

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

### EXPERIENCE OF OPERATION AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE MONITORING SYSTEMS OF THE TEMPERATURE OF THE ETERNAL FROZEN SOILS

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены различные приборы, которые позволяют собрать комплексы с разными вариантами мониторинга температуры грунтов и разными способами передачи данных. Рассмотрен вариант расширения беспроводной сети передачи данных.

*Ключевые слова:* криолитозона, многолетние изменения, мониторинг, температура грунтов, тренд, термокоса, контроллер, система.

#### **Abstract:**

This article considers various devices that allow assembling kits with different options for monitoring soil temperatures and different methods of data transmission. Considered the option of expanding the wireless data network.

*Key words:* permafrost, long-term changes, monitoring, soil temperature, trend, multizonal gage, controller, system.

Развитие транспортной инфраструктуры северных регионов РФ 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 [1].

Безопасность функционирования объектов железнодорожного и нефтегазового комплекса на территориях распространения многолетнемерзлых пород 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 многолетне- и сезонномерзлом, сезонноталом, талом и переохлажденном состояниях, а, следовательно, обладать различными прочностными и деформационными свойствами. К числу опасных трансформаций криогенных грунтов относятся: образование 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 аварийной ситуации [2].

Также существуют проблемы строительства и эксплуатации зданий, сооружений на вечномерзлых грунтах. Проблемы фундаментостроения в районах распространения вечномерзлых грунтов определяются особенностями инженерно-геокриологических условий площадок размещения газопромысловых сооружений. 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 прилегающей территории, прогноз развития геокриологических процессов, а также разработка управляющих мероприятий, позволяющих обеспечивать надежность оснований и фундаментов сооружений [3].

Интенсивное потепление климата, начавшееся во второй половине 1960-х – начале 1970-х гг., является дополнительным осложняющим фактором при эксплуатации инженерных 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. Повышение температуры верхних горизонтов мерзлых пород за этот период достигает 1,0-1,5 °С и распространяется до глубины 60-80 м. По различным оценкам прогнозируемое повышение температуры воздуха на Севере в первой четверти XXI в. составит 1,0-2,0 °С и может достичь 3-4 °С к середине столетия. При таком потеплении климата произойдет существенное сокращение площади сплошных мерзлых пород в Северном полушарии и южная граница их распространения в Западной Сибири может отодвинуться на север на 200-500 км [4].

Можно сделать вывод, что изменение теплового баланса многолетнемерзлых пород 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, 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 является разработка и промышленное применение новых адекватных технических решений по контролю и управлению температурным режимом грунтов оснований различных сооружений.

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

Разработанные системы мониторинга температур предназначены для полевого определения температуры грунтов по ГОСТ 25358-82, где требуется получить данные о температуре мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов. Внедрение технических решений позволяет повысить точность измерений и надежность, упростить существующие системы мониторинга температур, расширить области их применения.

Разработчики АО НПП «Эталон» предприняли попытку устранить недостатки известных систем мониторинга температур, таких как: сложность, дороговизна, низкая точность измерений и слабая герметичность, которые приводят к отказу устройств в условиях промышленной применяемости.

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 и т.д., тем самым обеспечивая работоспособность и безопасность функционирования объектов в условиях вечной мерзлоты.

**Для проведения оперативных замеров** используется комплект оборудования состоящий из контроллера ПКЦД-1/100 и термокосы МЦДТ 0922, представленных на рисунке 1. 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 термокосу в энергонезависимую память прибора. Термокоса представляет собой устройство для многозонного измерения температуры, которое содержит последовательно расположенные измерительные преобразователи (далее назовем – датчики температуры), каждый из которых размещен в отдельном защитном металлическом корпусе, и разъем для подключения к контроллеру. Датчики температуры соединены между собой гибким кабелем, преимуществом которого является возможность расширенного диапазона использования термокосы.

Термокоса МЦДТ 0922 обладает малой тепловой инерцией, кабель сохраняет гибкость при эксплуатации даже в условиях отрицательных температур.



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

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

Для решения задач непрерывного мониторинга температуры и оповещения об ее критических изменениях под зданиями и сооружениями, рекомендуется использовать систему СТМ ПО, представляющую собой совокупность контроллеров СКЦД-6/200, подключенных к распределительному блоку БРИЗ 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 суммарно до 200 датчиков. Схема возможной реализации системы СТМ ПО приведена на рисунке 2.

