

# Автоматизация процесса термометрии в рамках развития системы геотехнического контроля АО «ТомскНИПНефть»

Бадичев К.С.<sup>1</sup>, Мазовец С.А.<sup>1</sup>, Килин Е.А.<sup>1</sup>, Напрышкин А.А.<sup>1</sup>, Гилев Н.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ТомскНИПНефть», Томск, Россия, <sup>2</sup>ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия  
nipineft@tomsknipi.ru

## Аннотация

В статье приводятся результаты, полученные Томским научно-исследовательским институтом нефти и газа при создании программного модуля для Информационного ресурса «Геотехнический контроль» (ИР ГК), описываются его возможности и области применения. Настоящий программный компонент позволяет при получении данных с термометрического оборудования минимизировать дополнительные ручные операции и риски возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором. Применение ИР ГК, включающего данный программный компонент, способствует повышению экологической безопасности и снижению трудозатрат на проведение геотехнического мониторинга.

## Материалы и методы

В ходе данной работы был проведен анализ способов передачи данных с термометрических кос для наблюдений за температурным режимом грунтов и разработан программный модуль консолидации информации, собранной с термометрического оборудования.

## Ключевые слова

геотехнический мониторинг, автоматизация, температура грунта, термометрическое оборудование, термометрические косы

## Для цитирования

Бадичев К.С., Мазовец С.А., Килин Е.А., Напрышкин А.А., Гилев Н.Г. Автоматизация процесса термометрии в рамках развития системы геотехнического контроля в АО «ТомскНИПНефть» // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 7. С. 122–126. DOI: 10.24412/2076-6785-2023-7-122-126

Поступила в редакцию: 26.10.2023

## AUTOMATION

UDC 681.518:622.276.012 | Original Paper

## Thermometry process automation as a part of the geotechnical control system implementation in Tomsk Scientific Research Institute of Oil and Gas

Badichev K.S.<sup>1</sup>, Mazovets S.A.<sup>1</sup>, Kilin E.A.<sup>1</sup>, Napryushkin A.A.<sup>1</sup>, Gilev N.G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>“TomskNIPneft” JSC, Tomsk, Russia, <sup>2</sup>“NK “Rosneft” PJSC, Moscow, Russia  
nipineft@tomsknipi.ru

## Abstract

The article presents the results obtained by Tomsk Scientific Research Institute of Oil and Gas in creating a software module for the Information resource “Geotechnical control” (IR GC), its capabilities and areas of application are described. This software component allows minimizing additional manual operations and risks of human error when receiving data from thermometric equipment. The use of IRGC, which includes this software component, contributes to enhancing environmental safety and reducing labor costs for conducting geotechnical monitoring in oil and gas industry.

## Materials and methods

In the course of this work, an analysis of data transmission methods from thermistor strings was carried out and a software module for consolidating data collected from thermometric equipment was developed.

## Keywords

geotechnical monitoring, automation, ground temperature, thermometric equipment, temperature monitoring

## For citation

Badichev K.S., Mazovets S.A., Kilin E.A., Napryushkin A.A., Gilev N.G. Thermometry process automation as a part of the geotechnical control system implementation in Tomsk Scientific Research Institute of Oil and Gas. Exposition Oil Gas, 2023, issue 7, P. 122–126. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-7-122-126

Received: 26.10.2023

## Введение

Согласно ежегодным отчетам Ростехнадзора в период с 2014 по 2022 г. на нефтедобывающих объектах произошло более 60 аварий в районах, имеющих сложные инженерно-геологические условия, с ущербом, превышающим 4 млрд 468 млн руб. [1]. Аварии связаны с разрушением технических устройств и разливами нефтесодержащей жидкости. На возникновение таких аварий оказывают влияние деструктивные процессы в грунтах, которые появляются в связи с изменениями температуры грунта в условиях климатических изменений. Ярким примером аварии, одним из факторов возникновения которой стал неустойчивый грунт из-за изменения его инженерно-геологических условий, является розлив нефтепродуктов на ТЭЦ-3, принадлежащей дочерней компании «Норникель» [2].

