

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2024. № 1. (122). С. 21-36.

Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2024. № 1. (122). P. 21-36.

## ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 624.139

doi: 10.26110/ARCTIC.2024.122.1.002

### ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЕДИНИЧНЫХ СЕЗОННОДЕЙСТВУЮЩИХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

*Антон Иванович Синицкий<sup>1</sup>, Кирилл Александрович  
Плесовских<sup>2</sup>, Владислав Евгеньевич Пушкарев<sup>3</sup>*

*<sup>1, 2, 3</sup>Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия*

*<sup>1</sup>AISinitskii@yanao.ru <https://orcid.org/0000-0002-3733-7980>*

*<sup>2</sup>plesovskih.ka@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0000-0631-7656>*

*<sup>3</sup>vladpuskr@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-4713-209X>*

**Аннотация.** Апробирована методика по диагностике работоспособности систем и устройств термостабилизации грунтов с использованием тепловизоров в условиях городской застройки. Получены результаты работоспособности сезоннодействующих установок под объектами мониторинга и проведен анализ их эффективности.

**Ключевые слова:** сезоннодействующее охлаждающее устройство; тепловизор; системы температурной стабилизации грунтов; измерение температур.

**Цитирование:** А.И. Синицкий, К.А. Плесовских, В.Е. Пушкарев. Тепловизионная диагностика единичных сезоннодействующих охлаждающих устройств // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2024. (122). № 1. С. 21–36. Doi: 10.26110/ARCTIC.2024.122.1.002.

Original article

## THERMAL IMAGING DIAGNOSTICS OF SINGLE SEASONAL COOLING DEVICES

*Anton I. Sinitsky<sup>1</sup>, Kirill A. Plesovskikh<sup>2</sup>,  
Vladislav E. Pushkarev<sup>3</sup>*

<sup>1, 2, 3</sup>Arctic Research Center, Salekhard, Russia

<sup>1</sup>*AI*Sinitskii@yanao.ru <https://orcid.org/0000-0002-3733-7980>

<sup>2</sup>*plesovskih.ka@yandex.ru* <https://orcid.org/0009-0000-0631-7656>

<sup>3</sup>*vladpuskr@mail.ru* <https://orcid.org/0000-0002-4713-209X>

**Abstract.** The methodology for diagnosing the operability of systems and devices for thermal stabilization of soils using thermal imagers in urban conditions has been tested. The results of the operability of seasonal installations under monitoring objects were obtained and an analysis of their effectiveness was carried out.

**Keywords:** seasonal cooling device, thermal imaging camera, soil temperature stabilization systems, temperature measurement.

**Citacion:** A.I. Sinitsky, K.A. Plesovskikh, V.E. Pushkarev Thermal imaging diagnostics of single seasonal cooling devices // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2024. (122). № 1. P. 21–36. doi: 10.26110/ARCTIC.2024.122.1.002.

### *Введение*

Для предотвращения и устранения аварийных ситуаций в периоды эксплуатации зданий и сооружений в криолитозоне, для замораживания талых, охлаждения пластично-мерзлых грунтов и поддержания состояния многолетнемерзлых грунтов (далее – ММГ) используются системы и устройства температурной стабилизации грунтов (далее – ТСГ) оснований. Применение систем и устройств ТСГ актуально в связи с потеплением климата, в целом способствующим сокращению площади распространения ММГ, повышению их температуры, понижению их прочности и несущей способности, что значительно усложняет проблемы эксплуатации жилых зданий и сооружений в криолитозоне.

Весомая роль в обеспечении эксплуатационной надежности и долговечности фундаментов с установленными в их основании системами

сезонно-охлаждающих установок (далее СОУ) принадлежит геотехническому мониторингу, в который входят контроль работоспособности и эффективности работы СОУ, состояния температурного поля грунтов оснований и др. [1].

Контроль работоспособности систем ТСГ в рамках геотехнического мониторинга базируется на их основном принципе работы в холодный период года, который заключается в естественно-действующей циркуляции теплоносителя (углекислота, аммиак и др.) между подземной трубной конструкцией, где он нагревается и переходит в парообразное состояние, и находящимся на земной поверхности конденсаторным блоком, где этот теплоноситель остывает и конденсируется. В дальнейшем сконденсированная жидкость под влиянием силы тяжести вновь опускается в подземную конструкцию. Тем самым происходит охлаждение и замерзание грунтов, формирующих основания зданий и сооружений. Сравнивая температуру наружного воздуха с температурой на оробрении термостабилизатора и конденсаторного блока и подведенных к ним труб с теплоносителем, можно судить об эффективности работы систем ТСГ [2, 3].

