

4. Бурковская, Ю. В. Анализ методологических подходов к разработке профессиональных стандартов деятельности / Ю. В. Бурковская, И. В. Тюрина // Проблемы стандартизации в здравоохранении. — 2015. — № 9-10. — С. 19-23. — EDN UYMITV.

5. Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении правил разработки, применения и утверждения профессиональных стандартов» от 22.01.2013 № 23.

6. Постановление Правительства РФ от 31.03.2017 N 402 (ред. от 19.06.2019) «Об утверждении Правил выполнения инженерных изысканий, необходимых для подготовки документации по планировке территории, перечня видов инженерных изысканий, необходимых для подготовки документации по планировке территории, и о внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 19 января 2006 г. № 20»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

¹Блажко А. В., ¹Волков Н. Г., ²Кольцова В. М., ¹Лагоша Д. В.

¹ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС», 119331, г. Москва, проспект Вернадского 29, офис 1104
bav@fugro.ru, ngv@fugro.ru, dvl@fugro.ru

²Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, valeriakoltsova15@mail.ru

Аннотация. Определение фазового состояния грунтов в массиве, особенно в зоне распространения прерывистой и высокотемпературной мерзлоты, является актуальной проблемой, которая на практике очень часто остается нерешенной. Статическое зондирование грунтов позволяет с высокой точностью провести измерение их температуры. Однако, знания температуры грунта недостаточно, чтобы определить фазовое состояние грунта, другими словами, установить мерзлый грунт или нет. Накопленный авторами опыт и материалы по статическому зондированию грунтов позволили дать количественную оценку тепловых эффектов, а именно «нагрева зонда» и «охлаждения зонда». Это позволяет определить фазовое состояние грунтов массива в процессе выполнения статического зондирования непосредственно в полевых условиях.

Ключевые слова: статическое зондирование; тепловые эффекты; мерзлые грунты; вечная мерзлота; льдистые грунты; температура мерзлых грунтов.

При выполнении статического зондирования зонд внедряется в грунтовый массив со скоростью 2 см/с и параллельно записывает показания различных датчиков:

- Лобовое сопротивление (q_c , МПа),
- Боковое трение (f_s , МПа),
- Поровое давление (u_2 , МПа),
- Температура (T , °C),
- И др.

В талых грунтах в процессе задавливания зонд разогревается. Обычно величина разогрева варьирует от малых величин (илы, текучие глины) до десятков градусов (плотные пески) (рис. 1). Проблема нагрева известна среди специалистов в инженерной среде, использующих статическое зондирование. А в ISO 22476-1:2012 [6] и ГОСТ 19912-2012 [3]

есть указание на термокомпенсацию датчиков силы в зондах и указана причина, по которой происходит разогрев зондов.

Разогрев зонда в талых грунтах несмотря на то, что является проблемой для корректного считывания датчиков силы, может быть также и источником ценных данных, а именно, использоваться для оценки теплофизических свойств грунтов. Vardon и др. [7] в работе приводят методику оценки теплопроводности и теплоемкости талых грунтов на основе температурных диссипационных испытаний, а именно, по кривым диссипации температуры зонда (изменению температуры зонда во времени).

В мерзлых грунтах зонд разогревается существенно меньше и остывает существенно быстрее, чем в талых. Достаточно редко разогрев зонда превосходил несколько градусов по опыту авторов (рис. 2). В мерзлых грунтах достаточно часто встречается охлаждение зонда (рис. 3). Этот эффект известен и опубликован в работе Рыжкова И. Б и Исаева О. Н. [4].

