

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ISSN 1997-8650 (Print)
ISSN 2587-8255 (Online)

ENGINEERING SURVEY

Vol. XII • Том XII 7-8/2018

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

Саморегулируемая организация



Ассоциация
«Инженерные изыскания
в строительстве»



СОБЫТИЯ И МНЕНИЯ

Лысенко И.А. ФАУ «Главгосэкспертиза России» и охрана объектов культурного наследия	6
---	---

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Волков Н.Г., Соколов И.С. Сравнение температурных замеров грунтов с помощью статического зондирования и скважинной термометрии	16
---	----

Кубецкий В.Л., Королев М.В. Повышение информативности испытаний методом кольцевого нагружения	26
--	----

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Ефремов А.Н., Пликина Н.В., Абели Т. Сохранение редких видов растений и лишайников <i>in situ</i> при планируемой хозяйственной деятельности: основные подходы и принципы реализации	38
---	----

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Скрыпицына Т.Н., Староверов С.В. Съемка фасадов зданий с использованием беспилотных воздушных судов	46
--	----

ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Зеленцов В.А., Потрясаев С.А., Пиманов И.Ю., Пономаренко М.Р. Использование данных космического радиолокационного зондирования при анализе зон затопления в половодье	54
--	----

Иванова Н.Н., Голосов В.Н., Цыпленков А.С., Кузнецова Ю.С., Ботавин Д.В. Источники бассейновой составляющей стока наносов малой реки низкогорно-предгорного пояса Черноморского побережья Кавказа (на примере р. Цанык)	62
--	----

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Каршаков Е.В., Мойланен Е.В. Совместная интерпретация аэроэлектроразведочных данных во временной и в частотной областях	76
--	----

Колесников Ю.И., Федин К.В., Нгомайезве Л. Диагностика основания твердого дорожного покрытия по упругим стоячим волнам	84
---	----

Саввин Д.В., Федорова Л.Л., Соловьев Е.Э. Опыт георадиолокационных исследований при инженерно-геологических изысканиях в Центральной Якутии	92
--	----

ПРИЛОЖЕНИЯ

Лирическое грунтоведение Глумова Г.М. (составитель) Глины в зарубежной и русской поэзии (сборник). Раздел V. Часть 2	102
Отраслевые новости	108



фото на обложке, фото из личного архива Романова Романовича, руководителя группы инженерно-гидрометеорологических изысканий ОАО «Кубассгипрошахт», г. Кемерово



<https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-16-24>

УДК 621.396.96:551.34:625.77.8(571.56)

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАМЕРОВ ГРУНТОВ С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И СКВАЖИННОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

ВОЛКОВ Н.Г.*

ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» (группа компаний Фугро), г. Москва, Россия, ngv@fugro.ru
Адрес: пр. Вернадского, д. 29, офис 1104, г. Москва, 119331, Россия

СОКОЛОВ И.С.

ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» (группа компаний Фугро), г. Москва, Россия, ssi@fugro.ru

Аннотация: развитие инфраструктуры, расположенной на территории криолитозоны, требует применения современных методов исследований мерзлых грунтов. Точное измерение температуры грунта является необходимым условием инженерно-геокриологических изысканий и геотехнического мониторинга. В статье рассматривается новая методика измерения температуры грунта с помощью статического зондирования. Подробно описана температурная стабилизация зонда, включая существующие критерии стабилизации температуры зонда. Представлены результаты измерения температуры как мерзлых, так и немерзлых грунтов, выполненные с помощью статического зондирования (зонд с датчиком измерения температуры), а также с помощью скважинной термометрии (термокоса) как в скважине, пробуренной буровой установкой, так и в скважине, сформированной после окончания теста на статическое зондирование. Также представлен подробный анализ точности измерения температуры грунта. Произведено сравнение полученных результатов и выполнена оценка расхождения измеренной температуры грунтов в абсолютных значениях. В результате проведенного анализа показано, что все значения температуры грунта, полученные в результате измерения различными методами, достаточно близки друг к другу, а истинное значение естественной температуры грунта лежит в зоне пересечения доверительных интервалов каждого значения температуры, измеренного разными методами на соответствующих глубинах. Все полученные значения температуры не выходят за пределы точности температурных датчиков, используемых в статическом зондировании и скважинной термометрии. Доказана высокая точность замеров температуры с помощью статического зондирования, и обоснована возможность применения статического зондирования для измерения температуры в качестве метода экспресс контроля температуры грунтов.

Ключевые слова: статическое зондирование; многолетнемерзлые породы; температура грунта; термокоса; мерзлый грунт; измерение температуры; криолитозона

Ссылка для цитирования: Волков Н.Г., Соколов И.С., 2018. Сравнение температурных замеров грунтов с помощью статического зондирования и скважинной термометрии. Инженерные изыскания, Том XII, № 7–8, с. 16–24, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-16-24>.