Таким образом, основная цель данной работы является оценка эффективности работы систем ТСГ на объектах мониторинга и апробация применяемой методики в условиях городской застройки.

### *Материалы и методы*

Для успешной эксплуатации систем температурной стабилизации грунтов важнейшей задачей становится выявление таких, которые перестают работать по техническим причинам. Такими причинами могут быть: попадание в состав газа-теплоносителя других газовых примесей, способствующих остановке или затруднению его циркуляции в системе; разгерметизация системы; нарушение состояния оробрения; нарушение проектного положения конденсаторной части и др.

Существующие мероприятия по определению выхода систем из строя весьма трудоемки и требуют значительное количество материальных и финансовых затрат. Именно поэтому определение работоспособности и тепловой эффективности работы сезоннодействующих охлаждающих устройств эффективнее всего выполнять методом тепловизионной диагностики, которая предусматривает использование тепловизора (термографа).

Термограммы, получаемые с помощью тепловизора, позволяют судить о качестве заправки по состоянию однородности температурного поля на поверхности конденсаторной части (перепад температур между ее верхней и нижней частями не должен превышать  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [1, 4, 5].

Работы по обследованию выполнялись согласно «методическим ука-

заниям по диагностике работоспособности систем и устройств термостабилизации грунтов» [6], разработанной для использования на газо- и нефтепромысловых комплексах.

Выполнение тепловизионной диагностики оребренной поверхности термостабилизатора (конденсаторного блока) и подведенных к ним труб с теплоносителем осуществлялось с помощью тепловизора RGK TL-80, который предназначен для использования на предприятиях энергетики, строительства, машиностроения, радиоэлектронной, авиационной промышленности и других отраслей. Условия эксплуатации термографа могут быть как лабораторными, так и полевыми. Диапазон рабочих температур от  $-15^{\circ}$  до  $+60^{\circ}$  C.

Съемка производилась в технических подпольях на объектах г. Салехарда:

1. Школа № 4 в мкр. Богдана Кнунянца;
2. Многоквартирный жилой дом на ул. Зои Космодемьянской, 68;
3. «Салехардская дирекция единого заказчика» на ул. Свердлова, 49.

Все работы выполнялись при температуре окружающего воздуха ниже  $-15^{\circ}$  C.

### *Результаты исследования и их обсуждение*

#### **1. Школа № 4 в мкр. Богдана Кнунянца.**

Объектом работ по тепловизионной диагностике являлось новое здание школы № 4 на 800 мест, расположенное в микрорайоне Богдана Кнунянца (рис. 1). Система термостабилизации грунтов на объекте установлена в 2020 году.

Согласно рабочей документации (регламент геотехнического мониторинга, 14/09/2017-ПИР-ГТМ) на объекте установлены термостабилизаторы типа НФ-19,5 глубиной 18,0 м (56 шт.); НФ-21,5 глубиной 20,0 м (494 шт.), компании ООО «Ньюфрост», используемый хладагент – Хладон 22 (дифторхлорметан,  $\text{CHClF}_2$ ).

В рамках обследования данного объекта специалистами сектора геотехники ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» был проведен визуальный осмотр проветриваемого подполья, обследование СОУ, а также были установлены пять термометрических кос в скважины, расположенные равномерно по площади здания, с целью получения данных температуры грунтов для дополнительной верификации работоспособности СОУ.

По данным термографической съемки было выявлено, что большинство термостабилизаторов находятся в рабочем состоянии (рис. 2).



Рис. 1. Объект обследования – здание школы на 800 мест в микрорайоне Богдана Кнунянца

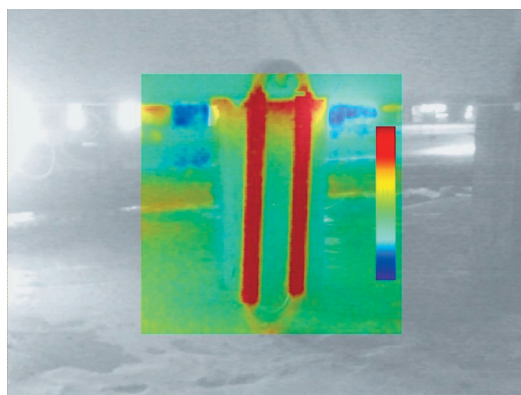


Рис. 2. Работающее СОУ

Количество с частичной (неполной) работой термостабилизаторов, где фиксируется разница температур верхней и нижней частях оребрения более  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , менее 1% от общего количества сезоннодействующих охлаждающих устройств (рис. 3).

