти [4].

Безопасность функционирования объектов железнодорожного и нефтегазового комплекса на территориях распространения многолетнемерзлых грунтов во многом определяется эффективностью систем мониторинга опасных геокриологических процессов, развитие которых связано как с природными факторами, так и с влиянием самих технических объектов. В зависимости от комплекса природных факторов, формирующих геокриологические условия, грунты могут находиться в многолетнемерзлом, сезонно-мерзлом, сезонно-талом, талом и переохлажденном состояниях, а следовательно, обладать различными прочностными и деформационными свойствами.

К числу опасных трансформаций криогенных грунтов относятся: развитие термокарста, термоэрозия, морозное пучение, растепление, заболачивание. Наиболее уязвимыми в этом отношении являются магистральные трубопроводы, поскольку подобные процессы приводят к изменению их положения, деформациям и высокой вероятности возникновения аварийных ситуаций [1].

Также существуют проблемы строительства и эксплуатации зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Проблемы фундаментостроения в районах распространения таких грунтов, в том числе на площадках размещения газопромысловых сооружений, определяются особенностями инженерно-геокриологических условий. Для установления этих особенностей проводят геотехнический мониторинг, в состав которого входят наблюдения за температурным и гидрогеологическим режимом грунтов оснований, несущей способностью и деформациями фундаментов, развитием опасных геологических

процессов и экологической безопасностью прилегающих территорий. На основе результатов мониторинга выполняют прогноз развития геокриологических процессов и разрабатывают управляющие мероприятия для обеспечения надежности оснований и фундаментов инженерных сооружений [2].

Интенсивное потепление климата, начавшееся во второй половине 1960-х — начале 1970-х годов, является дополнительным осложняющим фактором при эксплуатации сооружений в криолитозоне. В настоящее время широкий круг ученых-климатологов и геокриологов отмечает, что за последние 20–25 лет температура воздуха в области криолитозоны повысилась на 0,2–2,5 °С. Увеличение температуры верхних горизонтов мерзлых грунтов за этот период достигает 1,0–1,5 °С и распространяется до глубины 60–80 м.

По различным прогнозам, повышение температуры воздуха на Севере составит 1,0–2,0 °С в первой четверти XXI века и может достичь 3–4 °С к середине столетия. При таком потеплении произойдет существенное сокращение площади сплошной мерзлоты в Северном полушарии и южная граница ее распространения в Западной Сиби-



Рис. 1. Термокоса (МЦДТ 0922) с контроллером (ПКЦД-1/100)

ри может отодвинуться на север на 200–500 км [3].

Изменение теплового баланса многолетнемерзлых грунтов под воздействием инженерных сооружений и глобального потепления климата становится одним из основных факторов, определяющих устойчивость инженерных сооружений.

Деградация мерзлых пород приводит к резким изменениям условий функционирования оснований и фундаментов,

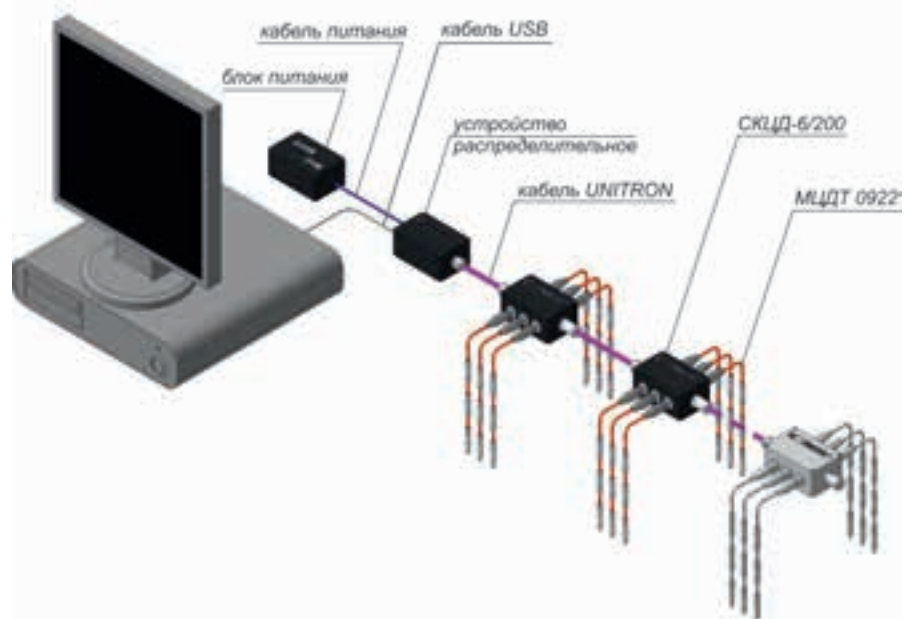


Рис. 2. Схема системы температурного мониторинга протяженных объектов (СТМ ПО)

поскольку прочностные и деформационные свойства грунтов напрямую зависят от температуры.

