

# **О ВНЕДРЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬНОГО ПОЛОТНА НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ**

## **Автор:**

Заместитель генерального директора ОАО НПП «Эталон» И.И.Еремин  
ОАО НПП «Эталон», 644009, г. Омск, ул.Лермонтова, 175, тел.: (3812) 36-75-85

## **Аннотация:**

Для безопасности функционирования объектов транспортной инфраструктуры и нефтегазового комплекса в северных районах России необходимо осуществлять температурный мониторинг объектов с целью выявления и устранения аварийных ситуаций в районах вечномёрзлого грунта с помощью различных систем мониторинга температур.

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

Для безопасности функционирования объектов транспортной инфраструктуры и нефтегазового комплекса в северных районах России необходимо осуществлять температурный мониторинг объектов с целью выявления и устранения аварийных ситуаций в районах вечномёрзлого грунта с помощью различных систем мониторинга температур.

В связи с этим ОАО НПП «Эталон» разработало 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.

Разработчики ОАО НПП «Эталон» предприняли попытку устранить недостатки известных систем мониторинга температур, таких как: сложность, дороговизна, низкая точность измерений и слабая герметичность, которая приводит 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, 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. 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 энергонезависимую память прибора. Термокоса МЦДТ 0922 обладает малой тепловой инерцией, кабель сохраняет гибкость при эксплуатации даже в условиях отрицательных температур.

Таким образом, 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.



Рис. 1 – Размещение в скважине термокосы с логгером

проработает около 10 лет.

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,

#### **Для проведения автономных замеров**

температурных полей удаленных и труднодоступных объектов (термометрических скважин) используется комплект оборудования, состоящий из логгера ЛЦД-1/100 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.

Вариант размещения данной системы в термометрической скважине представлен на рисунке 1. 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

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.

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. Информация об измеряемой температуре выводится на ПК, позволяет в реальном времени отслеживать малейшие изменения температуры и сигнализировать, если ее величина превысила допустимую норму.

Таким образом, рассмотрев возможные варианты реализации мониторинга температуры грунтов, необходимо отметить, что совместно со специалистами Мерзлотной станции Центра ИССО ОАО РЖД в октябре 2012 г. организовано испытание трех комплектов автономного варианта системы мониторинга температуры на объекте земляного полотна «Км 2339» перегона Курьян-Тында.

Температурный мониторинг объекта начат Мерзлотной станцией сразу после строительства охлаждающей скальной конструкции в 1991 г. Наблюдения за температурами грунтов выполняются два раза в год на моменты максимального оттаивания (осень) и максимального промерзания (весна).

В октябре 2012 г. в две скважины установлены логгеры ЛЦД-1/100-СД и термокосы МЦДТ 0922. Скважина № 6 расположена на правой бровке насыпи со скальной конструкцией на откосе, скважина № 9 находится в полевых ненарушенных условиях. Периодичность измерений температур логгерами – четыре раза в сутки.

#### **Анализ работы логгеров за годовой цикл показал:**

- высокую точность и надежность приборов. За годовой период не зафиксировано ни одного сбоя. Сравнение температур, измеренных термокосами Мерзлотной станции в 2011 г. и логгерами ЛЦД-1/100-СД с термокосами МЦДТ 0922 в 2012 г., на глубинах ниже глубины нулевых годовых колебаний температур показало:

- сходимость результатов измерения температур в пределах погрешности  $\pm 0.1$  °С ;
- долгий срок автономной работы логгеров. За год падение напряжение литиевого элемента питания составило 0.1 В. Если скорость разрядки элемента питания сохранится, срок автономной работы без замены батареи составит не менее 8 лет.
- исключение ошибок измерений, обусловленных человеческим фактором. Таких как: опускание термокосы на разную глубину в различные годы, «недовыстойка», ошибки переноса данных в полевой журнал и т.д.



Рис. 2 – Погружение логгера и термокосы в скважину № 6, май 2013 г., «Км 2339» перегона Курьян-Тында.