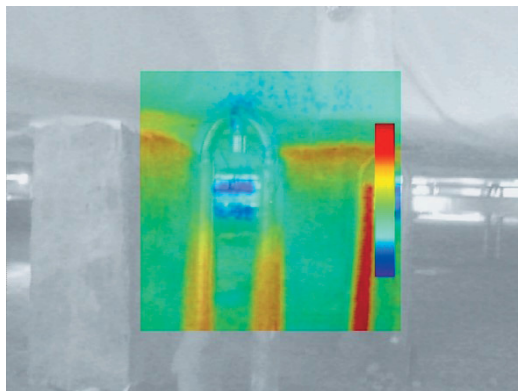


Рис. 3. Пример частично работающего СОУ

Такие случаи частичной работоспособности преимущественно наблюдаются в центральных частях корпусов в связи с отсутствием обдува конденсаторной части.

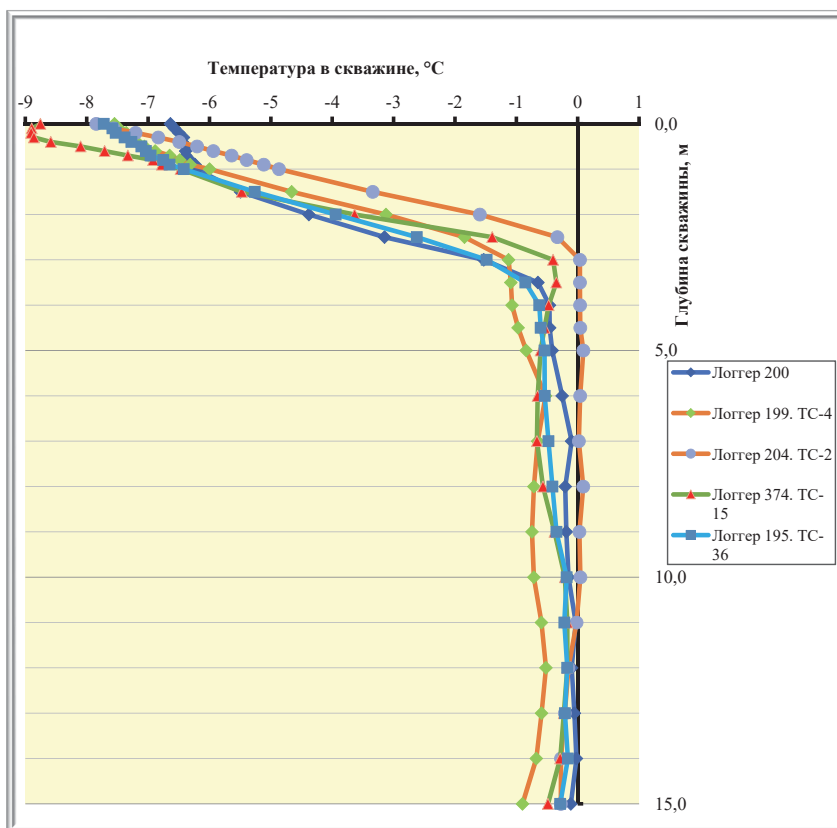


Рис. 4. График распределения температур грунтов основания школы № 4 на 22.03.2023 г.

Под зданием школы было оборудовано пять термометрических скважин [7] системой автоматического мониторинга мерзлоты АСГТМ ЯМАЛ АРКТИКА (термокоса с логгером) модификаций «САММ-15-2-GSM» и «САММ-15-2», производства ИП Кураков С.А., результаты измерений представлены на рис. 4.