В результате недостаточного учета особенностей геокриологических условий и их природных и техногенных изменений происходят многочисленные деформации сооружений, иногда даже аварийного характера.

Таким образом, залогом успешного проектирования и эксплуатации объектов в северо-восточной части РФ являются разработка и промышленное применение новых адекватных технических решений по контролю и управлению температурным режимом грунтов оснований различных сооружений.

В связи с этим в АО «НПП «Эталон»» был разработан ряд технических решений по температурному мониторингу грунтов оснований инженерных сооружений.

Разработанные системы мониторинга предназначены для полевого определения температуры грунтов по ГОСТ 25358-2012. Внедрение указанных технических решений позволяет повысить точность и надежность измерений, упростить существующие системы мониторинга температур, расширить области их применения.

В АО «НПП «Эталон»» была предпринята попытка устранить такие недостатки известных систем мониторинга температур, как сложность, дороговизна, низкая точность измерений и слабая герметичность, которые приводят к отказу устройств в условиях промышленного применения.

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

Для проведения оперативных замеров используется комплект оборудования, состоящий из портативного контроллера цифровых датчиков (ПКЦД-1/100) и многозонного цифрового датчика температуры (МЦДТ 0922), представленных на рис. 1. ПКЦД-1/100 позволяет устойчиво считывать показания термодатчика с интервалом опроса от 10 секунд до 1 часа, а также сохранять информацию об измеренной температуре каждого датчика в термодатчике в энергонезависимой памяти прибора.

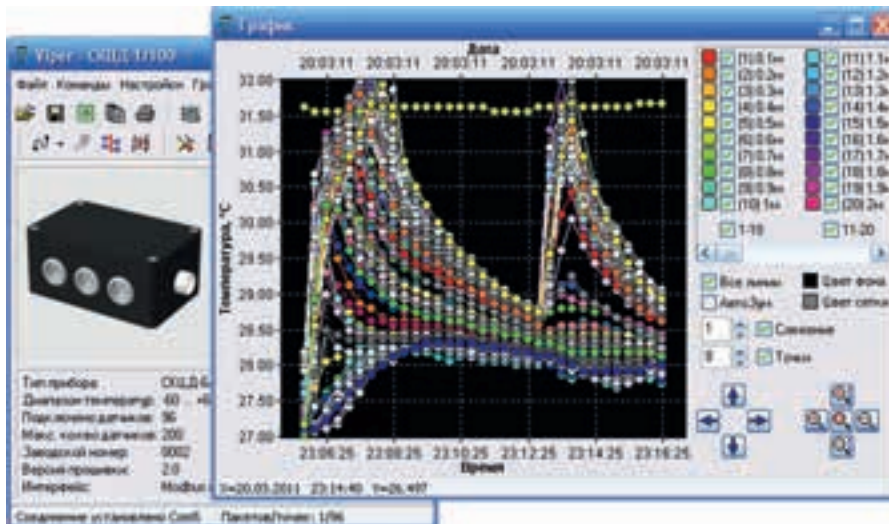


Рис. 3. Пример графического вывода информации об измеряемой температуре на экран ПК