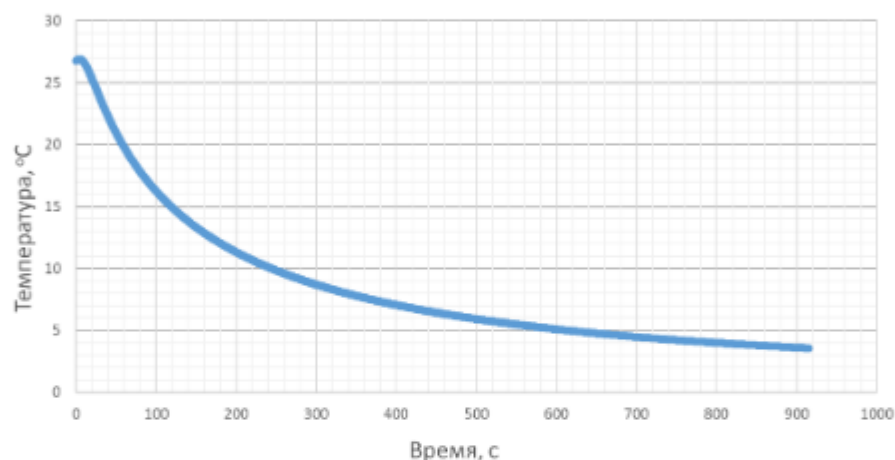


Рис. 1. Термограмма диссипационного испытания после теплового эффекта «нагрева зонда» в талом песке

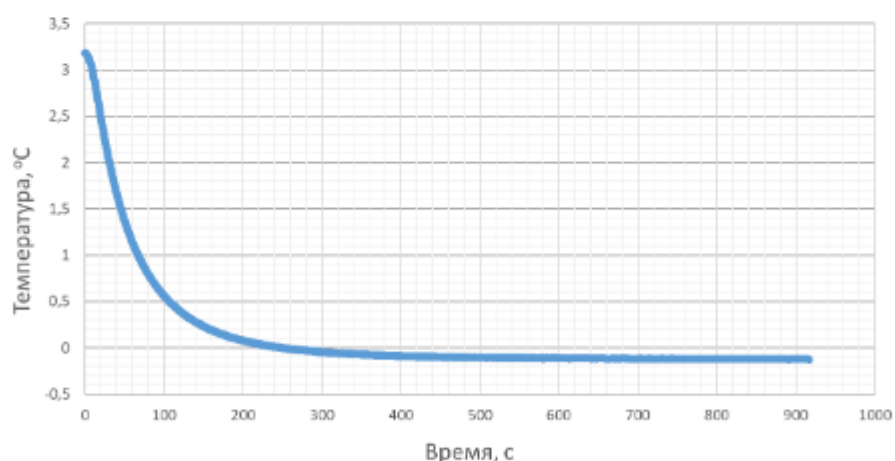


Рис. 2. Термограмма диссипационного испытания после теплового эффекта «нагрева зонда» в мерзлом песке

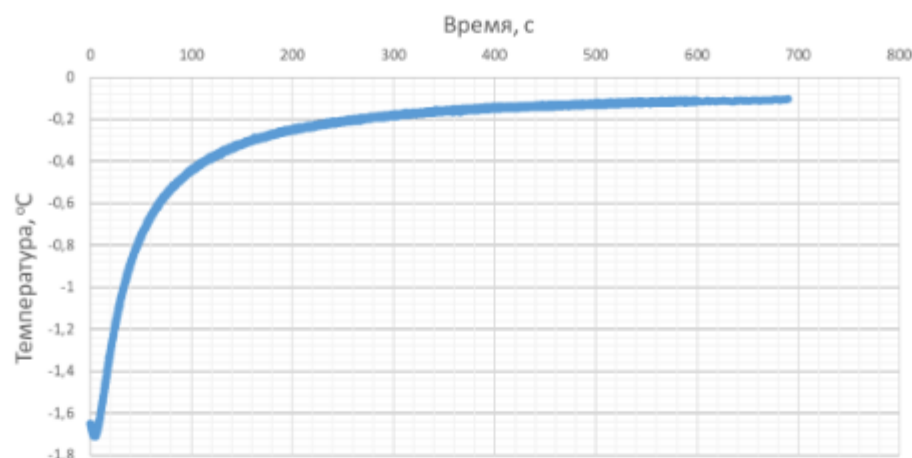


Рис. 3. Термограмма диссипационного испытания после теплового эффекта «охлаждения зонда» в мерзлой, сильнольдистой глине

Объяснение этого эффекта приводится достаточно кратко, а именно: «В результате теоретических исследований была разработана модель теплофизического взаимодействия системы «зонд-мерзлый грунт», объясняющая выявленный эффект «псевдоаномального охлаждения зонда». В основу модели легло положение о наличии двух взаимно противоположных тепловых процессов, происходящих на границе системы «движущийся зонд-мерзлый грунт». Первый обусловлен потоком поглощаемого зондом тепла, образующегося в результате трения; второй — потоком отдаваемого зондом тепла, образующегося в результате понижения температуры плавления льда при высоких давлениях. В зависимости от соотношения этих потоков температура зонда может повышаться или понижаться» [4]. Этот эффект также был зафиксирован, подтвержден и описан [1, 2, 5]. В результате анализа эффект «охлаждения зонда» был приурочен ко льдистым и сильнольдистым глинистым мерзлым грунтам, была показана взаимосвязь снижения температуры зонда в процессе задавливания зонда от величины лобового сопротивления [1]. Иными словами, впервые на эмпирической основе подтвержден вывод, основанный на теоретических исследованиях, что понижение температуры зонда обусловлено плавлением льда при высоких давлениях под конусом наконечника зонда.