По результатам проведенного обследования системы температурной стабилизации грунтов под школой № 4 можно сделать следующие выводы:

1. Количество частично работоспособных и нерабочих сезонно-охлаждающих устройств составляет менее 1%. Все остальные находятся в полностью рабочем состоянии;

2. По результатам измерения температур грунтов основания выявлено, что в интервале глубин от двух до трех метров наблюдается резкий скачок температур от минус 4 до минус 1 и даже выше, что предположительно можно отнести к подошве сезонно-талого слоя. В интервале глубин от 4 до 15 метров отмечается «высокотемпературная» мерзлота с показателями температуры грунтов (min, max) от минус 0,01 до минус 0,97 °С;

3. В связи с достаточно высокой температурой, близкой к нулю, грунтов на глубине нулевых теплооборотов, можно судить, что все термостабилизаторы находятся в состоянии высокой холодопроизводительности [8, 9], поскольку все в полностью рабочем состоянии.

## 2. Многоквартирный жилой дом на ул. Зои Космодемьянской, 68.

Система термостабилизации грунтов на объекте (рис. 5) установлена в 2016 году.



Рис. 5. Объект обследования — многоквартирный жилой дом, ул. Зои Космодемьянской, 68

В рамках обследования данного объекта было проведено три полевых выезда с целью визуального осмотра и обследования сезонно-охлаждающих устройств.

В ходе проведения работ по визуальному осмотру общего состояния систем температурной стабилизации было выявлено достаточно большое количество СОУ с дефектами (19% от общего числа). Основными дефектами являются замятие оребрения, отклонение от вертикали конструкции термостабилизатора (наклон корпуса), наличие бетона или пенопласта в оребрении (рис. 6). Следует отметить, что данные СОУ находятся в практически нерабочем состоянии («тусклый» свет на термограммах).



Рис. 6. Дефект СОУ. Наличие пенопласта в оребрении

Вместе с этим на объекте мониторинга выявлено нарушение требований эксплуатации проветриваемого подполья на зданиях, запроектированных по 1 принципу строительства на ММГ. Вся территория подполья закрыта по периметру профилированным листом, вследствие чего наблюдается слабая циркуляция воздуха, что негативно сказывается на работе СОУ [10].

В результате камеральной обработки данных были построены графики распределения температуры грунтов основания на даты проведения обследований. Данные представлены на рис. 7.

По выполненному обследованию можно сделать следующие выводы:

1. Все сезоннодействующие охлаждающие устройства находятся в частично работающем состоянии. Работоспособность от 10 до 85% (рис. 8), 100% работоспособность СОУ;



2. По данным термометрических замеров видно, что весь массив грунтов находится в мерзлом состоянии;

3. По полученным данным можно судить о том, что холодопроизводительность всех охлаждающих устройств снижена (часть устройства на рис. 8 с «ярким» (теплым) конденсатором, а часть – с «тусклым» (холодным)), что связано с дневным повышением температуры воздуха и приближением достижения максимального радиуса действия на температуру грунтов.