Рис. 4. Логгер цифровых датчиков (ЛЦД-1/100). Размеры указаны в миллиметрах

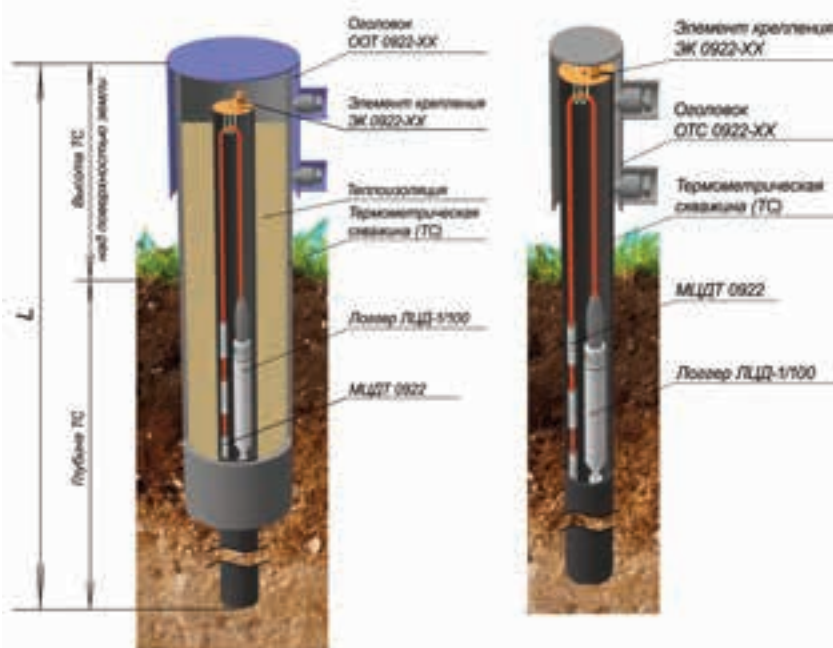


Рис. 5. Варианты размещения автономной системы мониторинга температуры грунтов в скважине



Рис. 6. Логгер с радиомодемом (ЛЦД-1/100-PM)

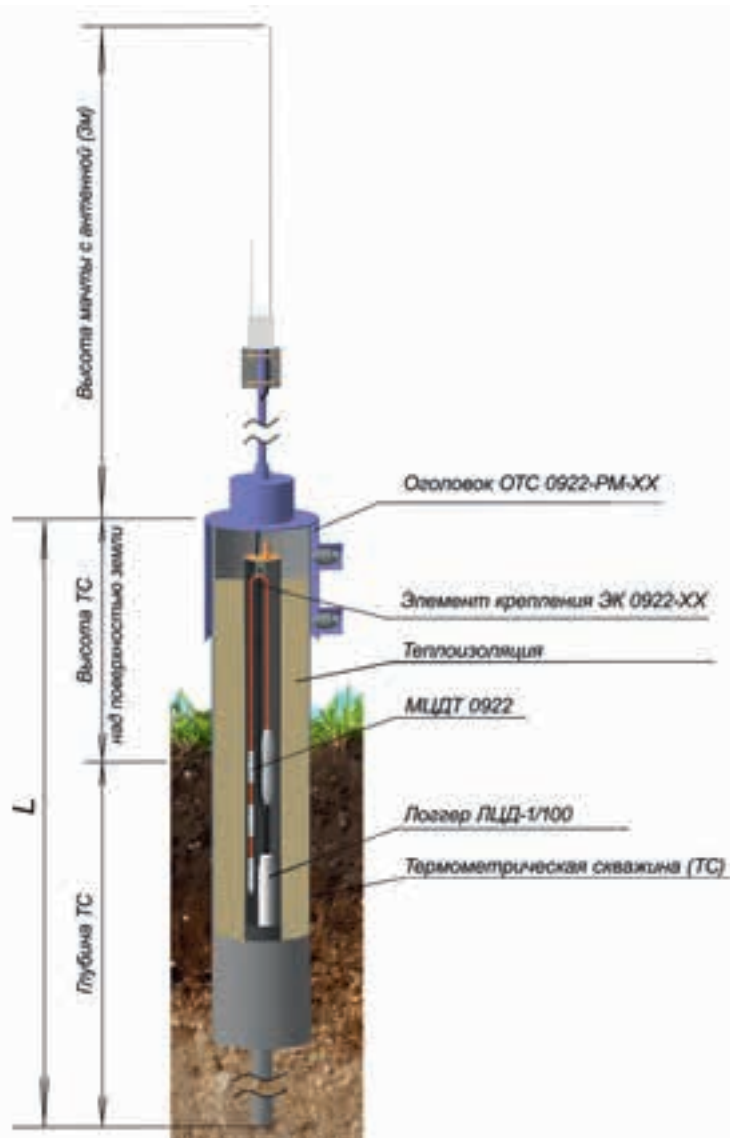


Рис. 7. Вариант установки автономной системы мониторинга температуры грунтов с беспроводной передачей данных

Термокоса представляет собой устройство для многозонного измерения температуры, которое содержит последовательно расположенные измерительные преобразователи (далее — датчики температуры), каждый из которых размещен в от-

дельном защитном металлическом корпусе, и разъем для подключения к контроллеру. Датчики температуры соединены между собой гибким кабелем, преимуществом которого является расширенный диапазон использования термокосы.