COMPARISON OF SOIL TEMPERATURE MEASUREMENT BY CONE PENETRATION TESTING AND BOREHOLE THERMOMETRY

NIKOLAY G. VOLKOV*

«GEOINGSERVICE» LLP (Fugro Group), Moscow, Russia, ngv@fugro.ru
Address: Office 1104, Bld. 29, Vernadskogo Ave, 119331, Moscow, Russia

IVAN S. SOKOLOV

«GEOINGSERVICE» LLP (Fugro Group), Moscow, Russia, ssi@fugro.ru

Abstract: development of infrastructure located in cryolithozone requires the use of modern geotechnical technologies for frozen soil investigation. Accurate soil temperature measurement is the necessary condition for engineering-geocryological survey and geotechnical monitoring. In the article a new method is considered on how to measure soil temperature by cone penetration testing (CPT). The cone temperature stabilization is described in detail, including the existing criteria of thermal stabilization of a cone. The results of temperature measurements are presented for both frozen and non-frozen soils and obtained by CPT (cone with a temperature sensor) and using borehole thermometry (thermistor string), which measured in both holes drilled by a rig and left after the cone penetration testing completion. Detailed analysis of accuracy of soil temperature measurement is also provided. The comparison of the obtained results is performed and the discrepancy of the measured soil temperature in absolute values is estimated. As a result of the analysis, it was shown that all the soil temperature values measured by different methods are sufficiently close to each other and the true value of the natural soil temperature are all located in the zone of intersection of the confidence intervals of each temperature measurement, performed at corresponding depths by different methods. All obtained temperature values do not cross the accuracy limits of temperature sensors, used both in cone penetration testing and borehole thermometry. High accuracy of temperature measurement by CPT is proved and feasibility of CPT application for soil temperature measurement is justified as an express-monitoring method.

Key words: cone penetration test; permafrost; soil temperature; thermistor string; frozen soil; temperature measurements; cryolithozone

For citation: Volkov N.G., Sokolov I.S., 2018. Comparison of soil temperature measurement by cone penetration testing and borehole thermometry. Engineering Survey, Vol. XII, No. 7–8, pp. 16–24, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-16-24>.

Введение

За последнее время статическое зондирование существенно расширило область своего применения. В частности, опыт ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» (международная группа компаний Фугро) показал, что статическое зондирование применимо на мерзлых грунтах. Одним из основных параметров, исследуемым при инженерно-геокриологических изысканиях, является температура грунта. Известно, что температура мерзлого грунта существенно влияет на его физико-механические свойства. Это обуславливает необходимость точных замеров температуры грунтов на площадках проектируемых сооружений. Для целей инженерно-геокриологических изысканий, в соответствии с ГОСТ 25358-2012 «Грунты. Метод полевого определения температуры», измерения температуры осуществляются в скважинах, оборудованных электрическими или ртутными приборами для замера температуры. Однако, современный уровень развития техники позволяет комбинировать такой электрический датчик со стандартным конусом для статического зондирования.



Рис. 1. Площадка исследований

Fig. 1. Investigation site view

Такой метод измерения температуры грунтов, в соответствии с Приложением Л СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», допускается при использовании специализированной схемы проведения