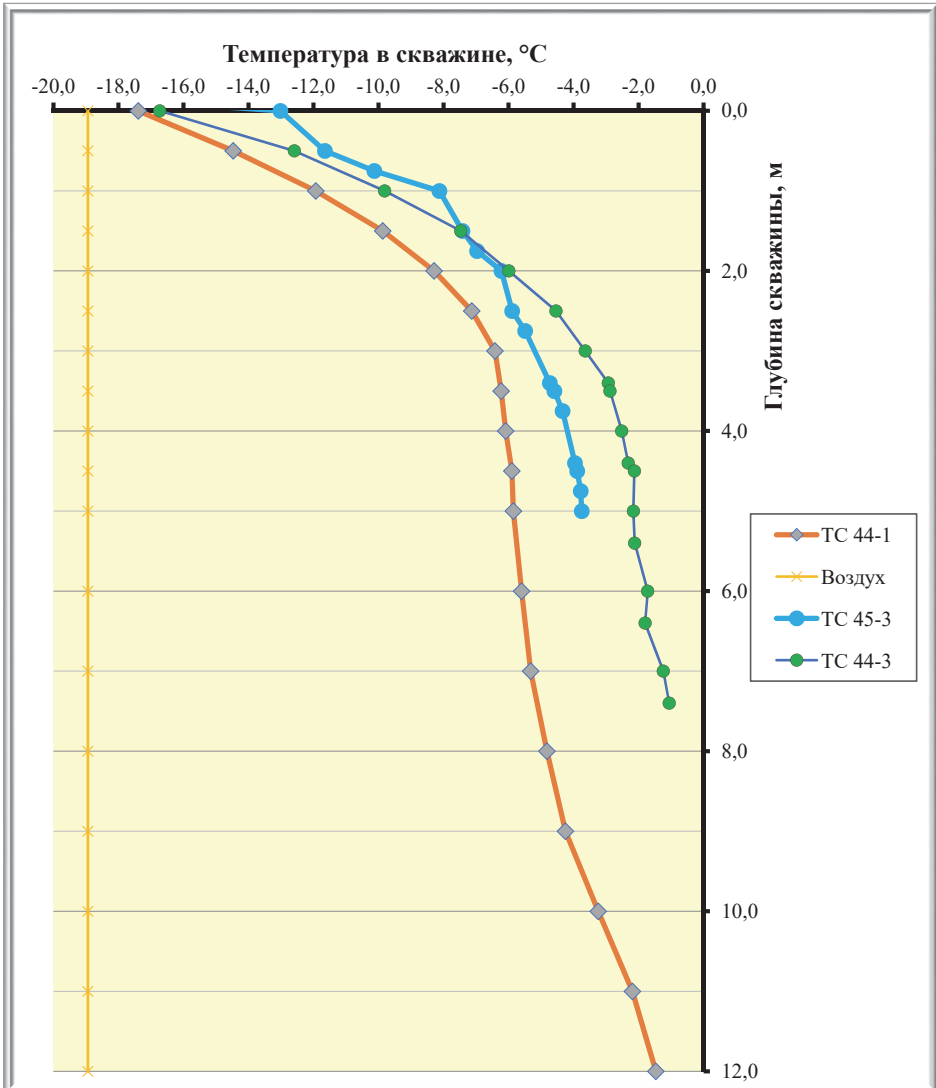


Рис. 7. График распределения температуры грунтов основания многоквартирного жилого дома (МЖД) по ул. Зои Космодемьянской, 68

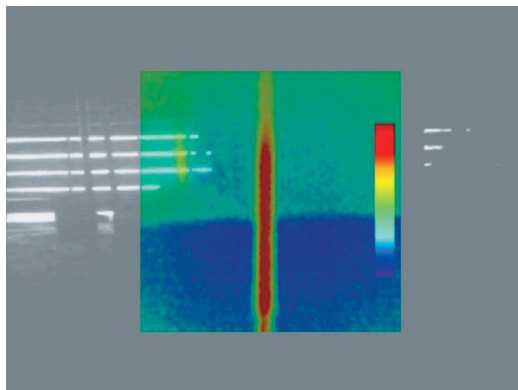


Рис. 8. Общий вид частично работающего термостабилизатора

### 3. «Салехардская дирекция единого заказчика» на ул. Свердлова, 49.

Объектом обследования СОУ посредством тепловизионной диагностики являлось административное здание Муниципальное казенное учреждение «Салехардская дирекция единого заказчика», расположенное по адресу: улица Свердлова, 49 (рис. 9).

Система термостабилизации грунтов на объекте установлена предположительно в 2002 г., производитель – ООО «Таис-С», используемый хладагент – Хладон 22 (дифторхлорметан,  $\text{CHClF}_2$ ).



Рис. 9. Схема расположения объекта исследования

Был выполнен осмотр только восточной части объекта (1/3 здания) в количестве 22 СОУ (рис. 10). В связи с техническими неполадками в работе тепловизора дальнейшее обследование было прекращено.

При проведении обследования обнаружено, что из обследованных термостабилизаторов на объекте 36% от общего числа СОУ находятся в полностью не рабочем состоянии (рис. 11).