Термокоса МЦДТ 0922 обладает малой тепловой инерцией (не более 25 секунд), кабель сохраняет гибкость при эксплуатации даже в условиях отрицательных температур.

МЦДТ 0922 внесен в госреестр средств измерений (регистрационный номер — 64096-16).

Пределы основной погрешности составляют плюс-минус 0,1 °С.

Пользователь может разместить на различных объектах (в термометрических скважинах) несколько десятков термокос и в течение 10–40 минут провести замеры, оценить результаты и сохранить данные термокос о температуре каждого объекта с помощью одного контроллера (ПКЦД-1/100) с последующей передачей и обработкой на персональный компьютер (ПК).

Для решения задач непрерывного мониторинга температуры и оповещения о ее критических изменениях под зданиями и сооружениями рекомендуется использовать систему температурного мониторинга протяженных объектов (СТМ ПО), представляющую собой совокупность стационарных контроллеров цифровых датчиков (СКЦД-6/200), подключенных к распределительному блоку БРИЗ (блоку разветвительно-изолирующему) с использованием линии связи RS-485 и термокос МЦДТ 0922 и/или МЦДТ 1201. К каждому контроллеру можно подключить от одной до шести термокос, содержащих в сумме до 200 датчиков. Схема возможной реализации системы СТМ ПО приведена на рис. 2.

Порядок подключения термокос является произвольным, контроллер сам определяет конфигурацию получившейся системы и проводит сканирование каналов для обнаружения подключения/отключения термокос с интервалом 5 секунд.

Связь между СТМ ПО и компьютером обеспечивается путем подключения БРИЗ к ПК при помощи кабеля последовательного интерфейса для подключения периферийных устройств (USB).

На рисунке 3 представлен пример графического вывода информации об измеряемой температуре грунта на экран ПК, позволяющего в реальном времени отслеживать малейшие изменения температуры и сигнализировать о превышении ею допустимой нормы.

Для проведения автономных замеров температурных полей удаленных и труднодоступных объектов (термометрических скважин) используется комплект оборудования, состоящий из логгера цифровых датчиков (ЛЦД-1/100) (рис. 4) и термокос МЦДТ 0922 или МЦДТ 1201. Логгер совместно с термокосой разме-



Рис. 8. Радиомодем (USB-RM) для передачи результатов измерений температуры на компьютер

щается в термометрической скважине ниже уровня земли (варианты размещения представлены на рис. 5) и работает автономно в течение нескольких лет. Измеренные значения температуры записываются на карту памяти формата MicroSD, расположенную внутри логгера. Сбор данных проводится путем извлечения карты из логгера либо с ее заменой на новую, либо с копированием информации в память ПК в виде архива.

Время непрерывной работы логгера с термокосой без замены элемента питания зависит от количества одновременно подключаемых датчиков и периода проведения измерений. Например, при сохранении результатов измерений, полученных с помощью термокосы из 10 датчиков, два раза в сутки логгер автономно проработает около 10 лет.

Если сбор данных необходимо проводить чаще, но вскрытие термометрической скважины нежелательно или скважина находится в труднодоступном месте, возможно применение логгера с радиомодемом ЛЦД-1/100-PM (рис. 6). Его конструкция схожа с конструкцией логгера с картой памяти SD¹, но имеет одно отличие — второй кабель для подключения антенны.

Логгер с радиомодемом располагается в скважине так же, как и логгер с SD-картой, а к дополнительному кабелю подключается антенна, расположенная снаружи скважины (рис. 7).

Логгер записывает данные измерений во внутреннюю энергонезависимую память. Передача данных на компьютер осуществляется по радиоканалу на расстояние до 1,5 км с помощью радиомодема, подключаемого к ПК (рис. 8) и сервисного программного обеспечения (рис. 9).