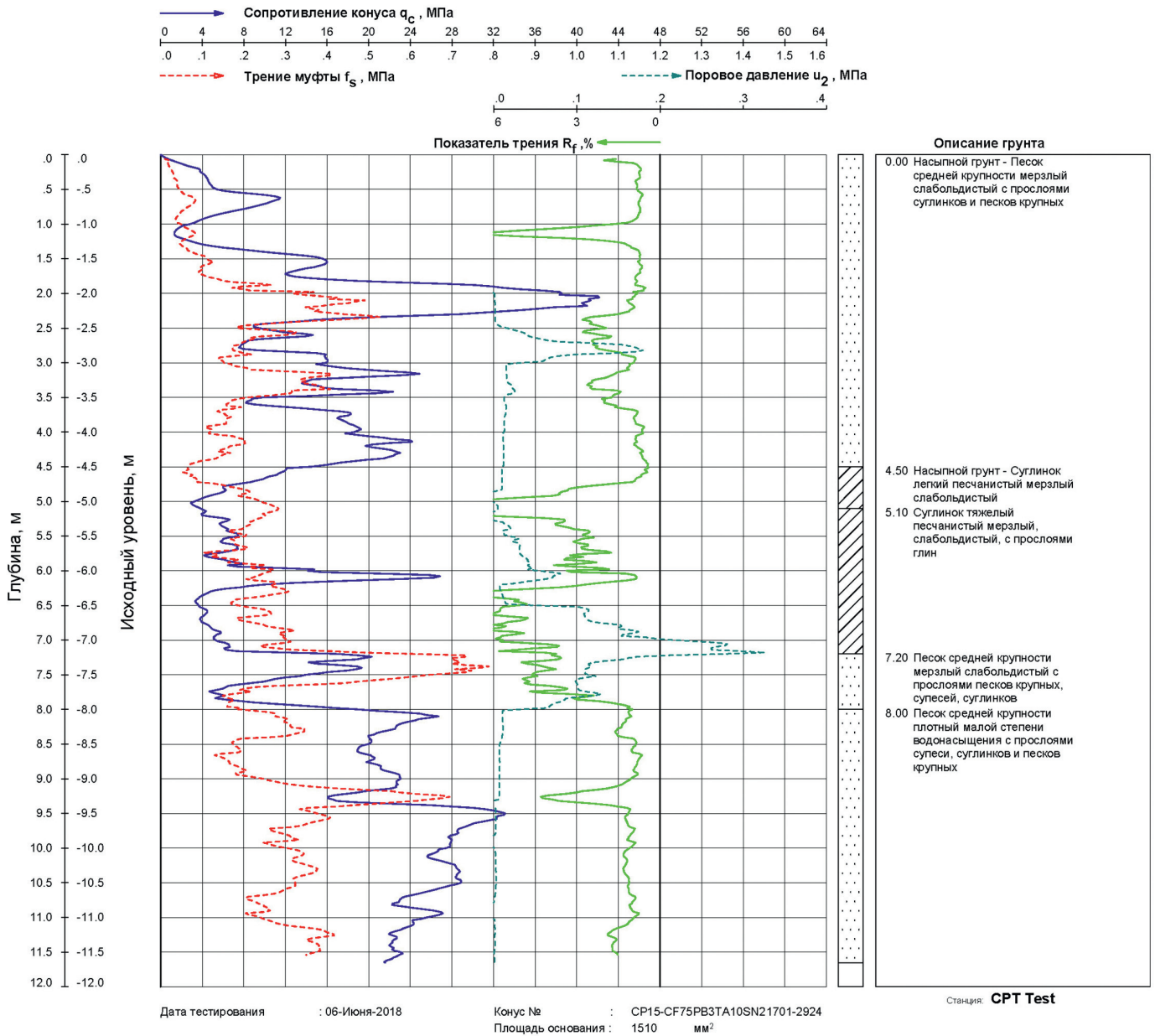


Рис. 2. График статического зондирования и литологическое описание грунта

Fig. 2. Cone penetration testing profile and soil description

испытаний. Полученные результаты показали высокую точность измерения температуры грунта и в комбинации с другими измеряемыми характеристиками многолетнемерзлых пород, метод статического зондирования с измерением температуры обладает большим потенциалом применения при проведении инженерно-геокриологических изысканий и геотехнического мониторинга [3, 5–8]. Однако, многие специалисты, занимающиеся исследованием многолетнемерзлых пород, высказывают сомнения в корректности и точности измерений температуры грунтов методом статического зондирования. В статье приводится описание температурных замеров на опытной площадке, где залегают мерзлые грунты, полученных, как с по-

мощью статического зондирования, так и при проведении скважинной термометрии. В ходе испытаний на опытной площадке температура грунтов измерена как в скважине, пробуренной буровой установкой, так и в скважине, сформированной после окончания теста на статическое зондирование.

Описание площадки исследований

Исследуемый район располагается у южной границы зоны распространения многолетнемерзлых пород (рис. 1). В мелкомасштабном плане мерзлые породы региона относятся к островному типу распространения — занимают менее 20% площади. Многолетнемерзлые грунты на рассматриваемой опытной площадке не встречены. Глубина сезон-

ного промерзания варьирует от 2,3 м до 3,5 м. Продолжительность периода со средней суточной температурой ниже 0°C составляет 179 дней. Среднегодовая температура воздуха порядка -2°C. Сумма осадков в год достигает 400–500 мм. Устойчивый снежный покров формируется в третьей декаде октября. Средние за декаду значения высоты снежного покрова изменяются от одного до 17 см.

На опытной площадке выполнялось инженерно-геологическое бурение и испытания грунтов методом статического зондирования до глубины 11,7 м с измерением температуры. Результаты выполненных работ представлены на рис. 2.

По данным проведенного инженерно-геологического бурения и статического зондирования, техногенные грун-

ты на опытной площадке залегают с поверхности до глубины 4,5 м и представлены песками средней крупности с прослоями суглинков и песков крупных (рис. 2). Ниже, до глубины 5,1 м, залегают суглинок легкий, песчанистый, также техногенного происхождения. В толще техногенных грунтов встречен прослой мерзлого грунта, на момент исследования (июнь 2018 года) залегающий с глубины два метра на всю мощность техногенного грунта. Ниже залегают аллювиально-делювиальные (а, ad N_2-Q_1) отложения плиоцен-нижнеплейстоценового возраста, представленные суглинками тяжелыми, песчанистыми, с прослоями глин и песками средней крупности, с прослоями крупных, до глубины восемь метров, которые также находятся в мерзлом состоянии. Ниже отметки восемь метров встречены аллювиальные и аллювиально-делювиальные (а, ad N_2-Q_1) отложения плиоцен-нижнеплейстоценового возраста, представленные песками средней крупности, малой степени водонасыщения, с прослоями супеси, суглинков и песков крупных. Пески находятся в талом состоянии.

Данная мерзлотная грунтовая обстановка сформировалась в результате того, что работы по возведению насыпи проводились в зимний период, причем песок отсыпался без удаления слоя сезонно-мерзлого грунта. В результате была сформирована техногенная толща мерзлого грунта, которая при имеющихся геокриологических условиях будет сохраняться в мерзлом состоянии более одного сезона.