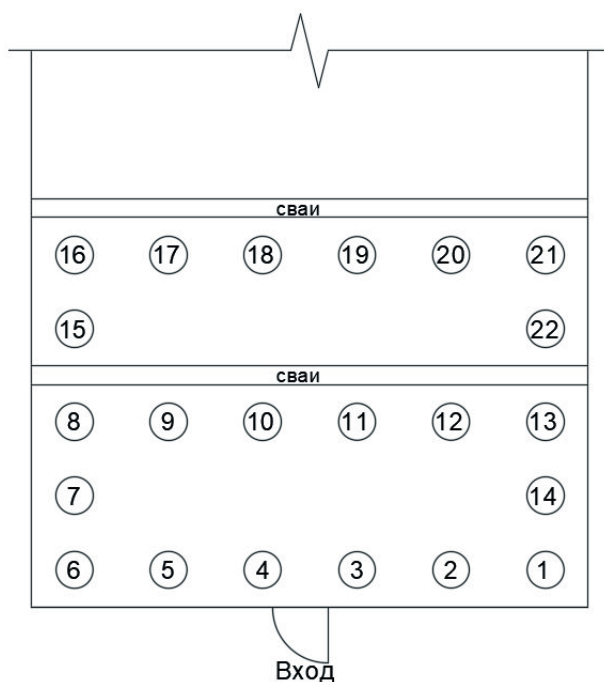


Рис. 10. Схема расположения обследованных СОУ

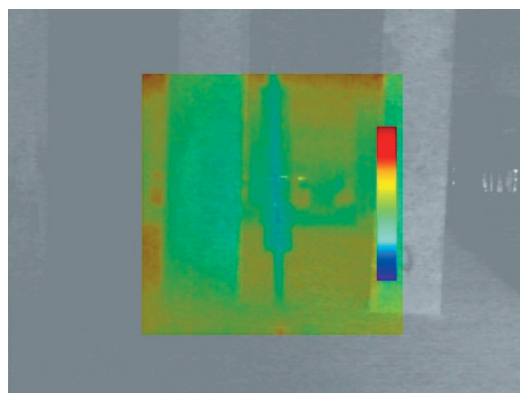


Рис. 11. Пример СОУ в полностью нерабочем состоянии. СОУ № 10. Температура СОУ составляет  $-19^{\circ}\text{C}$

Оставшаяся часть обследованных сезоннодействующих устройств находится в частично рабочем состоянии (от 20 до 90%).

Также были обнаружены СОУ, у которых температура оребрения сливалась с температурой окружающей среды, но температура подводящей к конденсатору трубкой была гораздо выше (рис. 12).

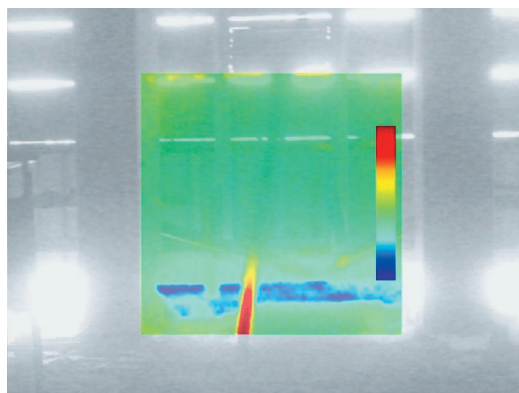


Рис. 12. Пример СОУ с неработающей конденсаторной частью оребрения, но работающей подводящей трубкой

По выполненному обследованию данного объекта можно сделать следующие выводы:

1. Почти 40% обследованных сезоннодействующих охлаждающих устройств на объекте находятся в полностью нерабочем состоянии;
2. Несмотря на неудовлетворительную работу СОУ, массив грунтов основания под объектом находится в мерзлом состоянии. Температурные кривые в обеих скважинах имеют равномерный характер, без резких перепадов, что говорит о равномерном промерзании грунтового массива под зданием. Средняя температура грунтов на глубине 12 метров минус 1 °С и ниже;
3. По полученным данным можно предположить, что холодопроизводительность всех охлаждающих устройств сильно снижена, что связано с достижением максимального воздействия устройств на грунты основания (СОУ охладили объем грунта в их диапазоне действия), так как температура грунтов отрицательная (рис. 13).

### *Выводы и заключение*

В результате проведенных работ по тепловизионной диагностике систем температурной стабилизации грунтов оснований трех различных капитальных зданий в г. Салехарде были сделаны следующие выводы.