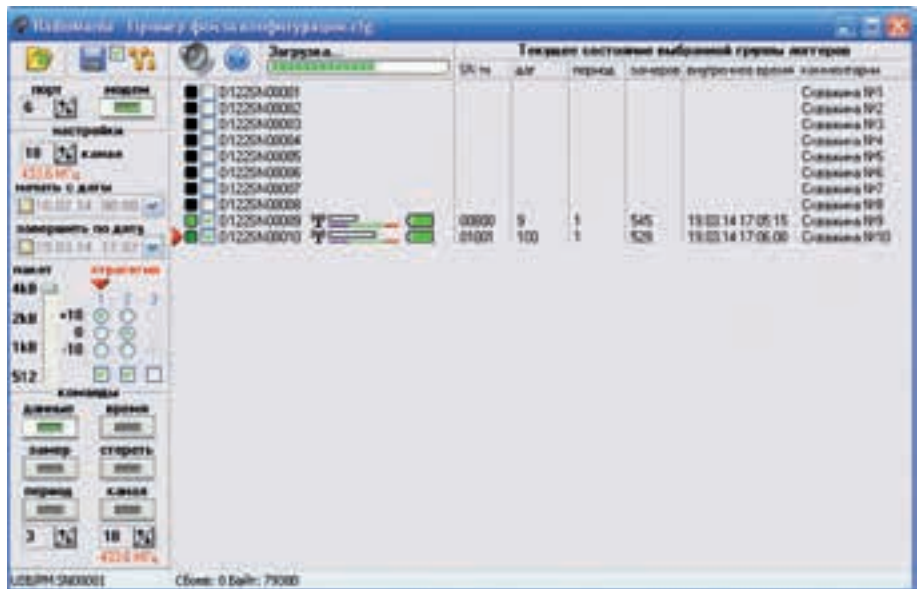


Рис. 9. Сервисное программное обеспечение, используемое для передачи результатов измерений температуры на компьютер

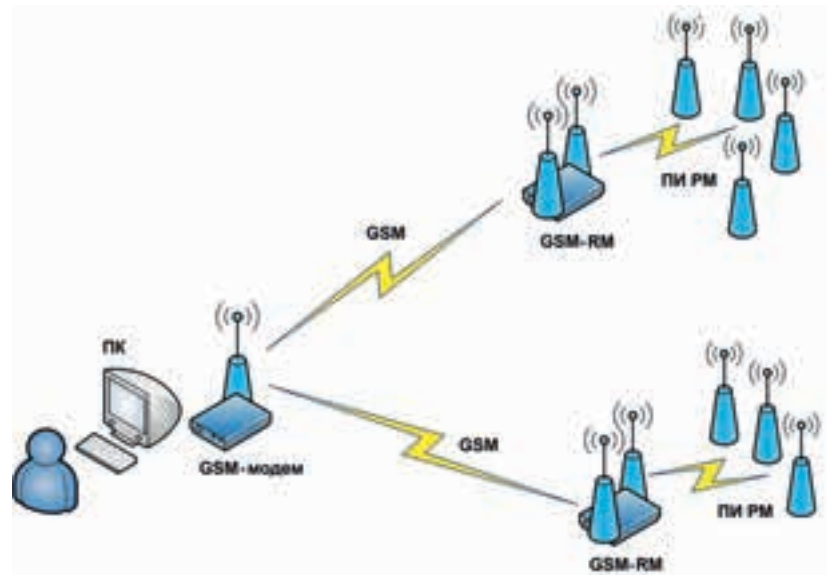


Рис. 10. Структурная схема сети комплектов GSM-модемов (GSM-RM) для сбора данных

Когда комплекты данной системы размещаются на территории нефте- или газодобывающего комплекса, невозможно проводить сбор данных со всех радиологгеров, находясь в одной точке, так как из-за застройки такой территории инженерными сооружениями происходит ухудшение уровня сигналов при их передаче на большие расстояния, и для считывания показаний с логгеров приходится перемещаться по площади комплекса.

Поэтому было принято решение о разработке устройства для удаленного сбора данных с логгеров ЛЦД-1/100-PM. Сбор информации планируется проводить через сеть GSM² при помощи GSM-модемов. Канал передачи данных при этом может быть организован при помощи технологии CSD³. Происходит это следующим образом. На стороне оператора включается GSM-модем и запускается его конфигуратор, в котором задается мобильный номер GSM-

¹ Карта SD (Secure Digital Memory Card) — карта памяти формата, разработанного некоммерческой организацией SDA (SD Association) для использования в портативных устройствах.

² GSM (Groupe Spécial Mobile, позже Global System for Mobile Communications) — мобильные телекоммуникационные системы, использующие глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи с разделением каналов по времени и частоте, разработанный под эгидой Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI) в конце 1980-х годов.

³ CSD (Circuit Switched Data) — технология передачи данных, специально разработанная для стандарта GSM.