Разогрев зонда в мерзлых грунтах также может сопровождаться переходом через температуру начала замерзания грунта в процессе испытания остывания (рис. 4). В таком случае наблюдается характерная «полка», схожая с «полкой» на термограмме замерзания, получаемой при испытаниях грунтов криоскопическим методом. Возможно, стоит рассмотреть такие кривые диссипации температуры на предмет определения температуры начала замерзания. Однако, данная тема не рассматривается в докладе и является направлением отдельного исследования.

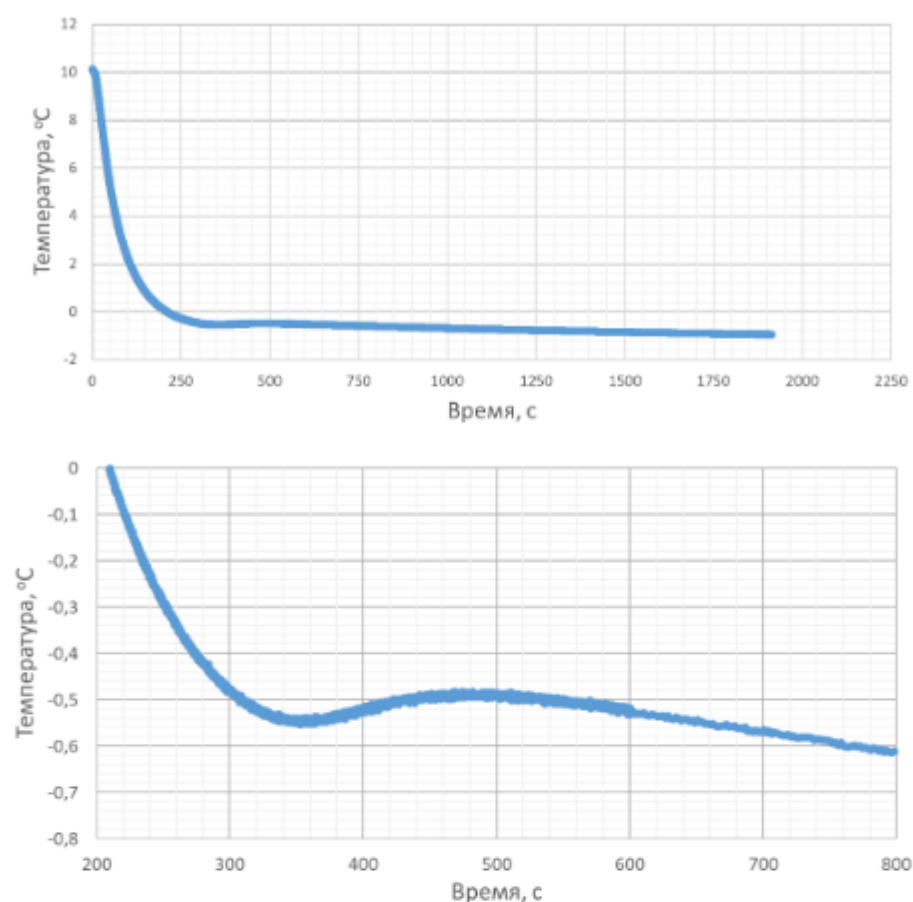


Рис. 4. Термограмма диссипационного испытания с переходом через температуру начала замерзания в мерзлом песке

Общая информация по выборке, используемой в данной работе, представлена в таблице 1. Были исследованы грунты различного состава, фазового состояния и генезиса на различных площадках, расположенных на территории России. Всего было проведено и проанализировано 265 термограмм, полученных в ходе измерения температуры в 87 точках на 6 площадках.