Глобальное потепление вызывает изменение температуры грунтов и ухудшение их прочностных свойств, что приводит к ряду деструктивных явлений, и, как следствие, грунт значительно хуже воспринимает нагрузки и деформируется. Прогнозы указывают на то, что эти изменения будут усиливаться в последующие несколько десятилетий. В результате увеличатся риски повреждения и разрушения промышленных сооружений и транспортных коммуникаций, которые могут привести к техногенным катастрофам, а следовательно, к экологическим, экономическим и имиджевым потерям.

Для минимизации или своевременного исключения таких последствий на объектах, расположенных в зонах со сложными инженерно-геологическими условиями, выполняется геотехнический мониторинг (ГТМ). Геотехнический мониторинг — система комплексного контроля, прогнозирования и управления состоянием оснований и фундаментов с целью обеспечения механической безопасности при строительстве и эксплуатации сооружений, а также своевременного предупреждения и снижения вероятности возникновения аварий, связанных с деформацией оснований и фундаментов.

Основными задачами геотехнического мониторинга являются ведение наблюдений за деформациями и проведение прочностных расчетов оснований и фундаментов сооружений, наблюдение за инженерно-геологическим состоянием грунтов оснований, геокриологических и геотехнических процессов, прогнозирование геотехнического состояния наблюдаемого объекта, разработка технических управляющих решений по обеспечению стабильности состояния геотехнических систем и контроль их реализации, а также создание базы наблюдений состояния контролируемых геотехнических систем для анализа изменений данных. В зависимости от специфики объекта ГТМ может включать в себя измерение таких параметров, как температура грунта, положение деформационных марок, уровень грунтовых вод, напряжения в грунте и многое другое.

С целью автоматизации проведения ГТМ и цифровизации его результатов в рамках инновационного проекта силами АО «ТомскНИПИнефть» и ООО «НК «Роснефть» — НТЦ» был создан корпоративный программный комплекс геотехнического контроля [3], впоследствии вошедший в состав Централизованной геоинформационной системы (ЦГИС) Компании в виде Информационного ресурса «Геотехнический контроль» (ИР ГК).

В настоящей работе рассмотрены вопросы автоматизации сбора данных температурных измерений (термометрии) при проведении ГТМ на промышленных объектах, расположенных в сложных инженерно-геологических условиях, и создания технологии формирования термометрической базы данных в рамках ИР ГК.

## Задачи контроля температуры грунта

При проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и инженерных

сооружений (ЗИС) в сложных инженерно-геологических условиях необходимо учитывать и фиксировать теплообмен грунтов с ЗИС и внешней средой путем мониторинга температурного режима грунтов. При хозяйственном освоении территории изменения температурного и влажностного режимов грунтов вызывают изменения состава, строения и свойств грунтов, прочности, несущей способности и сжимаемости их пород, интенсивности развития термоэрозии, наледей, солифлюкции и других криогенных процессов