Непрерывные измерения логгера в связке с термокосой в течение годового цикла дали качественно новую информацию о температурном режиме объекта земляного полотна:

- определена фактическая глубина зоны нулевых годовых колебаний температур, которая в скважине № 6 составила 13 м;
- в скважине № 7 «плато» температур  $0^{\circ}\text{C}$  при замерзании и оттаивании грунта держалось четыре декады, что обусловлено фазовыми переходами воды в лед и обратно и свидетельствует о высокой влажности грунта (рис. 4);

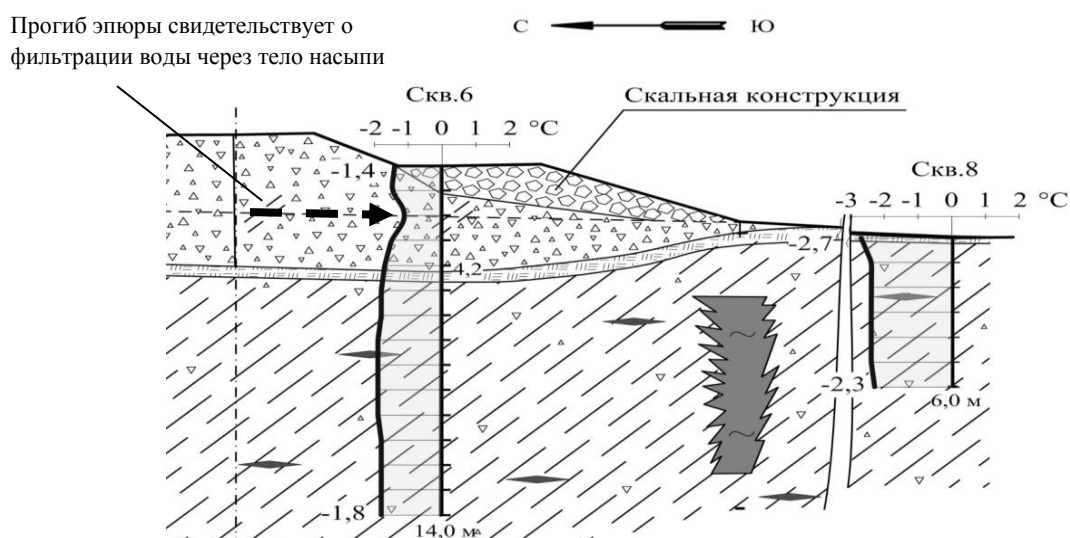


Рис 3. – Эпюры среднегодовых температур грунтов

- наглядно видно отставание экстремумов температурных волн нижних горизонтов от верхних слоев (рис. 4);

- стало возможным вычислить среднегодовые температуры грунтов (рис.3). Если среднегодовая температура на поверхности элемента земляного полотна отрицательная, деградация мерзлоты не происходит, а если температура  $0^{\circ}\text{C}$  и выше – происходит оттаивание многолетней мерзлоты. Эта информация позволяет определить эффективность любых охлаждающих мероприятий.

- анализ среднегодовых температур на «Км 2339» (рис. 3) показал, что в полевой скважине № 8 температуры грунтов понижаются.