Температурный замер с помощью статического зондирования

Принято классифицировать два вида задавливания зонда — непрерывное и прерывистое [1]. Непрерывное задавливание зонда в грунт происходит с постоянной скоростью, как правило, 2 см/сек, а перерывы в погружении зонда осуществляются для наращивания штанг задавливающей колонны. Методика непрерывного задавливания зонда подробно описана в ГОСТ 19912-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием». Прерывистое задавливание зонда в грунт также происходит с постоянной скоростью, однако перерывы осуществляются на заранее заданной глубине, где выполняется испытание грунтов зондированием по специальным методикам (релаксационно-ползучие, диссипационные, квазистатические и другие ис-

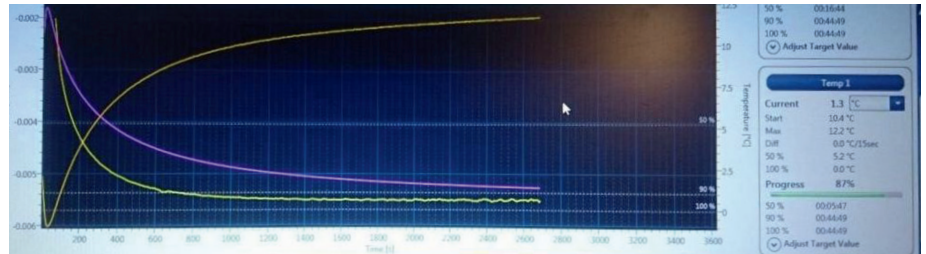


Рис. 3. Экран терминала сбора данных во время замера температуры в полевых условиях

Fig. 3. CPT data acquisition screen during temperature measurement in the field conditions

пытания). В ходе испытаний на исследуемой площадке выполнялось прерывистое задавливание с остановками для замера температуры грунта как по экспресс-методике (рис. 3), так и по методике температурной стабилизации, приведенной в СТО 36554501-049-2016 «Применение статического зондирования для контроля оснований в районах распространения многолетнемерзлых грунтов».

Стоит отметить, что при задавливании зонд, как правило, разогревается вследствие трения его боковой поверхности о грунт. Однако иногда, при прохождении мерзлых глинистых грунтов, зонд может слегка охлаждаться [1, 2, 4]. Возможно, это из-за смещения точки кристаллизации льда. Лед начинает таять вследствие вдавливания зонда, но не благодаря повышению температуры, а благодаря давлению, которое может составлять несколько десятков МПа. Лед, растаяв, поглощает теплоту из окружающего грунта, что ведет к небольшому снижению температуры. Этот эффект также работает и в песчаных грунтах, однако его проявление перекрывается разогревом из-за трения. Исходя из опыта международной группы компаний Фугро, можно сделать вывод, что разогрев в мерзлых грунтах существенно ниже, чем в талых. Этот эффект пока мало изучен и требует накопления больших объемов материалов. Интенсивность разогрева зонда зависит от ряда факторов, таких как состояние грунта (мерзлое/талое), тип грунта, плотность грунта, скорости вдавливания зонда и др.

Существуют два критерия стабилизации температуры зонда. Первый критерий приведен в СТО 36554501-049-2016 «Применение статического зондирования для контроля оснований в районах распространения многолетнемерзлых грунтов», пункт 7.2.4, и СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», Приложение Л «Определение механических свойств и несущей способности свай в многолетнемерзлых

грунтах по результатам статического зондирования», пункт Л.2., и заключается в том, что зонд выставляется в грунте до того, как изменение температуры наконечника составляет менее $0,05^{\circ}\text{C}$ за последние 5 минут замера. В таком случае наконечник зонда принимает температуру вмещающего грунта. В случаях зондирования высокотемпературных мерзлых грунтов, преимущественно песчаного состава, такая стабилизация занимает длительное время и не позволяет проводить большое число замеров. Для ускорения температурных замеров компания Фугро разработала экспресс-методику для оценки температуры грунта, которая основана на выполнении второго критерия. Второй критерий стабилизации температуры использует обработанную температурную кривую. Обработка кривой происходит параллельно со считыванием данных температуры зонда во времени (см. рис. 3, фиолетовая кривая) и обновляется на экране каждую секунду (см. рис. 3, желтая кривая), где температура грунта оценивается по следующему уравнению:

$$T(t) = \frac{A}{t} + T_0$$

где $T(t)$ — измеряемая температура, A — коэффициент пропорциональности, t — время, T_0 — естественная температура грунта. Для этого выбирается интервал на измеренной температурной кривой (обычно последние 60 сек), для каждого интервала программа в автоматическом режиме находит неизвестные приведенного уравнения: коэффициент пропорциональности A и температуру T_0 . При условии, когда теплообмен между зондом и грунтом выходит на квазистационарный режим и изменение температуры подчиняется вышеуказанному уравнению, желтая кривая на экране оператора статического зондирования принимает горизонтальный вид, а значения T_0 соответствуют естественной температуре грунта.