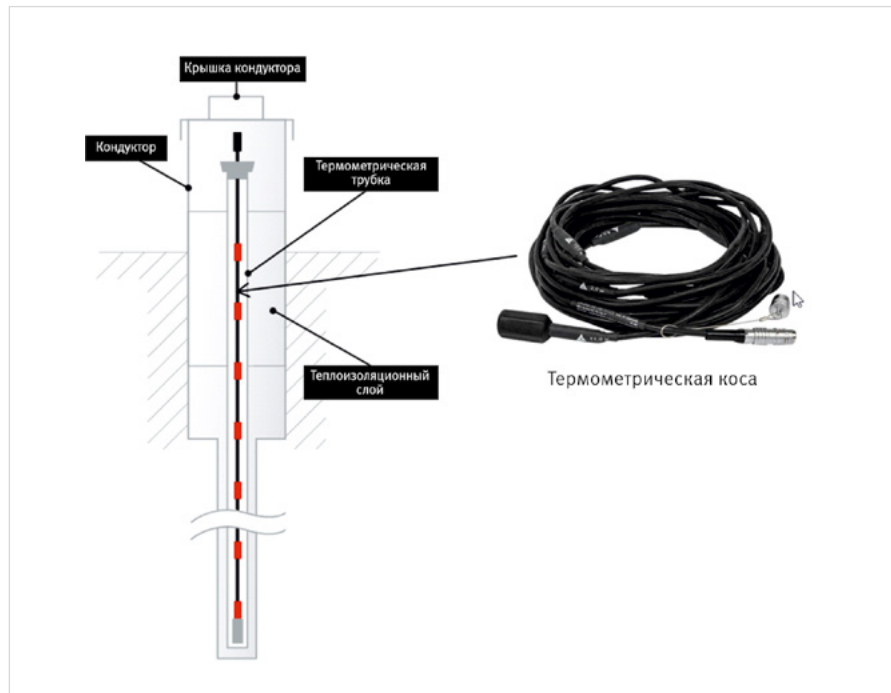


Рис. 1. Термометрическая скважина с помещенной в нее термометрической косой  
Fig. 1. A thermometric well with a thermistor string placed in it

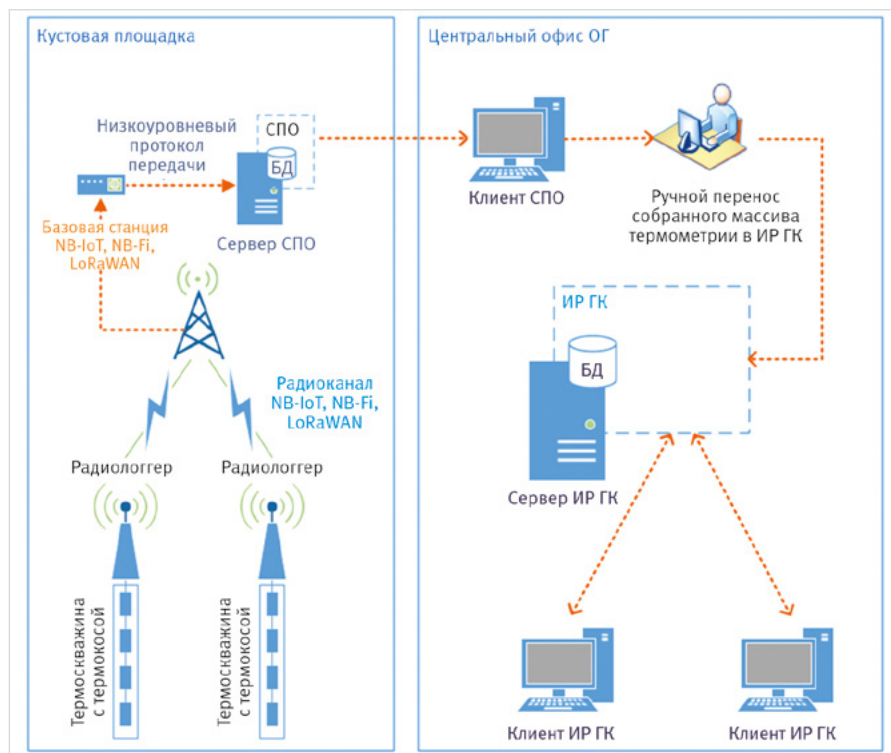


Рис. 2. Схема получения данных с автоматизированных термометрических кос с ручным переносом данных  
Fig. 2. The scheme of receiving data from automated thermistor strings with manual data transfer

и явлений. Это может повлечь значительные разрушения и деформации строящихся и эксплуатируемых ЗИС, что может привести к техногенным авариям, за которыми последуют необратимые негативные последствия для окружающей природной среды.

Контроль температурного режима грунтов производится с помощью термометрических кос. Термометрическая коса (термокоса) представляет собой кабель с усиленной жилой с последовательно расположенными

датчиками температуры в отдельном защитном корпусе и разъемом для подключения к контроллеру. Термометрическая скважина — специально оборудованная скважина, предназначенная для измерения температуры грунта термометрической косой (рис. 1).