Рис. 11. Дожимная компрессорная станция нефтегазоконденсатного месторождения Медвежье



Рис. 12. Дожимная компрессорная станция нефтегазоконденсатного месторождения Юбилейное

модема на стороне сборщика данных (GSM-RM). Затем конфигурактор закрывается и запускается программное обеспечение (ПО) RadioMania. Считы-

вание данных происходит в обычном порядке.

Если необходимо считать данные с другого GSM-RM, то необходимо за-

крыть ПО RadioMania, запустить конфигурактор GSM-модема, задать мобильный номер требуемого GSM-RM, закрыть конфигурактор GSM-модема, запустить ПО RadioMania и считать данные.

Структурная схема сети представлена на рис. 10.

Устройство для сбора данных представляет собой уже известный радиомодем USB/PM с небольшими доработками и подключенным к нему GSM-модемом (комплект GSM/PM).

Преимущества этого решения заключаются в том, что нет необходимости разрабатывать новое оборудование. Для работы с данной сетью используется уже готовое программное обеспечение RadioMania. Нет необходимости разрабатывать GSM-модемы — достаточно приобрести модемы российского производства, которые уже являются сертифицированными.

В качестве примера рассмотрим опыт применения систем мониторинга температуры многолетнемерзлых грунтов в ООО «Газпром добыча Надым» — комплектов, состоящих из термокос МЦДТ 0922, логгеров ЛЦД-1/100 PM и портативных контроллеров ПКЦД-1/100.

Начиная с 2014 года специалистами службы геотехнического мониторинга инженерно-технического центра данной компании применяется термометрическое оборудование производства АО «НПП «Эталон»» для контроля температуры грунтов оснований объектов газопромышленной инфраструктуры.

К настоящему времени на объектах газоконденсатных месторождений ООО «Газпром добыча Надым» (Бованенковского, Юбилейного, Медвежье) используется около 150 комплектов радиоканального термометрического оборудования (в составе термометрических кос МЦДТ и логгеров ЛЦД-1/100 PM) (рис. 11, 12), а также порядка 90 термометрических кос МЦДТ, работающих в режиме периодического опроса с контроллеров ПКЦД.

Специалистами указанной службы отмечены высокая эффективность данного оборудования для решения задач геотехнического мониторинга инженерных сооружений в криолитозоне, удобство и легкость его настройки и высокий уровень развития сопутствующего программного обеспечения.

В процессе мониторинга вырабатываются рекомендации и пожелания по совершенствованию и расширению возможностей оборудования и ПО, в том числе по расширению сети передачи данных (сети радиологгеров) с помощью сети GSM-PM для повышения удобства опроса всех логгеров из одной точки. 🌐

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». М., 2010. URL: <http://devel.center.ru:8881/ipng-web/publications/articles/4011>.
2. *Минкин М.А.* Строительство нефтегазовых объектов на Севере // Материалы семинара «Вопросы проектирования фундаментов на особых грунтах. Новые геотехнические конструкции и методы их расчетов». М., 2010. URL: <http://www.fundamentproekt.ru/publications/pub031.html>.
3. *Павлов А.В., Малкова Г.В.* Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на севере России // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 4. С. 32–39.
4. *Попов А.П., Милованов В.И., Жмулин В.В., Рябов В.А., Бережной М.А.* К вопросу о типовых технических решениях по основаниям и фундаментам для криолитозоны // Инженерная геология. 2008. № 3. С. 22–38.

Review

This paper deals with devices and variants of their systems for permafrost soil temperature monitoring in the territories of oil and gas condensate fields. The authors describe multizone digital temperature sensors (MDTS 0922) making it possible to perform: periodic operational monitoring using portable controllers of digital sensors (PCDS-1/100); real-time continuous monitoring using stationary controllers of digital sensors (SCDS-1/100 and SCDS-6/200); autonomous monitoring using loggers of digital sensors with secure digital memory cards (LDS-1/100 SD) and loggers of digital sensors with radio modems (LDS-1/100 RM). The authors consider an extension variant of a wireless data transmission network with the use of GSM modems. They give an example of the operation of this equipment in the “Gazprom dobycha Nadym” LLC.

The developed temperature monitoring systems are designed for the field determination of soil temperatures in accordance

with GOST 25358-2012 (for frozen, freezing and thawing soils). The implementation of these technical solutions makes it possible to improve the accuracy and reliability of temperature measurements, to simplify the existing temperature monitoring systems, to expand their applications.