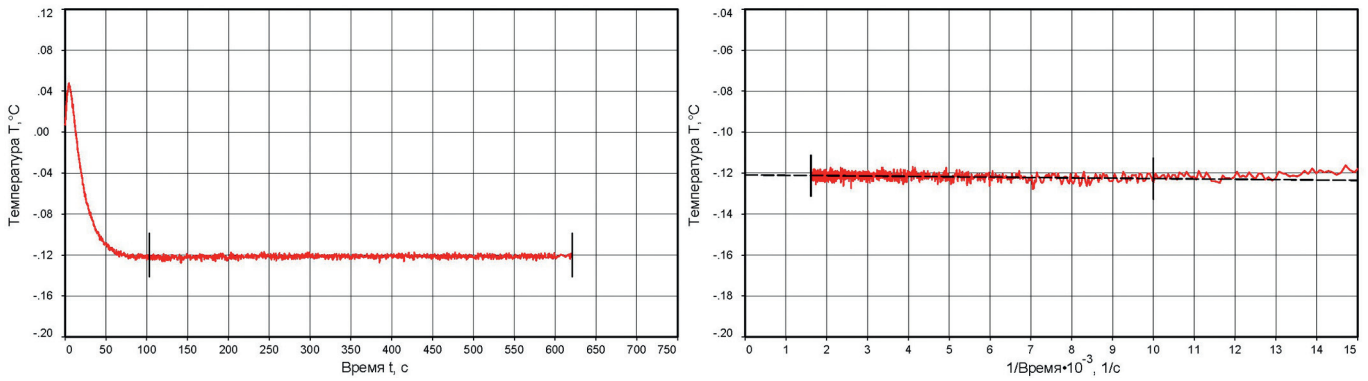


Рис. 4. График замера температуры в соответствии с методикой СТО
 Fig. 4. Temperature measurement according to STO requirements

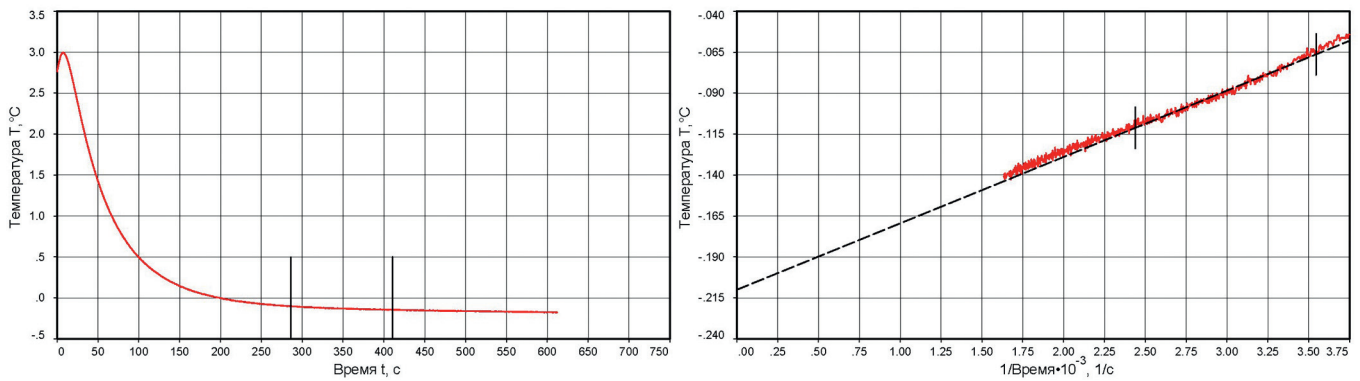


Рис. 5. График замера температуры в соответствии с методикой Fugro
 Fig. 5. Temperature measurement according to Fugro method



Рис. 6. Установка обсадки из поливинилхлорида в скважину статического зондирования
 Fig. 6. Pipe installation of PVC into CPT hole

В процессе выполнения статического зондирования было произведено 17 замеров температуры грунтов. В среднем время температурной стабилизации зонда в мерзлом грунте составляет около десяти минут. При выполнении замера оператором отслеживается стабилизация температуры и контролируется выполнение критерия стабилизации температуры как по методике СТО НИИОСП им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство»» (далее СТО) (рис. 4), так и по экспресс-методике Фугро (рис. 5), описанной выше.

Заявленная точность замеров температуры с помощью зонда, в соответствии с калибровочным сертификатом, составляет $\pm 0,1^\circ\text{C}$, однако разрешение температурного датчика составляет $0,01^\circ\text{C}$.

Для проверки результатов температурных замеров с помощью статического зондирования было решено использовать скважину, оставшуюся после зондирования. Для обустройства термометрической точки на основе статического зондирования использовалась сплошная пластиковая труба диаметром

32 мм. Труба герметизируется заглушкой на забое скважины и не имеет стыков и других соединений, что исключает возможность затопления скважины подземными водами. Также, вследствие малого диаметра трубы, снижается погрешность измерения температуры грунта за счет уменьшения конвекции воздуха в скважине и за счет более надежной герметизации устья.