Число термометрических скважин в организации может составлять десятки тысяч, и в связи с активным освоением северных территорий и развитием инфраструктуры месторождений их количество продолжает

ежегодно расти. До последнего времени сбор данных с термокос производился в ручном режиме с выездом работника «в поле» со специализированным оборудованием. При первом выезде на замер термометрическая коса помещается в термометрическую скважину, после чего она выдерживается в пределах 4 часов для стабилизации температуры [4] датчиков от тепловой инерции. Во второй и последующий выезды производятся замеры температуры, и данные заносятся в специализированные журналы наблюдения.

Описанный выше подход является довольно трудоемким, и для сокращения времени выполнения замеров в настоящее время начинает применяться новый подход с установкой в скважины автоматизированных термометрических кос. Установка автоматизированного оборудования позволяет уменьшить количество выездов сотрудников к термометрическим скважинам за счет использования логгеров, подключенных к термометрическим косам. Данные с логгеров выгружаются в автоматическом режиме в специализированное программное обеспечение производителя термокос (СПО), что значительно автоматизирует и ускоряет процесс получения данных и позволяет проводить более частые замеры с минимальными затратами (рис. 2).

Результаты замера температуры, разбитые по глубинам, собираются логгером и отправляются на базовую станцию. Базовая станция, получая данные с нескольких логгеров с определенной территории, перенаправляет их в серверную часть специализированного программного обеспечения, которое накапливает собранные данные термометрии.

На дальнейшем этапе была поставлена задача консолидации всей

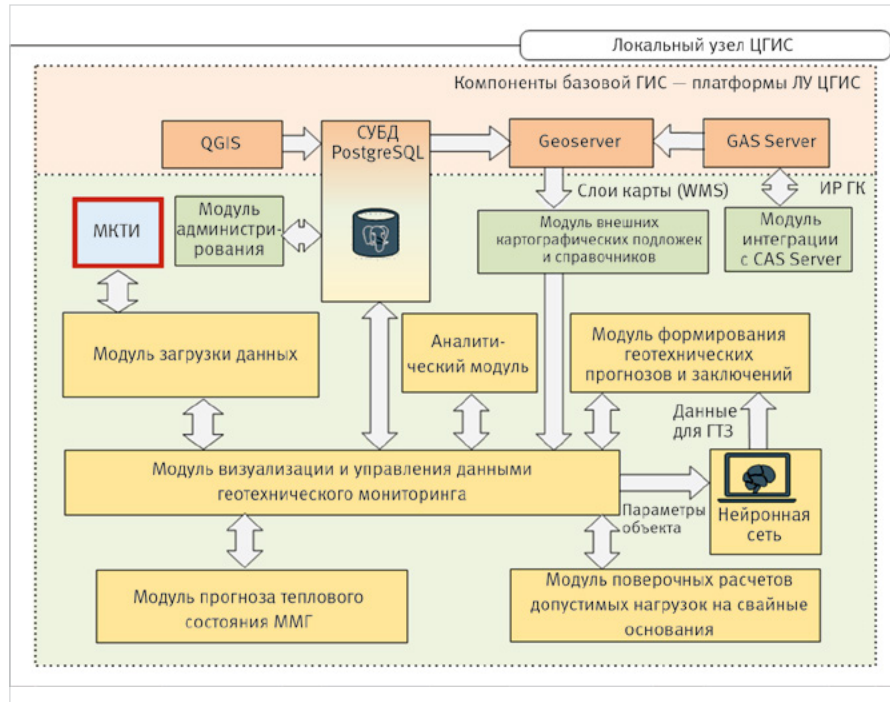


Рис. 3. Компоненты информационного ресурса «Геотехнический контроль»  
Fig. 3. Components of the information resource "Geotechnical control"