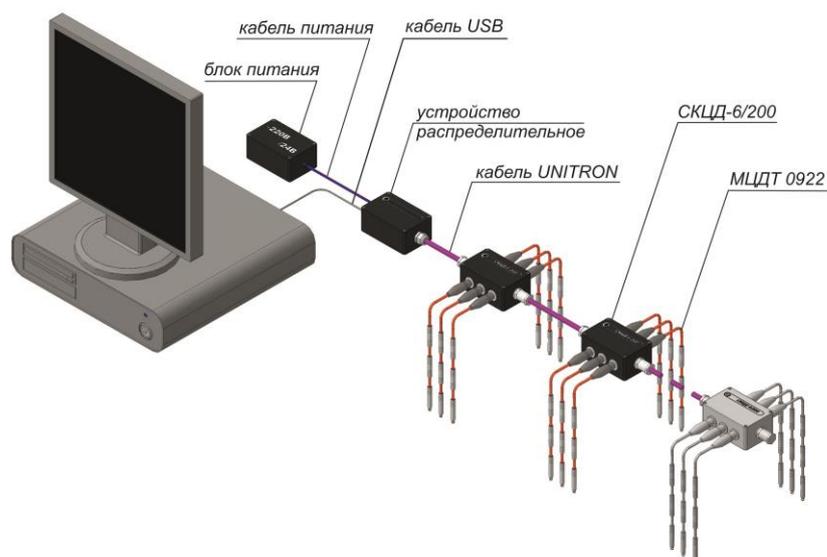


Рис. 2 – Схема реализации СТМ ПО

Порядок подключения термокос произвольный, 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 интерфейсного USB.

На рисунке 3 представлен пример графика вывода информации об измеряемой температуре на ПК, позволяющий в реальном времени отслеживать малейшие изменения температуры и сигнализировать, если ее величина превысила допустимую норму.