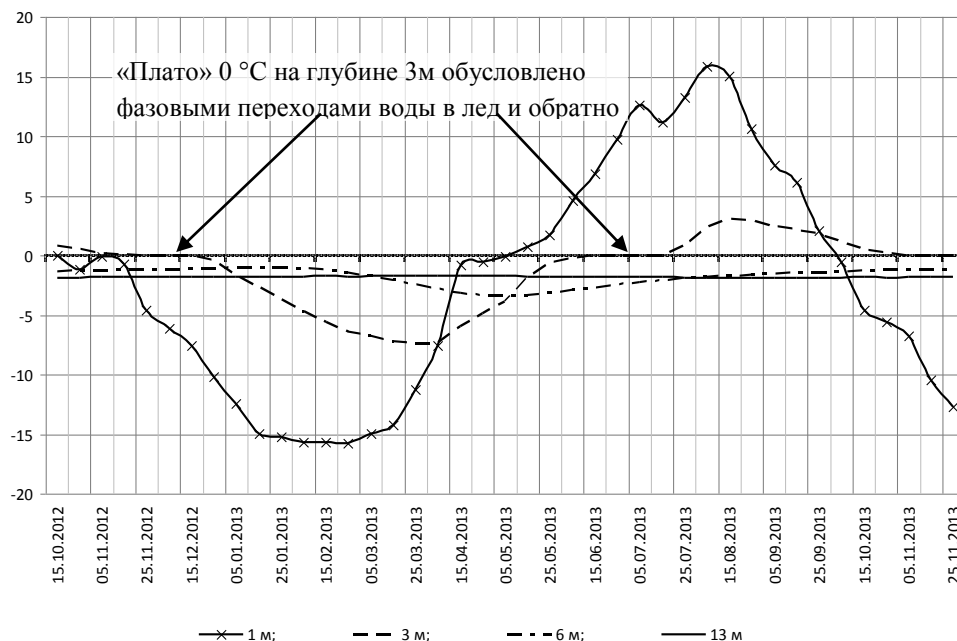


Рис. 4– Изменение во времени температур грунтов на различных глубинах в скв. №7 с 15.10.2012 по 25.11.2013 гг., «Км 2339» перегона Курьян-Тында ДВост.жд

В скважине № 6 среднегодовая температура поверхности охлаждающей скальной конструкции составляет  $-1.4^{\circ}\text{C}$ , тогда как расчетная температура поверхности равняется  $-2.9^{\circ}\text{C}$ , что свидетельствует о низком качестве охлаждающей конструкции.

Прогиб эпюры среднегодовых температур грунтов в скважине № 6 на глубине 3 м говорит о фильтрации воды через тело насыпи небольшой интенсивности.

По результатам температурного мониторинга можно сделать следующие выводы. Несмотря на снижение эффективности охлаждающей скальной конструкции на 50% и фильтрацию воды через тело насыпи, оттаивание земляного основания не происходит (Рис. 5).

Для предотвращения деформаций насыпи необходимо построить гидроизолированную канаву с левой стороны полотна от водораздела до ИССО, достроить охлаждающие скальные конструкции на примыкающих нестабильных участках пути (Рис. 5).



Рис. 5 – Состояние основной площадки на км 2338-2339

Информация с логгеров ЛЦД-1/100-СД и термокос МЦДТ 0922 необходима для последующей оценки динамики изменения среднегодовой температуры грунтов с целью прогноза изменения температурного режима оснований сооружений, оценки эффективности охлаждающих мероприятий за один годовой цикл, корректировки исходных данных для повышения точности теплотехнических прогнозов и т.д.

В мае 2014г. логгеры ЛЦД-1/100-СД заменены на ЛЦД-1/100-РМ, позволяющие уже без извлечения самих логгеров из скважин получать информацию о температурных режимах грунтов по беспроводной связи. Частоты передачи данных находятся в разрешённом диапазоне (434МГц), мощность также не высокая (10мВт), что не требует получения дополнительных разрешений. Время на переоборудование скважин составило порядка полутора часов. Устойчивая работа по передаче данных (дальность связи) осуществлялась на расстоянии 1500 метров.

На основе логгера ЛЦД-1/100-СД, преобразователей и датчиков теплового потока ДТП 0922 была разработана и поставлена на опытную эксплуатацию система измерения тепловых потоков в грунтах на площадке Института Физико-Химических и Биологических проблем почвоведения г. Пушкино. Данная система эксплуатируется уже более полутора лет. Подобная система смонтирована осенью 2014г. в республике Саха-Якутия. Кроме этого, оборудование ОАО НПП «Эталон» позволяет использовать в качестве датчиков любые датчики с цифровым и аналоговым выходом (инклинометры, датчики уровня, влажности).