The developers of the “Etalon” JSC research and production enterprise attempted to eliminate the disadvantages of the known temperature monitoring systems (complexity, high cost, low accuracy, bad hermeticity).

The architecture of the developed measuring systems is very versatile and makes it possible to perform operational, autonomous or continuous monitoring of soil temperatures under the foundations of buildings and structures, along the roadbeds of railways, etc. in the permafrost zone. This will ensure the operability and safety of functioning of engineering structures in the permafrost conditions. 🌐

Figure captions

- Fig. 1. A thermistor chain (MTsDT 0922) with a controller (PKTsD-1/100).
- Fig. 2. A scheme of a system for temperature monitoring of extended objects (STM PO).
- Fig. 3. An example of graphical display of information on measured temperature values on a PC screen.
- Fig. 4. A logger of digital sensors (LTsD-1/100). Dimensions are pointed out in millimeters.
- Fig. 5. Layout options of an autonomous soil temperature monitoring system in a well.
- Fig. 6. A logger with a radio modem (LTsD-1/100-RM).
- Fig. 7. An option of installation of an autonomous soil temperature monitoring system with wireless data transmission.
- Fig. 8. A radio modem (USB-RM) for transmission of temperature measurement results to a computer.
- Fig. 9. A service software for transmission of temperature measurement results to a computer.
- Fig. 10. A structure chart of a network of GSM modems (GSM-RM) for data acquisition.
- Fig. 11. A boosting compressor station of the Medvezhye oil-and-gas condensate field.
- Fig. 12. A boosting compressor station of the Yubileynoe oil-and-gas condensate field.

References

1. *Kornienko S.G.* Izucheniye i monitoring merzlykh gruntov s ispol'zovaniem dannykh kosmicheskoy s'emki [Study and monitoring of frozen soils with the use of satellite data] // Materialy 11-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Geoinformatika v neftegazovoy otrasli» [Geoinformatics in oil and gas industry: proceedings of the 11-th All-Russian research and practice conference]. M., 2010. URL: <http://devel.center.ru:8881/ipng-web/publications/articles/4011> (Rus.).
2. *Minkin M.A.* Stroitel'stvo neftegazovykh ob'ektov na Severe [Construction of oil and gas objects in the North] // Materialy seminarov «Voprosy proektirovaniya fundamentov na osobykh gruntakh. Novye geotekhnicheskie konstruktсии i metody ikh raschetov» [Design problems of foundations on special soils. New geotechnical structures and methods of calculation of them: proceedings of the seminar]. M., 2010. URL: <http://www.fundamentproekt.ru/publications/pub031.html> (Rus.).
3. *Pavlov A.V., Malkova G.V.* Melkomasshtabnoye kartografirovaniye trendov sovremennykh izmeneniy temperatury gruntov na severe Rossii [Small-scale mapping of the trends of modern changes of the soil temperature in the North of Russia] // Kriosfera Zemli [Cryosphere of the Earth]. 2009. T. 13. № 4. S. 32–39 (Rus.).

4. *Popov A.P., Milovanov V.I., Zhmulin V.V., Ryabov V.A., Berezhnoy M.A.* К вопросу о типовых технических решениях по основаниям и фундаментам для криолитозоны [On the question of typical technical solutions on foundation engineering for the permafrost zone] // *Inzhenernaya geologiya [Engineering Geology]*. 2008. № 3. С. 22–38 (Rus.).

Настоятельно НЕ РЕКОМЕНДУЮ покупать термокосы производства НПП «Эталон» (г. Омск). Мы приобрели у этого производителя термокосы на несколько миллионов рублей для измерения температуры грунтов на испытательном полигоне термосифонов на Чайндинском НГКМ (там установлено около 50 термосифонов российских, китайских и американских производителей). У меня вызывает явные отрицательные эмоции выход из строя термокос НПП «Эталон». Остаются крайне неприятные впечатления от общения с представителями этой компании ПОСЛЕ того, как вы заплатили им деньги и пытаетесь добиться соблюдения гарантийных обязательств. До продажи — самое лучшее впечатление, после продажи — все наоборот. Не повторяйте нашу ошибку — не покупайте термокосы у НПП «Эталон», покупайте у любого другого производителя (в России около десяти компаний производят термокосы).

*М.И. Богданов,
генеральный директор
ООО «Институт геотехники
и инженерных изысканий
в строительстве»*