Монтаж трубы и установка термоколы производились в течение пяти минут (рис. 6) после завершения статического зондирования и смещения установки



Рис. 7. Вид термокосы GeoPrecision [9]
Fig. 7. GeoPrecision thermister string [9]

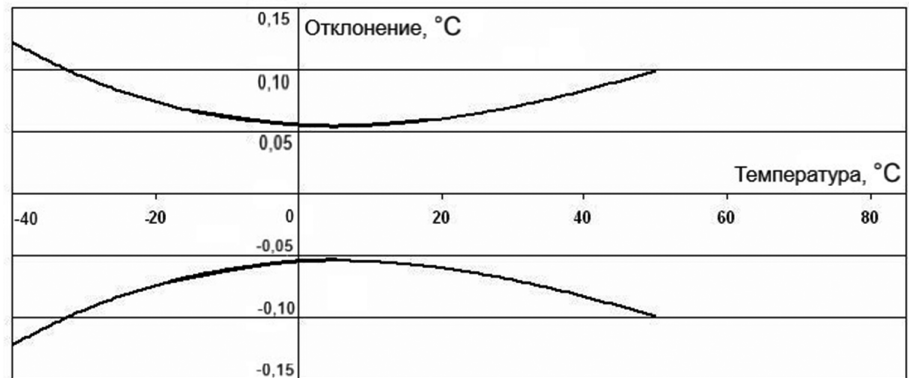


Рис. 8. Номограмма погрешности измерения температур устройством GeoPrecision [9]
Fig. 8. Accuracy graph for temperature measurement by GeoPrecision [9]

в сторону. Разница во времени между последним температурным замером и окончанием установки пластиковой трубы составила 30 минут. При этом технология обустройства термометрических скважин таким способом полностью соответствует требованиям ГОСТ 25358-2012 «Грунты. Метод полевого определения температуры».

Измерение температуры с помощью термокос

Для измерения температуры грунтов использовались термокосы производства GeoPrecision (Германия) [9]. Вид термокосы представлен на рис. 7. Конструкция термокосы позволяет проводить замеры в скважинах очень малого диаметра, что повышает точность измерений. Диаметр термодатчика в составе устройства составляет 10 мм. Точность замеров температуры достигает $0,1^{\circ}\text{C}$, что иллюстрирует график, приведенный в техническом паспорте устройства (рис. 8). Разрешение датчиков, используемых в устройстве GeoPrecision, составляет $0,01^{\circ}\text{C}$.

Запись температурных данных осуществлялась сразу же после установки термокосы в обустроенную на месте выполнения статического зондирования скважину СРТ-32. Выстойка скважины контролировалась путем замера температуры грунтов с интервалом один час. На основе полученных данных установлено, что стабилизация температурного режима в скважине наступила через восемь часов. Сбор данных логгером термокосы проводился в течение 20 часов после установки термокосы в скважину. Процесс получения этих данных с помощью беспроводного устройства осуществлялся в конце периода записи, через 20 часов после установки термокосы в скважину (рис. 9).



Рис. 9. Сбор данных термометрии
Fig. 9. Temperature data collection

Результаты замеров температуры, полученные на опытной площадке (табл.), подтверждают наличие толщи мерзлых грунтов в интервале от двух до восьми метров от поверхности. Замеры температуры грунтов выполнены с помощью зонда статического зондирования (столбец 2) и двумя термокосами в скважинах различного диаметра, скважина СРТ-32 — $\text{Ø}32$ мм (столбец 3); скважина ВН-90 — $\text{Ø}89$ мм (столбец 4). Скважина ВН-90 расположена в трех метрах от точки статического зондирования СРТ-32 и была пробурена в апреле 2018 года для температурного мониторинга. Температура мерзлых грунтов составляет от $-0,08^{\circ}\text{C}$ до $-0,26^{\circ}\text{C}$.

Расхождение замеренных значений температуры с помощью статического

зондирования и с помощью двух термокос в двух скважинах (столбцы 5 и 6) изменяется в пределах от $-0,19^{\circ}\text{C}$ до $+0,11^{\circ}\text{C}$ и в среднем составляет $-0,02^{\circ}\text{C}$.

В соответствии с п. 4.6 ГОСТ 25358-2012 «Грунты. Метод полевого определения температуры», инструментальная погрешность приборов для полевых измерений температуры грунтов в диапазоне температур $\pm 3^{\circ}\text{C}$ не должна превышать $0,1^{\circ}\text{C}$, таким образом, допустимая ГОСТ 25358-2012 точность измерения температуры грунтов составляет $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Точность замеров температуры с помощью зонда составляет $0,05^{\circ}\text{C}$. Это означает, что истинное значение естественной температуры грунта T лежит в доверительном интервале от замеренного детектором значения $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$. За-

Замеренные по глубине температуры грунта с помощью статического зондирования (СЗТ), термокосы в скважине от СЗТ и пробуренной скважине

Measured by the depth of the soil temperature using CPT and thermister string in CPT hole and borehole

Глубина от поверхности, м	Температура грунта, °С			Расхождения в замерах температуры грунта, °С	
	Статическое зондирование (СЗТ)	Скважина СЗТ-32	Скважина ВН-90	Δ СЗТ — Сква. СЗТ-32	Δ СЗТ — Сква. ВН-90
1	2	3	4	5	6
2,0	-0,25	-0,25	-0,10	0,00	-0,19
3,0	-0,23	-0,25	—	0,02	—
3,5	-0,21	-0,13	-0,24	-0,08	-0,01
4,0	-0,21	-0,12	—	-0,09	—
4,5	-0,10	-0,06	-0,12	-0,04	-0,02
5,0	-0,08	-0,18	—	+0,10	—
5,5	-0,10	-0,12	-0,25	+0,02	+0,11
6,0	-0,12	-0,07	—	-0,05	—
6,5	-0,22	—	—	—	—
7,0	-0,26	-0,12	—	-0,14	—
7,5	-0,12	—	-0,13	—	-0,03
8,0	0,12	0,19	—	-0,07	—
8,5	0,31	—	0,19	—	+0,08
9,0	0,61	0,50	—	+0,11	—
10,0	0,81	0,68	—	+0,13	—
11,0	1,04	1,06	—	-0,02	—

пись измеряемой температуры осуществляется с разрешением 0,01°С.