Таблица 1. Общая информация по анализируемой выборке данных

Район проведения испытаний	Количество испытаний в талых грунтах	Количество испытаний в мерзлых грунтах
г. Норильск (Талнах)	13	40
г. Салехард	72	73
г. Норильск	6	11
залив Шарапов шар	2	6
г. Норильск (центр Талнаха)	6	0
Амур	26	10
Всего	125	140

В данных испытаниях наблюдались результаты эффектов охлаждения и разогрева зонда. На основе статистических данных сопоставления скорости изменения температуры в грунтах различного состава и фазового состояния были проанализированы термограммы, выведены формулы для определения состояния грунтов в массиве при проведении термометрических определений.

Предлагается использовать коэффициенты, которые рассчитываются по следующим формулам:

1. Коэффициент рассеивания температуры для определений на 1, 2 и 5 минуте испытания:

$$TtK1 = |(T_{t0} - T_{t30})| / |(T_{t30} - T_{t60})|$$

$$TtK2 = |(T_{t0} - T_{t60})| / |(T_{t60} - T_{t120})|$$

$$TtK5 = |(T_{t0} - T_{t150})| / |(T_{t150} - T_{t300})|$$

где T_{t0} , T_{t60} ... T_{t300} — значение температуры зонда на соответствующей секунде термометрического определения.

2. Коэффициент ускорения рассеивания температуры:

$$TtK2/1 = TtK2 / TtK1$$

Процесс испытания грунтов с целью определения указанных коэффициентов предложено называть «испытанием на диссипацию температуры». Итоговым состоянием которого является приближение температуры зонда к естественной температуре грунта в окружающем массиве, иными словами определение температуры грунта.

Физическим смыслом коэффициентов $TtK1$, $TtK2$ и $TtK5$ является соотношение скорости изменения температуры за первую и вторую половину рассматриваемого участка температурной кривой, где 1, 2 и 5 отражают общую продолжительность исследуемого участка температурной кривой в минутах. Коэффициент $TtK2/1$ отражает ускорение, с которым изменяется температура зонда в ходе испытания. Результаты расчетов $TtK5$ и $TtK2/1$ были представлены в виде гистограмм (рис. 5, 6).