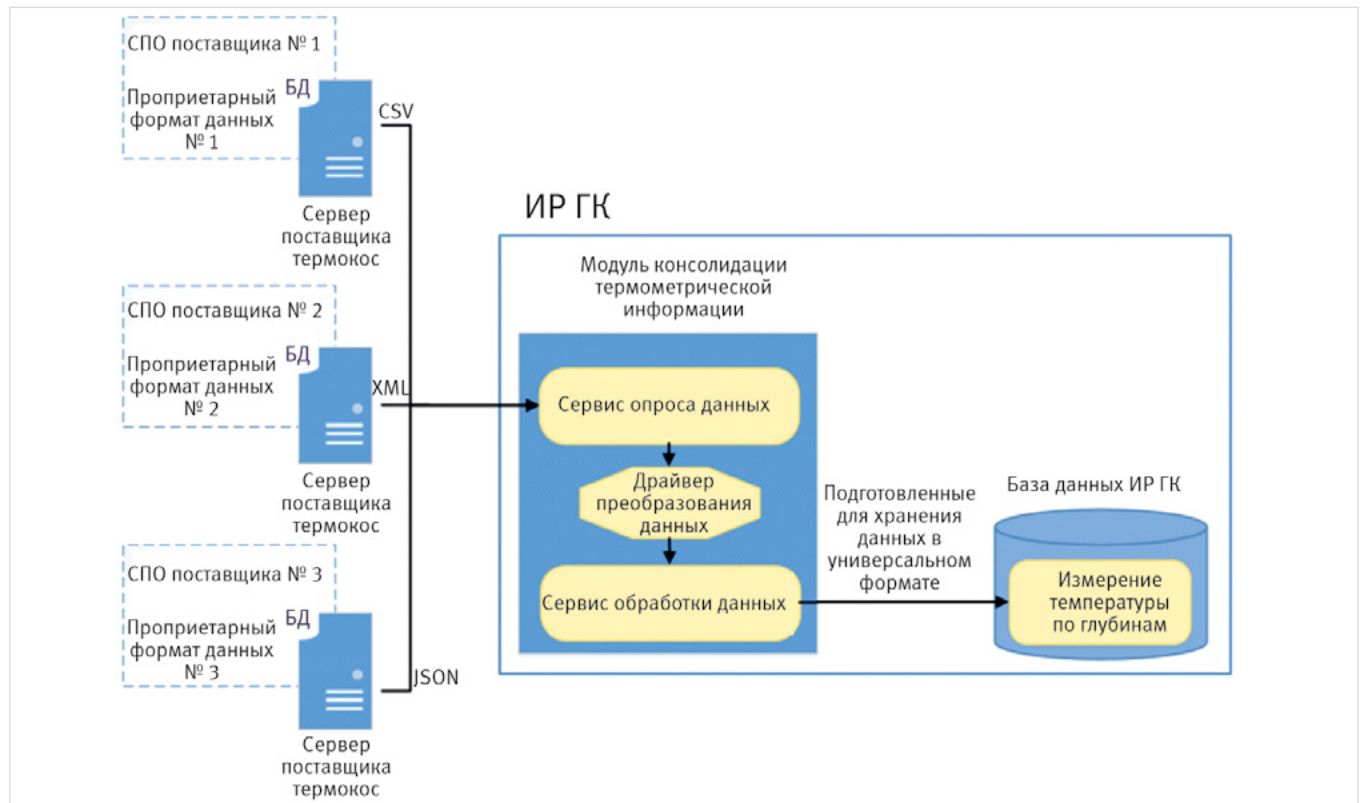


Рис. 4. Архитектура разработанного модуля  
Fig. 4. The architecture of the developed module

Табл. 1. Пример полученных в формате xlsx данных  
 Tab. 1. Example of data received in xlsx format

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Дата	Заряд	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
2	28.08.2022 12:00	4,88	7,23	7,42	3,61	-0,19	-0,88	-1,31	-1,44	-1,94	-1,94	-2,61
3	27.08.2022 12:00	4,88	5,34	7,14	3,56	-0,19	-0,88	-1,31	-1,44	-1,94	-1,94	-2,61
4	26.08.2022 12:00	4,87	8,31	8,75	3,5	-0,19	-0,88	-1,31	-1,44	-1,94	-1,94	-2,61
5	25.08.2022 12:00	4,88	10,94	9,75	3,37	-0,19	-0,94	-1,31	-1,44	-1,94	-1,94	-2,61
6	24.08.2022 12:00	4,9	14,94	9,38	3,31	-0,25	-0,94	-1,31	-1,44	-2	-1,94	-2,61
7	23.08.2022 12:00	4,87	12,5	8,44	3,31	-0,25	-0,94	-1,37	-1,44	-2	-1,94	-2,61
8	22.08.2022 12:00	4,87	9,31	7,94	3,31	-0,25	-0,94	-1,37	-1,44	-2	-1,94	-2,61