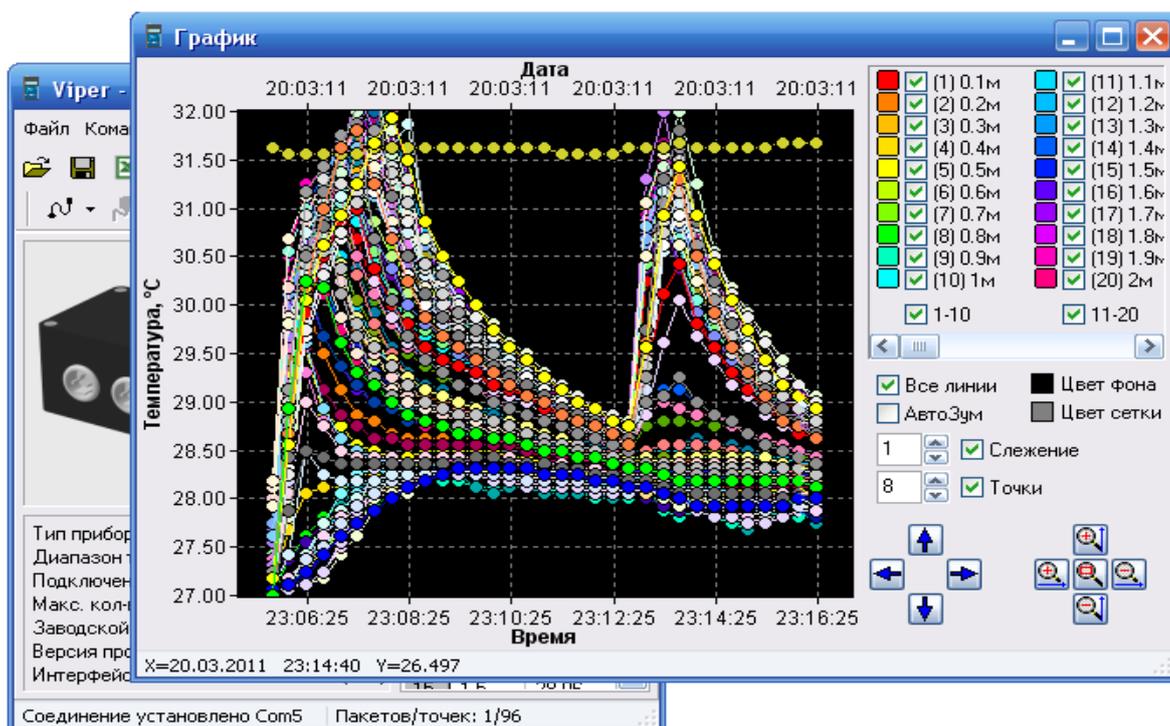


Рис. 3 – График вывода информации об измеряемой температуре на ПК

Для проведения автономных замеров температурных полей удаленных и труднодоступных объектов (термометрических скважин) используется комплект оборудования, состоящий из логгера ЛЦД-1/100 (рис. 4) и термокос МЦДТ 0922 или МЦДТ 1201. Логгер совместно с термокосой размещается в термометрической скважине ниже уровня земли и работает автономно в течение нескольких лет.



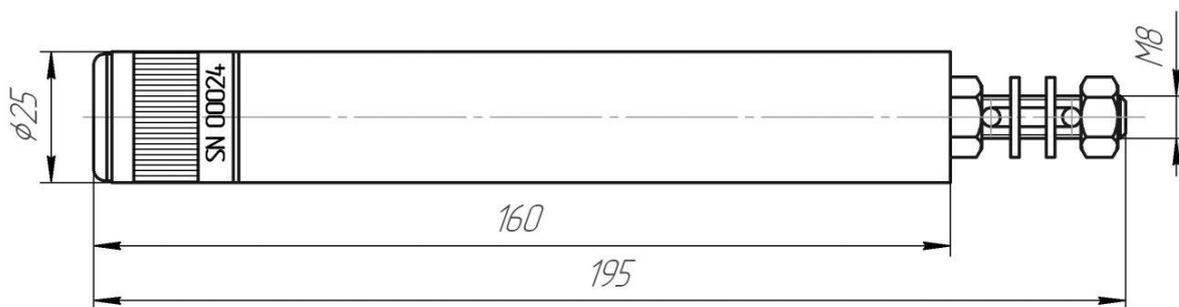


Рис. 4 – Логгер ЛЦД-1/100

Варианты размещения данной системы в термометрической скважине представлен на рисунке 5. Измеренные значения температуры с термокосы записываются на карту памяти формата MicroSD, расположенную внутри логгера. Сбор данных проводится путем извлечения карты из логгера, либо ее заменой на новую, либо копированием файла с данными на 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 измерений два раза в сутки с термокосы, состоящей из 10 датчиков, логгер автономно без замены питания проработает около 10 лет.