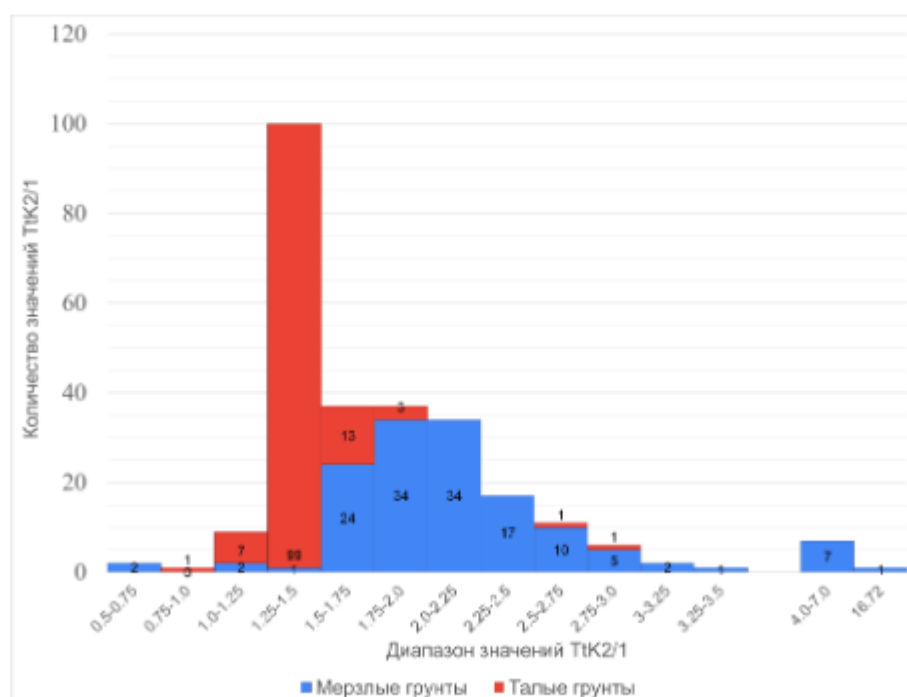


Рис. 5. Распределение значений $TtK2/1$

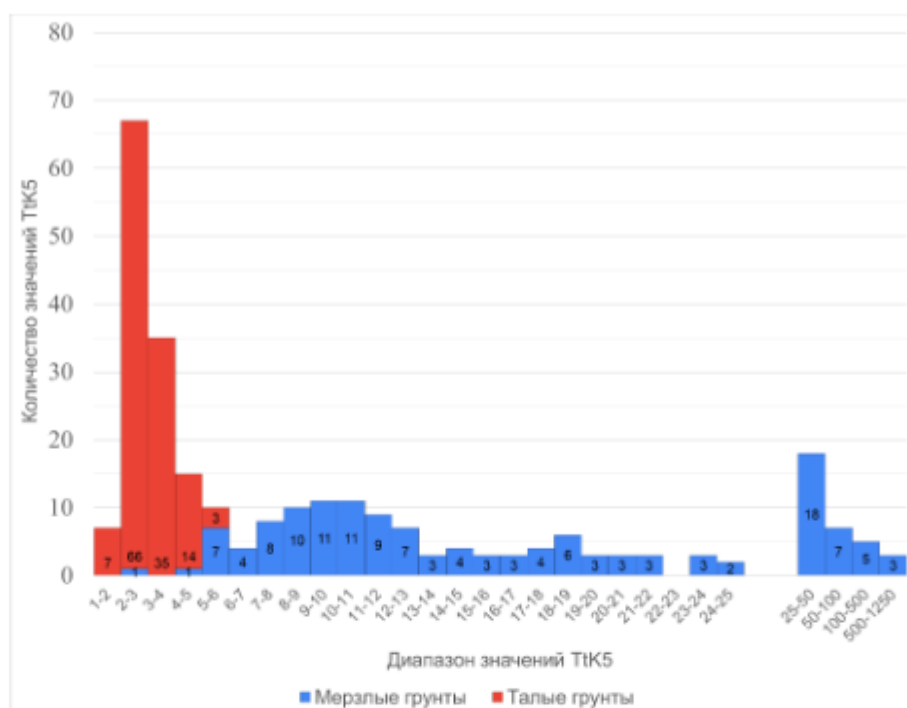


Рис. 6. Распределение значений TtK5

На основании расчетов и представленных гистограмм распределения значений вычисленных коэффициентов, их граничным значением (условием) можно принять величины $TtK5 = 5$ и $TtK2/1=1,54$. Величины меньше указанного значения относятся к грунтам в талом состоянии, значение более указанного — к грунтам в мерзлом состоянии.

Следующим шагом стало построение диаграмм, в которых по оси абсцисс выносятся значение предлагаемых коэффициентов, по оси ординат — значение q_c в начале испытания на диссипацию температуры. В результате значения $TtK5$ и $TtK2/1$, представленные на диаграмме, можно разделить на две не пересекающиеся области талых и мерзлых грунтов (рис. 7, 8).

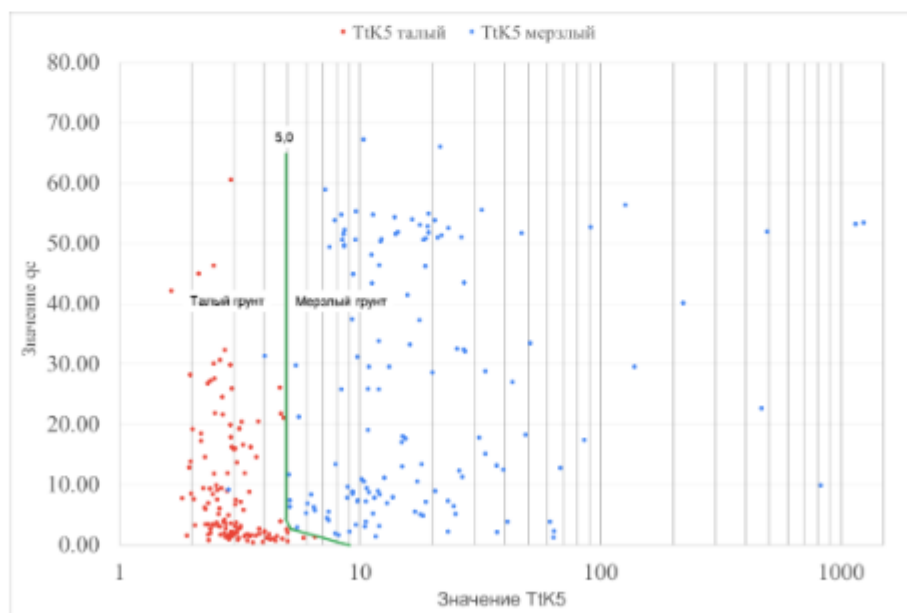


Рис. 7. Диаграмма определения состояния грунта по данным испытания на диссипацию температуры, с вычислением TtK5