Точность замеров температуры с помощью термокосы составляет $\pm 0,1$ °С. Запись измеряемой температуры также осуществляется с разрешением 0,01°С.

Анализ соотношения доверительных интервалов, получаемых данных по двум видам измерительных приборов — зонд и термокоса, показывает, что во всех полученных парах значений (зонд — термокоса) наблюдается взаимное пересечение доверительных интервалов. Однако разница в фактически замеренных величинах температуры дает разный характер пересечения этих интервалов. Также взаимное положение измеренных значений температуры по отношению доверительных интервалов бывает двух типов.

Рассмотрим эти соотношения.

В первом случае (тип А) значения температуры, измеренные зондом, находятся внутри зоны доверительного интервала значения температуры, измеренного термокосой (рис. 10). Выявлено 10 из 13 пар таких значений. Они приведены в таблице и помечены зеленым.

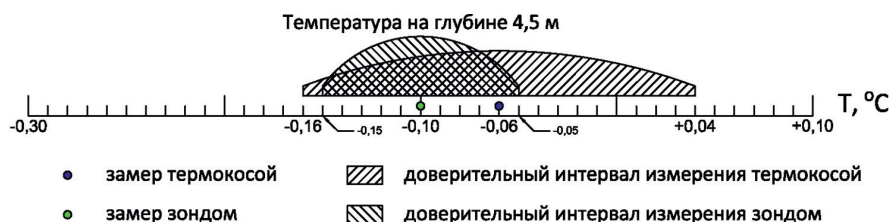


Рис. 10. Соотношение доверительных интервалов, тип А

Fig. 10. Confidence limits correspondence, type A

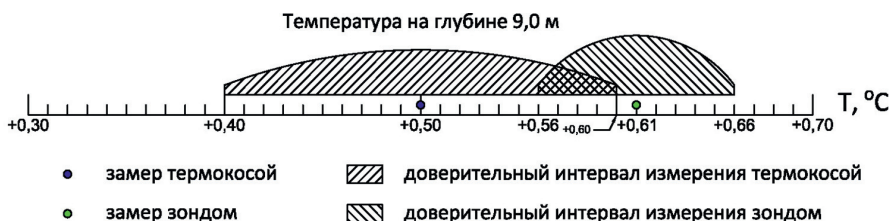


Рис. 11. Соотношение доверительных интервалов, тип В

Fig. 11. Confidence limits correspondence, type B

Другими словами, рассматриваемые значения, полученные с помощью статического зондирования, попадают в доверительный интервал значений, за-

меренных термокосой. В данном случае можно говорить о полном совпадении измеренных с помощью различных методов значений.

Во втором случае (тип В) значения температуры, измеренные зондом и термомосой, находятся за пределами зоны пересечения соответствующих доверительных интервалов (рис. 11). Тем не менее, во всех полученных парах значений температуры существует пересечение соответствующих доверительных интервалов. Таких пар замеренных величин температуры выявлено три из 13. Они приведены в таблице и отмечены желтым. Эти значения имеют немного большую разницу, но пересечение доверительных интервалов позволяет говорить о том, что истинное значение естественной температуры грунта T лежит в зоне пересечения доверительных интервалов.

Пересечение доверительных интервалов значений, полученных двумя независимыми измерительными приборами, позволяет говорить о том, что эти значения как в паре, так и по отдельности соответствуют необходимой точности замера температуры грунтов, предъявляемой действующими нормативами.

Анализ значений температуры, полученных двумя разными датчиками, позволяет использовать оба источника данных о температуре для определения фазового состояния грунта (мерзлый или


талый) на основании полученных данных по температуре грунта.

Видно, что все полученные данные отражают реальную картину распределения температуры грунтов в пределах опытной площадки, что подтверждается дополнительной термометрической скважиной ВН-90, диаметром 89 мм, пробуренной и обустроенной в соответствии с действующими нормативами. Важно отметить, что разница измеренных значений температуры в скважине, полученной статическим зондированием, и пробуренной в трех метрах скважине не превосходит $0,2^{\circ}\text{C}$.

Выводы

1. Результаты замеров температуры, полученные на опытной площадке с помощью статического зондирования и скважинной термометрии, подтверждают наличие толщи мерзлых грунтов в интервале от двух до восьми метров от поверхности.
2. Установлена хорошая корреляция замеров, полученных при помощи статического зондирования и замеров, выполненных двумя термомосами в скважинах различного диаметра. Температура мерзлых

грунтов составляет от $-0,08^{\circ}\text{C}$ до $-0,26^{\circ}\text{C}$. На основании сравнения не обнаружено противоречия и сильных расхождений в температурных замерах с помощью статического зондирования и скважинной термометрии.