На новом объекте «Школа на 800 мест» (м-н Б. Кнунянца), где система

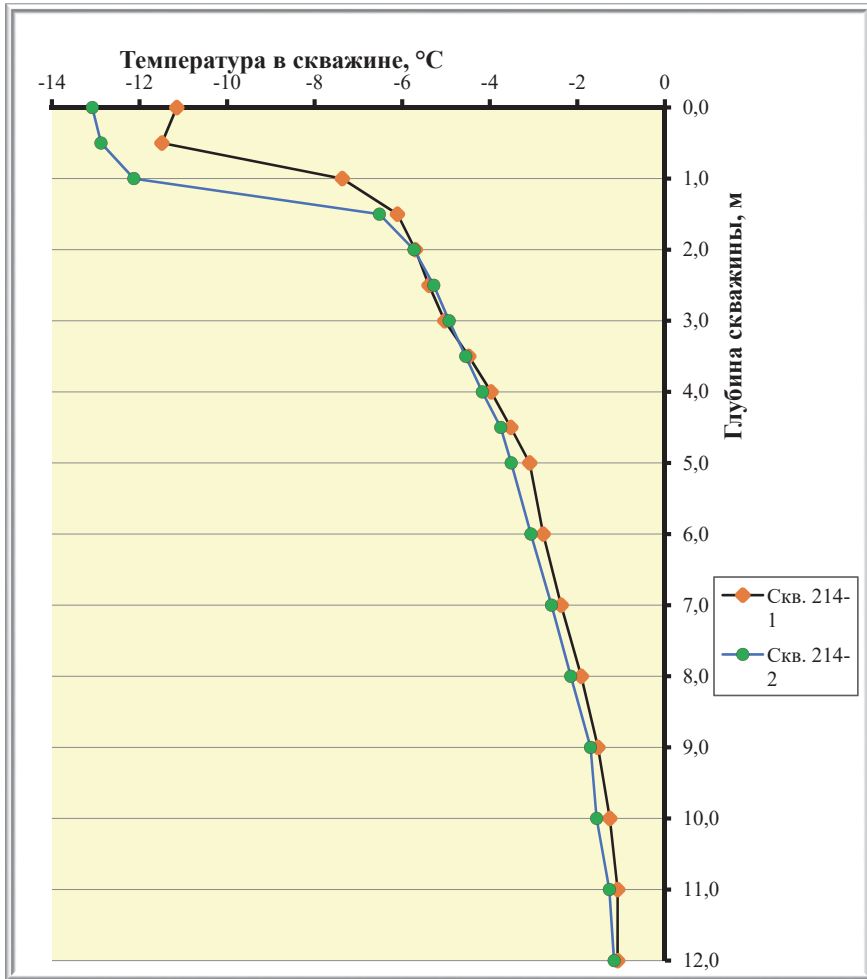


Рис. 13. График распределения температуры грунтов основания 06.04.2023 под капитальным строением по улице Свердлова, 49

ТСГ установлена в 2020 году, отмечается практически 100% работоспособность СОУ.

В интервале глубин от двух до трех метров наблюдается подошва сезонного слоя промерзания, сопровождающаяся резким скачком температур от минус 4 до минус 1 и даже выше. В интервале глубин от 4 до 15 метров отмечается «высокотемпературная» мерзлота с показателями температуры грунтов (min, max) от минус 0,01 до минус 0,97 °C.

На объекте «МЖД на ул. Зои Космодемьянской, 68» отмечается частичная работа сезоннодействующих охлаждающих устройств (год установки – 2016), их работоспособность варьируется от 10 до 85%. При этом весь массив грунтов оснований под объектом находится в мерзлом

состоянии. Средняя температура грунтов на глубине 12 метров около минус 2 °С.

Максимальные температуры грунтов отмечаются в северо-западном углу здания, в районе термометрической скважины 44-3, где на глубине 7,5 м температура грунтов составила минус 1,06 °С.

За почти трехлетний период наблюдений за температурой грунтов на объекте отмечается, что на глубине от 0 до 3 метров сезонные колебания атмосферы перекрывают влияние работы термостабилизаторов, и только на условной границе 4 метра и глубже работа СОУ становится очевидна, ежегодно здесь наблюдается понижение температуры в среднем на 0,3 °С, что свидетельствует о стабилизации теплового поля грунтового массива в отрицательной области.

На объекте «Салехардская ДЕЗ на ул. Сведрова, 49» 40% от общего числа обследованных сезоннодействующих охлаждающих устройств находятся в нерабочем состоянии. Другая часть СОУ находится в широком диапазоне частичной работоспособности (от 20 до 90%).

Несмотря на неудовлетворительную работу СОУ, массив грунтов оснований под объектом находится в мерзлом состоянии. Так как температурные кривые по скважинам имеют равномерный характер, без резких перепадов, можно сделать вывод о том, что установленная еще в 2002 году система ТСГ на объекте уже выполнила свое предназначение и проморозила грунтовой массив под зданием. Средняя температура грунтов на глубине 12 метров составила минус 1 °С и ниже.