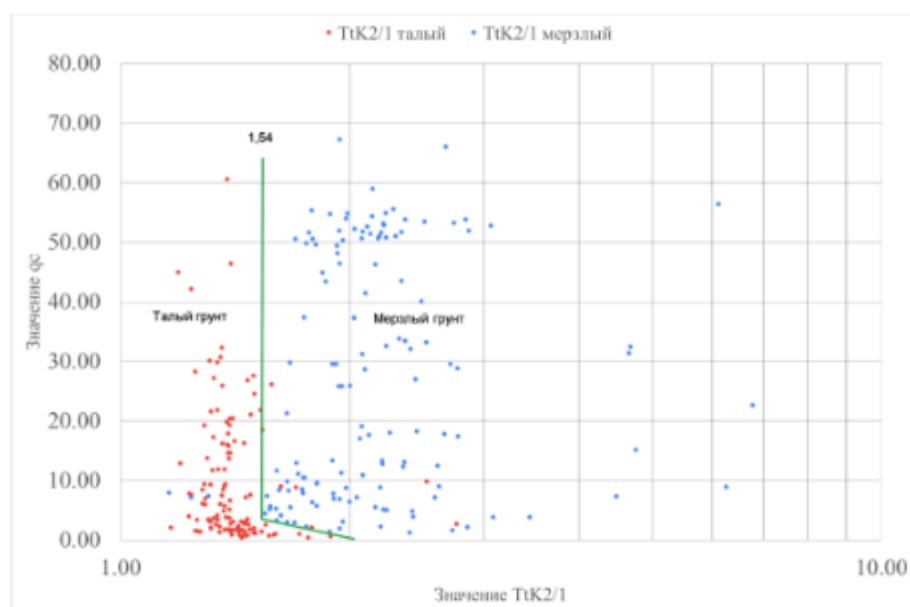


Рис. 8. Диаграмма определения состояния грунта по данным испытания на диссипацию температуры, с вычислением $TtK2/1$

Можно отметить, что затраты времени на определение $TtK2/1$ в 2,5 раза ниже, чем на определение $TtK5$. Определение $TtK2/1$ может проводиться во время наращивания штанг с незначительным увеличением затрат времени. Данный параметр может использоваться как экспресс метод, позволяющий определить фазовое состояние грунтов в исследуемом массиве, с целью уточнения дальнейших действий оператора установки статического зондирования (продолжение испытания на диссипацию температуры, определение естественной температуры грунта, изменение скорости (режима) проведения испытания грунтов методом статического зондирования).

В свою очередь определение $TtK5$ дает более надежный относительно $TtK2/1$ результат. Это выражается сильнее при построении точечной диаграммы $TtK5$ к qc , и, по мнению авторов, может использоваться для достоверного определения фазового состояния грунтов в массиве.

Список литературы

1. Блажко, А.В., Волков Н.Г., 2022 Тепловые эффекты, возникающие в грунтах при статическом зондировании / А.В. Блажко, Н.Г. Волков // Материалы конференции полевые и лабораторные методы исследования грунтов — проблемы и решения — 20 мая 2022 — С. 52–57
2. Волков, Н.Г., Соколов, И.С., 2018. Сравнение температурных замеров грунтов с помощью статического зондирования и скважинной термометрии / Н.Г. Волков, И.С. Соколов // Инженерные изыскания. — 2018. — № 7-8. — С. 16-24.
3. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.
4. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. М.: АСВ, 2010. 496 с.
5. Соколов И.С. Методика определения прочностных свойств мерзлых грунтов статическим зондированием: дис. ... к. г.-м. н. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. 149 с.
6. ISO 22476-1:2012 Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 1: electrical cone and piezocone penetration test, IDT.
7. Vardon P.J., Peuchen J. CPT correlations for thermal properties of soils // ActaGeotechnica. 2021. Vol. 16. P. 635–646. <https://doi.org/10.1007/s11440-020-01027-2>.