3. Измерение температуры с помощью зонда для статического зондирования показывает более высокую точность по сравнению с замерами, выполненными термомосой, что обусловлено в первую очередь более высокой точностью температурного датчика в зонде по сравнению с датчиками термомосы в данном исследовании.
4. Использование статического зондирования для измерения температуры мерзлых грунтов может служить источником первичной информации о температурном состоянии грунтового массива для принятия решения о необходимости температурного мониторинга. В дальнейшем после выполнения статического зондирования точки могут быть оборудованы обсадной трубой для целей последующего мониторинга температуры грунтов. 

Список литературы

1. Рыжков И.Б., Исаев О.Н., 2010. Статическое зондирование грунтов. АСВ, Москва.
2. Isaev O.N., Ryzhkov I.B., 2010. TCPT in permafrost: penetrometer — soil thermophysical interaction. Proceedings of the Second International Symposium on Cone Penetration Testing. CPT'10, Huntington Beach, USA, 2010, Vol. 2, No. 2.-09.
3. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J., 2004. Cone penetration testing in geotechnical practice. Publishing house of the Spon Press, London and New York.
4. Ryzhkov I.B., Isaev O.N., 2016. Cone Penetration Testing of Soils in Geotechnics. Bokforlaget Efron and Dotter AB, Stockholm, Sweden.
5. Sokolov I.S., Volkov N.G., Isaev V.S., 2016. Cone Penetration Testing for Railways on Permafrost. Proceedings XI International Conference on Permafrost, Potsdam, Germany, 2016, pp. 1144–1145.
6. Volkov N., Sokolov I. and Jewell R., 2017. Investigation by Cone Penetration Tests of Piled Foundations in Frozen Soil Maintained by Thermosyphons. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences, Vol. 31, No. 1, pp. 40–58.
7. Volkov N., Sokolov I., Jewell R., 2018. Cone penetration testing of permafrost soils. Proceedings 5th European Conference on Permafrost, 2018, Chamonix Mont Blanc, France, pp. 215–216.
8. Volkov N., Sokolov I., Jewell R., 2018. CPT Testing in Permafrost. Proceedings 4th International Symposium on Cone Penetration Testing. CPT'18, Delft, Netherlands, 2018, pp. 1258–1268.
9. Официальный сайт GeoPrecision, 2018. Temperature Strings for M-Log5W-W2R10 Wireless Temperature Data Logger, 2015, URL: ftp://80.153.164.175/GeoPrec/Docu_Software/GP_Wireless/mlog5w_tempstring_pt1k.pdf (дата обращения: 15.06.2018).

References

1. Ryzhkov I.B., Isaev O.N., 2010. Cone Penetration Testing of Soils. ACB, Moscow. (in Russian)
2. Isaev O.N., Ryzhkov I.B., 2010. TCPT in permafrost: penetrometer — soil thermophysical interaction. Proceedings of the Second International Symposium on Cone Penetration Testing. CPT'10, Huntington Beach, USA, 2010, Vol. 2, No. 2.-09.
3. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J., 2004. Cone penetration testing in geotechnical practice. Publishing house of the Spon Press, London and New York.
4. Ryzhkov I.B., Isaev O.N., 2016. Cone Penetration Testing of Soils in Geotechnics. Bokforlaget Efron and Dotter AB, Stockholm, Sweden.

5. Sokolov I.S., Volkov N.G., Isaev V.S., 2016. Cone Penetration Testing for Railways on Permafrost. Proceedings XI International Conference on Permafrost, Potsdam, Germany, 2016, pp. 1144–1145.
6. Volkov N., Sokolov I. and Jewell R., 2017. Investigation by Cone Penetration Tests of Piled Foundations in Frozen Soil Maintained by Thermosyphons. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences, Vol. 31, No. 1, pp. 40–58.
7. Volkov N., Sokolov I., Jewell R., 2018. Cone penetration testing of permafrost soils. Proceedings 5th European Conference on Permafrost, 2018, Chamonix Mont Blanc, France, pp. 215–216.
8. Volkov N., Sokolov I., Jewell R., 2018. CPT Testing in Permafrost. Proceedings 4th International Symposium on Cone Penetration Testing. CPT'18, Delft, Netherlands, 2018, pp. 1258–1268.
9. Official website GeoPrecision, 2018. Temperature Strings for M-Log5W-W2R10 Wireless Temperature Data Logger, 2015, URL: ftp://80.153.164.175/GeoPrec/Docu_Software/GP_Wireless/mlog5w_tempstring_pt1k.pdf (accessed: 15 June 2018).

Информация об авторах

ВОЛКОВ НИКОЛАЙ ГЕНРИХОВИЧ*

Ведущий инженер ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» (группа компаний Фугро), к.г.-м.н., г. Москва, Россия

СОКОЛОВ ИВАН СЕРГЕЕВИЧ

Инженер-геолог ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» (группа компаний Фугро), г. Москва, Россия

Information about the authors

NIKOLAY G. VOLKOV*

Lead engineer, «GEOINGSERVICE» LLP (Fugro Group), P.Eng., PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

IVAN S. SOKOLOV

Geotechnical engineer, «GEOINGSERVICE» LLP (Fugro Group), Moscow, Russia

ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ», «ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ»,
«ГЕОТЕХНИКА» И «ГЕОРИСК»



+7 (495) 210-89-92

PR@GEOMARK.RU

WWW.GEOMARK.RU

www.geomark.ru