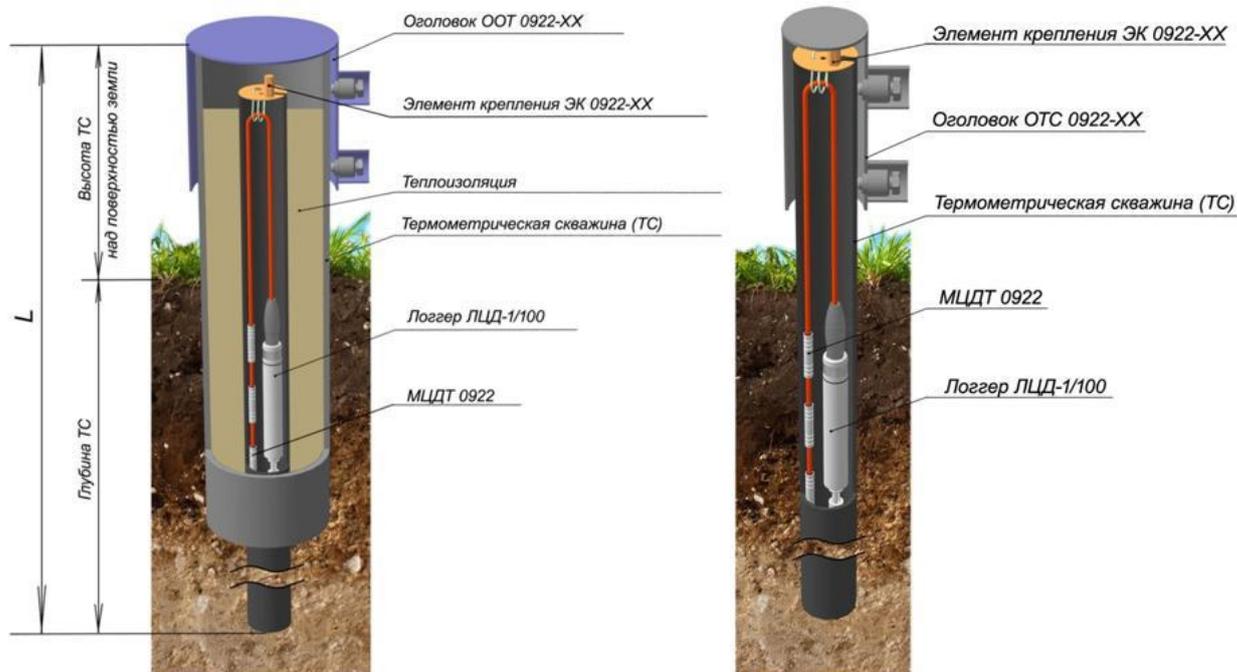


Рис. 5 – Варианты размещения автономной системы в скважине

В случаях когда сбор данных необходимо проводить чаще, но вскрытие термометрической скважины не желательно или скважина находится в трудно доступном месте, возможно применять логгер с радиомодемом ЛЦД-1/100-PM (рис. 6).



Рис. 6 - Логгер с радиоканалом ЛЦД-1\100-PM

Конструкция данного логгера схожа с конструкцией логгера с SD картой, имея единственное 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).