### *Список источников*

---

1. Методы геотехнического мониторинга при изменении геокриологических условий территории / А.А. Попова, Е.А. Еремеева, Ю.В. Власова, Т.В. Никитина // Научный вестник Арктики. – 2022. – № 12. – С. 44-50. – DOI 10.52978/25421220\_2022\_12\_44-50.
2. Системы температурной стабилизации грунтов оснований в криолитозоне: Актуальные вопросы исследований, расчетов, проектирования, производства, строительства, авторского надзора и мониторинга / науч. ред. Г.М. Долгих; НПО «Фундаментстройаркос». – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014. – 217 с.
3. Стрижков С.Н. Аэротепловизионные исследования систем температурной стабилизации грунта на объектах трубопроводного транспорта / С.Н. Стрижков, А.С. Загребнев // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2012. – № 4 (32). – С. 8-12.
4. Стрижков С.Н. Мониторинг как критерий оценки надежности объектов с системами температурной стабилизации грунтов / С.Н. Стрижков, Н.А. Скорбилин // Трубопроводный транспорт: теория и прак-

- тика. – 2012. – № 1 (29). – С. 10-17.
5. Электронный ресурс: Стрижков С.Н. К вопросу о качестве работы сезоннодействующих охлаждающих устройств / Геоинфо: <https://geoinfo.ru/product/strizhkov-sergej-nikolaevich/k-voprosu-o-kachestve-raboty-sezonno-dejstvuyushchih-ohlazhdayushchih-ustrojstv-35150.shtml>
  6. Методические указания по диагностике работоспособности систем и устройств термостабилизации грунтов с использованием тепловизоров Flir B335 и Flir B425. НПО «Фундаментстройаркос» / С.Н. Окунев и др. – Тюмень, 2012.
  7. ГОСТ 25358- 2020 «Грунты. Метод полевого определения температуры».
  8. Богданов М.И., Усачев А.А. Вопросы тепловизионной диагностики сезоннодействующих охлаждающих устройств (СОУ). Геотехника, 2020. – Том XII, № 4. – С. 60–70.
  9. Шепитько Т.В. Оценка влияния сезоннодействующих охлаждающих устройств на теплофизические процессы грунтов основания железнодорожной насыпи / Т.В. Шепитько, И.А. Артющенко // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21, № 1 (104). – С. 14-21. – DOI 10.30932/1992-3252-2023-1-2.
  10. СП 497.1325800.2020 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Правила эксплуатации».

### *Сведения об авторах*

---

**Синицкий Антон Иванович**, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник сектора геотехники ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». Сфера научных интересов: натурные испытания талых грунтов, технологии термостабилизации грунтов, геотехника в криолитозоне, изучение трансформации многолетнемерзлых пород под влиянием климатических изменений и антропогенной нагрузки, геокриологический мониторинг, проектное управление.

**Плесовских Кирилл Александрович** в 2021 году окончил Тюменский индустриальный университет по специальности «строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». С 2021 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия), младший научный сотрудник. Область научных интересов: строительство автомобильных дорог в криолитозоне, конструкции земляного полотна с применением геосинтетических материалов, геотехника в криолитозоне.

**Пушкарев Владислав Евгеньевич** в 2021 году окончил Тюменский индустриальный университет по специальности «строительство, эксплуата-

ция, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». С 2021 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия), младший научный сотрудник. Область научных интересов: строительство автомобильных дорог в криолитозоне, мониторинг автомобильных дорог с применением геофизических методов исследования.

### *Участие авторов*

---

Синицкий А.И. – натурное обследование проветриваемых подполий, температурный мониторинг объектов, редакторская правка текста статьи; Плесовских К.А. – натурное обследование проветриваемых подполий, сбор и первичная обработка материала, построение графиков и диаграмм, работа над текстом статьи;

Пушкарев В.Е. – натурное обследование проветриваемых подполий, сбор и первичная обработка материала, построение графиков и диаграмм, работа над текстом статьи.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Статья поступила в редакцию 01.02.2024 г., принята к публикации 27.02.2024.

The article was submitted on February 01, 2024, accepted for publication on February 27, 2024.