термометрической информации в корпоративном ПО ИР ГК, где специалисты смогли бы просматривать собранные данные, осуществлять их анализ и интерпретацию, выполнять расчеты для теплотехнического прогноза, а также готовить необходимую отчетность. Одним из важных вопросов является исключение ручного переноса собранного массива данных термометрии путем автоматизации трансфера данных из ПО производителей термокос в корпоративный ИР ГК с целью долгосрочного хранения и комплексной обработки данных геотехнического мониторинга. В результате исключения ручных операций в ходе термометрии выявление температурных отклонений становится максимально оперативным.

#### Модуль консолидации термометрической информации

Для минимизации трудоемких ручных операций по переносу данных из программного обеспечения производителей термокос в ИР ГК был разработан модуль консолидации термометрической информации (МКТИ), позволяющий интегрироваться с внешним термометрическим оборудованием для получения данных напрямую в ИР ГК. Исполнение модуля в виде дополнительной компоненты ИР ГК позволяет расширить уже имеющиеся возможности информационного ресурса (рис. 3), такие как:

- пакетная загрузка данных измерений ГТМ;
- визуализация на геоподложках и управление данными;
- аналитическая отчетность;
- формирование геотехнических прогнозов и заключений;
- расчеты несущей способности фундаментов.

Анализ используемых технических решений от разных производителей термокос показал, что форматы, структура и протоколы передачи термометрических данных не имеют стандартизации. Основными выделенными форматами данных являются JSON, CSV, XLSX, XML, протоколами передачи данных — TCP/IP или FTP. В таблице 1 представлен пример структуры данных, получаемых с термокос.

Для унификации программного интерфейса МКТИ с целью поддержки широкого ряда протоколов и форматов данных была спроектирована возможность конфигурирования модуля посредством специализированных драйверов. Драйверы представляют собой файлы определенной структуры, в которых описаны правила сопоставления структуры данных ИР ГК с данными, полученными из программного обеспечения различных