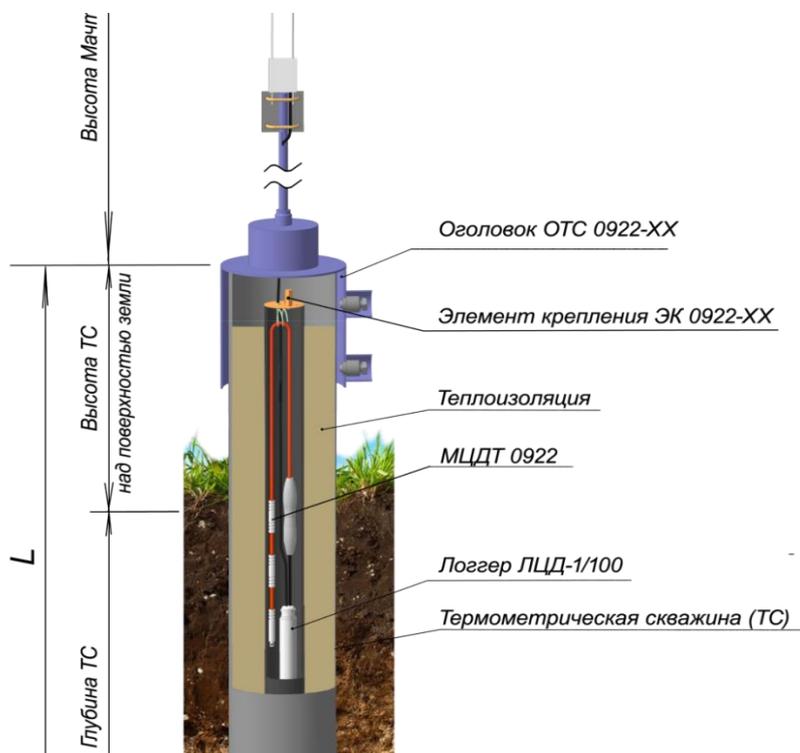


Рис. 7 – Вариант установки автономной системы с беспроводной передачей данных

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



Рис. 8 – Радиомодем USB/PM

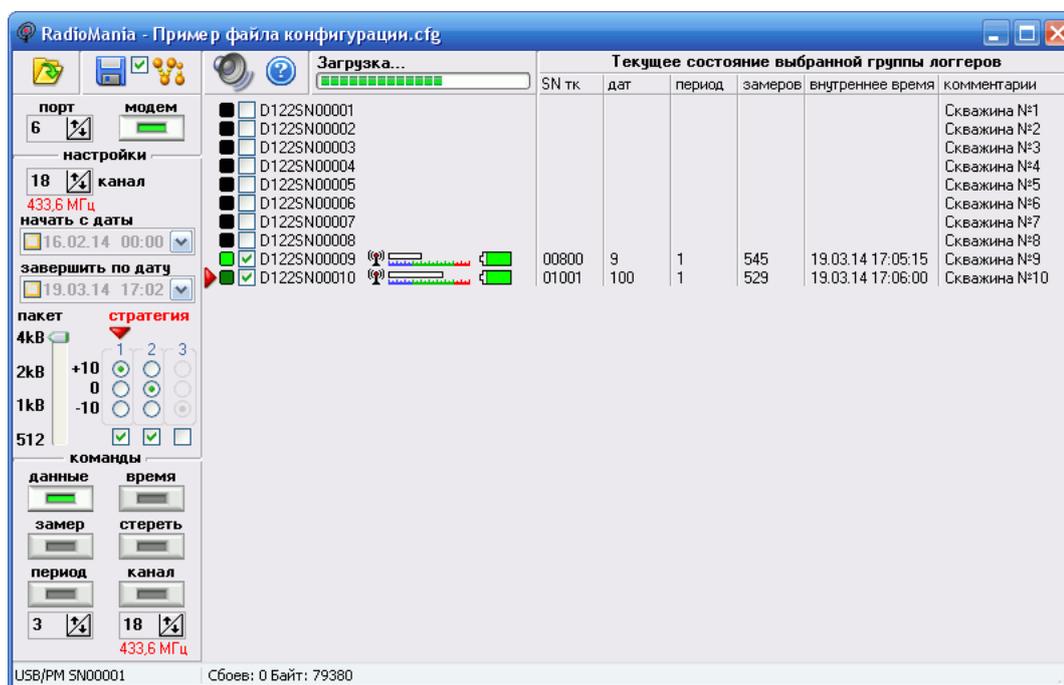


Рис. 9 – Сервисное программное обеспечение

Иногда, в случае, когда комплекты данной системы размещаются на территориях нефте- и газодобывающих комплексов, невозможно проводить сбор данных со всех радио-

логгеров, находясь в одной точке, так как из-за застройки территории сооружениями данной отрасли происходит ухудшение уровня сигнала на большом расстоянии, и для считывания показаний с логгеров приходится перемещаться по территории комплекса.

Для решения данной проблемы было принято решение о разработке устройства для удаленного сбора данных с логгеров ЛЦД-1/100-PM.

Сбор данных планируется проводить через сеть GSM при помощи GSM модемов. Канал передачи данных при этом может быть организован при помощи технологии передачи данных CSD.

Происходит это следующим образом. Включается GSM модем на стороне оператора, запускается конфигуратор GSM модема, в конфигураторе GSM модема задается мобильный номер GSM модема на стороне сборщика данных (назовем его GSM-RM), закрывается конфигуратор GSM модема и запускается ПО RadioMania. Считывание данных происходит в обычном (привычном) порядке. Если необходимо считать данные с другого GSM-RM, то необходимо закрыть ПО RadioMania, запустить конфигуратор GSM модема, задать мобильный номер требуемого GSM-RM, закрыть конфигуратор GSM модема, запустить ПО RadioMania и считать данные. Структурная схема сети представлена на рис. 10.

Устройство сбора данных представляет собой уже известный радиомодем USB/PM с небольшими доработками, и подключенным к нему GSM модемом, образующие комплект GSM/PM.

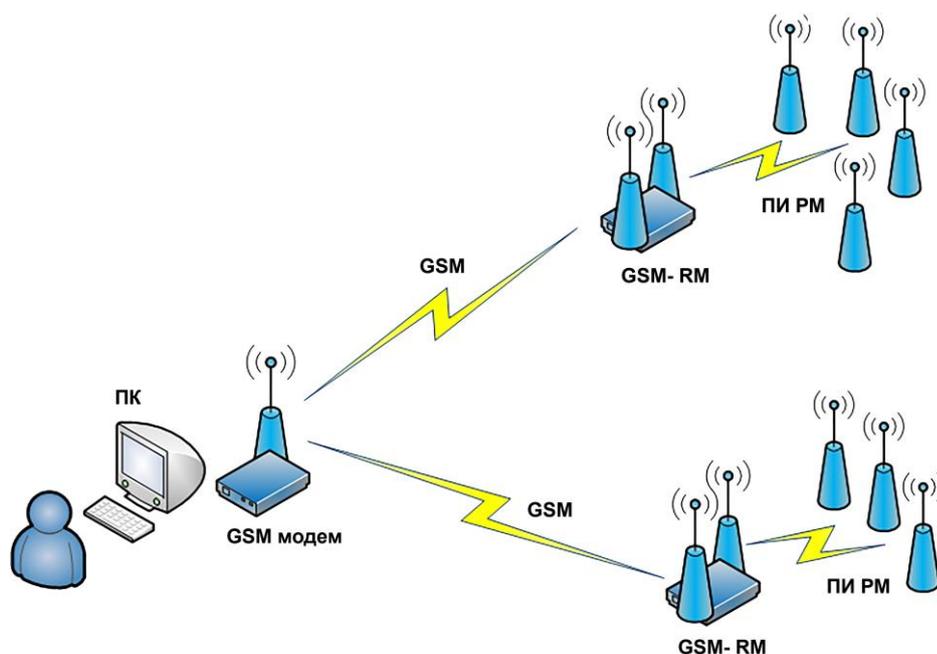


Рис. 10 – Структурная схема GSM/PM сети

Преимущества данного решения заключается 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.

### **Опыт применения**

В качестве примера можно привести опыт применения ООО “Газпром добыча Надым” комплектов, состоящих из термокос МЦДТ 0922, логгеров ЛЦД-1/100 РМ , а так же контроллеров портативных 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 газопромысловой инфраструктуры.

К настоящему времени на объектах газоконденсатных месторождений общества (Бованенковское, Юбилейное, Медвежье) используется порядка 150 комплектов радиоканального термометрического оборудования (в составе термометрических кос МЦДТ и логгеров ЛЦД – 1/100 РМ) (рис. 11,12), а так же порядка 90 термометрических кос МЦДТ, используемых в режиме периодического опроса с контроллера ПКЦД.



Рис. 11 – Дожимная компрессорная станция Медвежьего НГКМ



Рис. 12 - Дожимная компрессорная станция Юбилейного НГКМ

За время эксплуатации специалистами службы геотехнического мониторинга отмечена высокая эффективность данного оборудования для решения задач геотехнического мониторинга инженерных сооружений в криолитозоне. Отмечено удобство и легкость настройки оборудования, и высокий уровень развития сопутствующего программного обеспечения.

По мере эксплуатации оборудования, вырабатываются рекомендации и пожелания по совершенствованию и расширению возможностей оборудования и программного обеспечения.

Из опыта приведенного выше, была сформирована рекомендация по возможности расширения сети передачи данных, для удобного опроса всех логгеров, находясь в одной точке, на что нашим предприятием было предложено техническое решение по расширению сети радио-логгеров с помощью сети GSM-PM, как описывалось ранее.

## Список литературы

1. 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, сентябрь, с. 22-38.
2. Корниенко С.Г. Изучение и мониторинг мерзлых грунтов с использованием данных космической съемки // Материалы 11-й Всероссийской научно-практической конференции «Геоинформатика в нефтегазовой отрасли».
3. Минкин Марк Строительство нефтегазовых объектов на Севере // Материалы семинара «Вопросы проектирования фундаментов на особых грунтах. Новые геотехнические конструкции и методы их расчетов», 2010.
4. Павлов А.В., Малкова Г.В. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на севере России // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, №4, с. 32-39.

**Пугач Вадим Николаевич**  
Инженер СКБ АО «НПП «Эталон»  
**Pugach Vadim Nikolaevich**  
Engineer of SKPB JSC «NPP Etalon»  
+7(3812) 36-74-85

**Дергачев Сергей Владимирович**  
Ведущий инженер СКБ АО «НПП «Эталон»  
**Dergachev Sergey Vladimirovich**  
Lead engineer of SKPB JSC «NPP «Etalon»  
+7(3812) 36-99-67

**Кропачев Денис Юрьевич**  
Главный инженер АО «НПП «Эталон»  
**Kropachev Denis Yurievich**  
Chief Engineer of JSC «NPP «Etalon»  
+7(3812) 36-77-46

E-mail: [fgup@omsketalon.ru](mailto:fgup@omsketalon.ru)  
<http://www.omsketalon.ru>

**Михальченко Дмитрий Игоревич**  
Инженер Инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Надым»  
**Mikhalchenko Dmitry Igorevich**  
Engineer of the Engineering and Technical Center LLC «Gazprom mining company Nadym»  
+7(3499)568-754

E-mail: [Mikhalchenko.DI@nadym-dobycha.gazprom.ru](mailto:Mikhalchenko.DI@nadym-dobycha.gazprom.ru)  
<http://nadymdobycha.gazprom.ru>