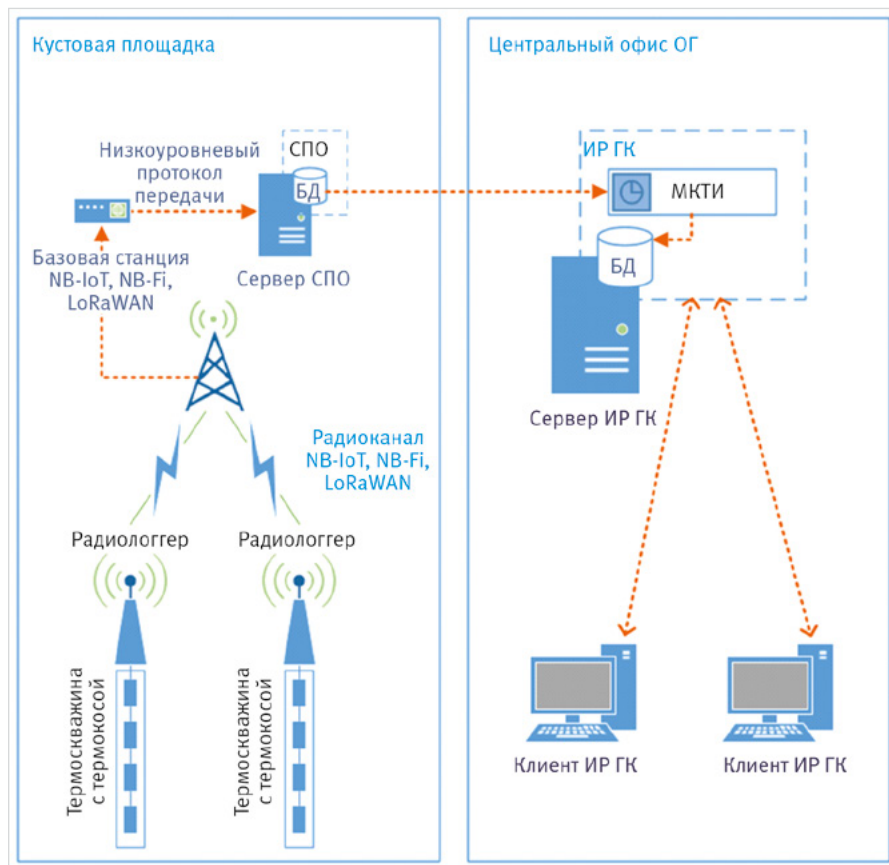


Рис. 5. Схема получения результатов измерений с автоматизированных термокос с использованием МКТИ ИР ГК  
 Fig. 5. The scheme for obtaining measurement results from automated thermistor strings using TDCM IR GC

производителей термокос.

На рисунке 4 представлена диаграмма, показывающая движение данных при работе МКТИ. Обмен данными с сервером оборудования строится на базе программного интерфейса REST API, построенного на основе протокола HTTP. Сервис опроса данных позволяет осуществлять мониторинг температуры, регулярно опрашивая оборудование через заданный временной интервал и получая ответы в формате JSON. В сервисе реализована возможность запроса данных с термокосы по таймеру с заданной настраиваемой частотой. Для полученных данных измерения температуры модуль выполняет необходимую преобработку и размещает итоговую информацию в нужном формате в базу данных ИР ГК.

Схема процесса получения данных с применением разработанного МКТИ для получения данных с автоматизированных

термометрических кос в информационный ресурс геотехнического контроля представлена на рисунке 5.

Таким образом, разработанный МКТИ, выступая в роли промежуточной компоненты, предоставляет возможность взаимодействовать с термометрическими косами и получать данные напрямую в единую корпоративную базу данных ИР ГК.

#### Итоги

Результатом работы является реализованный для ИР ГК модуль консолидации термометрической информации с термокос. Модуль позволяет исключить рутинные ручные операции по съему и трансферу данных термометрии, что приводит к сокращению трудозатрат на несколько часов до практически минутных затрат для получения данных.

Также важным результатом реализации МКТИ является функция объединения



информационных потоков с термокос различных производителей в единую структурированную базу данных термометрии в ИР ГК, позволяющую проводить комплексный анализ собранной информации наряду с другими данными измерений, оперативно реагировать на критические значения изменения температур, выполнять сложную аналитику, проводить расчеты устойчивости фундаментов и формировать теплотехнические прогнозы.

#### Вывод

Реализованный в ходе работы модуль МКТИ позволяет повысить эффективность процессов сбора, накопления, дальнейшей обработки и актуализации большого массива данных температурных наблюдений за промышленными объектами. Новый подход позволяет увеличивать частоту замеров температуры грунтов без необходимости расширения штата работников и увеличения стоимостных затрат и, как следствие, получать более полную

картину динамики изменения температуры грунтов и фундаментов ЗИС по глубине и по времени.

Как и базовый ИР ГК, модуль МКТИ полностью соответствует стратегии импортозамещения и разрабатывается на свободно распространяемых технологиях. С 2024 по 2027 г. МКТИ в составе новых версий ИР ГК планируется внедрить в периметре компании на месторождениях, обладающих автоматизированной термометрией.

Перспективным направлением работ является дальнейшее развитие программного модуля, в рамках которого будет выполнено масштабирование возможностей интеграции с термокосами новых производителей, оборудование которых ранее было внедрено на предприятиях. Также планируется формирование универсальной спецификации в качестве стандарта обмена данными с термокосами и требований к программному интерфейсу взаимодействия, которые в

дальнейшем будут предъявляться к поставляемому термометрическому оборудованию.

#### Литература

1. Уроки, извлеченные из аварий. Ростехнадзор. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (Дата обращения 21.11.2023).
2. Коновалова В.М. Норильский разлив // Молодой ученый. 2020. № 46. С. 71–72.
3. Бадичев К.С., Сайбель Е.Г., Напрышкин А.А., Литвиненко М.А. Программный комплекс для организации геотехнического мониторинга в ПАО «НК «Роснефть» // Нефтяное хозяйство. 2022. № 12. С. 139–143.
4. ГОСТ 25358-2012 Грунты. Метод полевого определения температуры. М.: ФГБУ «РСТ». 2021. 17с.

## ENGLISH

#### Results

The result of this work is thermistor strings thermometric data consolidation module (TDCM) implemented for the IR GC. The module allows routine manual data gathering and transfer operations to be removed. In addition, the module can reduce the time spent on receiving data from several hours to almost a minute effort.

Another important outcome of TDCM implementation is the ability to combine data streams from thermistor strings of various manufacturers into unified structured thermometric IR GC database. This makes it possible to carry out a comprehensive analysis of the collected data along with other measurement data, promptly respond to critical values of temperature changes, perform complex analytics, calculate the stability of foundations and form thermal forecasts.

#### Conclusions

Implemented in the course of the work TDCM module makes it possible to increase the efficiency of the processes of collecting, storing, further processing, and updating a large amount of temperature data for

industrial facilities. The new approach makes it possible to increase the frequency of soil temperature measurements without any need to expand the staff and increase monetary costs and, as a result, to obtain a more complete picture of the dynamics of soil and foundation of industrial facilities temperature changes in depth and time.

Like the basic IR GC, the TDCM module fully complies with the import substitution strategy and is developed with use of open source technologies. From 2024 to 2027, it is planned to introduce the TDCM as a part of the new versions of the IR GC in the perimeter of the company, in oil fields with automated thermometry.

A promising direction of work is the further development of the software module, within which the scaling of integration capabilities with thermistor strings of new manufacturers will be carried out, which equipment was previously implemented in enterprises. In the future, it is planned to make a universal specification as a standard of data exchange with thermal strings, as well as requirements for the application program interface that will be applied to the supplied thermometric equipment in the future.

#### References

1. Lessons learned from accidents. Rostechnadzor. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (accessed: 20.11.2023). (In Russ).
2. Konovalova V.M. Norilsk spill. Young scientist, 2020, issue 46, P. 71–72. (In Russ).
3. Badichev K.S., Saibel E.G., Napryushkin A.A., Litvinenko M.A. The software system of geotechnical control for solving tasks of geotechnical monitoring in Rosneft company. Oil industry, 2022, issue 12, P. 139–143. (In Russ).
4. GOST 25358-2012 Soils. Method of field temperature determination. Moscow: Federal State Budgetary Institution “PCT”, 2021, 17с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Бадичев Кирилл Сергеевич**, ведущий инженер-программист отдела развития геоинформационного ПО, АО «ТомскНИПИнефть», Томск, Россия

**Мазовец Сергей Александрович**, главный специалист отдела развития геоинформационного ПО, АО «ТомскНИПИнефть», Томск, Россия

**Килин Евгений Александрович**, начальник отдела развития геоинформационного ПО, АО «ТомскНИПИнефть», Томск, Россия

**Напрышкин Александр Алексеевич**, к.т.н., начальник управления по ИТ и развитию бизнес-процессов, АО «ТомскНИПИнефть», Томск, Россия

**Гилев Николай Григорьевич**, руководитель группы геотехнического мониторинга департамента промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды в разведке и добыче, нефтегазовом и корпоративном сервисе, ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия

**Badichev Kirill Sergeevich**, leading software engineer of the geoinformation software development department, “TomskNIPIneft” JSC, Tomsk, Russia

**Mazovets Sergey Alexandrovich**, chief specialist of geoinformation software development department, “TomskNIPIneft” JSC, Tomsk, Russia

**Kilin Evgeny Alexandrovich**, head of geoinformation software development department, “TomskNIPIneft” JSC, Tomsk, Russia

**Napryushkin Alexander Alekseevich**, ph.d. of engineering sciences, head of IT and business process development department, “TomskNIPIneft” JSC, Tomsk, Russia

**Gilev Nikolay Grigoryevich**, head of the geotechnical monitoring group department of industrial safety, labor protection and environment in exploration and production, oil and gas and corporate services, “NK “Rosneft” PJSC, Moscow, Russia