

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ,
ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Обзорная статья

УДК 550.822.7

EDN: JQRBUS

DOI: 10.21285/2686-9993-2024-47-4-442-452

**О системах контроля и телеметрии процесса колонкового бурения скважин в ледниках и подледниковых горных породах электромеханическими снарядами на грузонесущем кабеле****В.С. Шадрин^{a✉}, А.В. Большунов^b, В.Я. Климов^c**^{a-c}Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Резюме. Целями исследования являлись изучение и систематизация актуальных научных работ по системам контроля и телеметрии режимных параметров колонкового бурения скважин в ледниках и подледниковых горных породах электромеханическими снарядами на грузонесущем кабеле. В ходе проведенной работы был выполнен обзор систем контроля и телеметрии режимных параметров колонкового бурения электромеханическими снарядами на грузонесущем кабеле, которые используются при бурении скважин во льду и подледниковых горных породах на островах в Арктике и Антарктиде отечественными и зарубежными специалистами. На основании полученных результатов определена единая концепция рассмотренных систем, а также обозначены их особенности. Предложена функциональная блок-схема системы контроля и телеметрии режимных параметров колонкового бурения снарядами на грузонесущем кабеле. С учетом выявленных особенностей и применяемых технических решений в созданных отечественными и зарубежными специалистами системах контроля и телеметрии авторами статьи сформулированы требования к системе контроля и телеметрии процесса колонкового бурения горных пород возвратно-вращательным способом. Данные требования будут учтены при разработке системы контроля и телеметрии возвратно-вращательного способа бурения скважин в подледниковых горных породах, что является одним из этапов исследования, проводимых в рамках разработки и обоснования технологии отбора керна подледниковых горных пород в Антарктиде динамически уравновешенным буровым снарядом на грузонесущем кабеле.

Ключевые слова: Антарктида, Арктика, колонковое бурение, колонковые электромеханические буровые снаряды, система контроля и телеметрии

Финансирование: Исследование проведено с помощью субсидии на выполнение государственного задания в сфере научной деятельности на 2024 г. (№ FSRW-2024-0003).

Благодарности: Коллектив авторов выражает благодарность сотруднику лаборатории технологии и техники бурения скважин в условиях станции Восток научного центра «Арктика» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II Евгению Витальевичу Шишкину за помощь в подготовке статьи.

Для цитирования: Шадрин В.С., Большунов А.В., Климов В.Я. О системах контроля и телеметрии процесса колонкового бурения скважин в ледниках и подледниковых горных породах электромеханическими снарядами на грузонесущем кабеле // Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 47. № 4. С. 442–452. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-4-442-452>. EDN: JQRBUS.

APPLIED MINING AND PETROLEUM FIELD GEOLOGY,
GEOPHYSICS, MINE SURVEYING AND SUBSOIL GEOMETRY

Review article

On control and telemetry systems of borehole core drilling in glaciers and subglacial rocks with electromechanical cable-suspended drills**Vyacheslav S. Shadrin^{a✉}, Alexey V. Bolshunov^b, Vladimir Ya. Klimov^c**^{a-c}Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Abstract. The purpose of the research is to study and systematize relevant scientific works on monitoring and telemetry systems for operating parameters of borehole core drilling in glaciers and subglacial rocks with electromechanical ca-

© Шадрин В.С., Большунов А.В., Климов В.Я., 2024



ble-suspended drills. The study includes a review of monitoring and telemetry systems for operational parameters of core drilling with electromechanical cable-suspended drills, which are used by domestic and foreign specialists when drilling wells in ice and subglacial rocks on islands in the Arctic and Antarctica. Based on the results obtained, a unified concept of the considered systems is defined and their features are outlined. A functional block diagram of a monitoring and telemetry system for operating parameters of core drilling with electromechanical cable-suspended drills is proposed. Taking into account the identified features and applied technical solutions in the monitoring and telemetry systems created by domestic and foreign specialists, the authors of the article formulate the requirements for the monitoring and telemetry system of the core drilling of rocks using a reciprocating rotary method. These requirements will be taken into account when developing a system for monitoring and telemetry of the reciprocating rotary method of drilling boreholes in subglacial rocks, which is one of the stages of the research conducted as a part of development and justification of the technology of subglacial rock core sampling in Antarctica by a dynamically balanced cable-suspended drill.

Keywords: Antarctica, Arctic, core drilling, cable-suspended electromechanical drills, telemetry and drilling control system

Funding: The research was performed with the help of the subsidy for the implementation of the state assignment in the field of scientific activity for 2024 (no. FSRW-2024-0003).

Acknowledgements: The team of authors thank Evgeniy V. Shishkin, the staff member of the Laboratory of Well Drilling Technology and Equipment in Vostok Station Conditions of "Arktika" Research Center, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University for his assistance in preparation of the article.

For citation: Shadrin V.S., Bolshunov A.V., Klimov V.Ya. On control and telemetry systems of borehole core drilling in glaciers and subglacial rocks with electromechanical cable-suspended drills. *Earth sciences and subsoil use*. 2024;47(4):442-452. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-4-442-452>. EDN: JQRBUS.

Введение

Самым достоверным источником геологических, микробиологических и палеоклиматических данных является керновый материал. Отбор уникальных образцов кернов льда и подледниковых горных пород (ПГП), изучение которых позволит реконструировать историю развития Земли [1, 2], обуславливает необходимость в разработке технических средств и технологий колонкового бурения скважин применительно к геолого-техническим особенностям исследуемого региона. Проведенный анализ результатов обзора отечественных и зарубежных проектов [3] позволил выявить актуальное направление исследований в области совершенствования и разработки технических средств и технологий колонкового бурения ледников и ПГП в Антарктиде [4–6].

В настоящее время в лаборатории технологии и техники бурения скважин в условиях станции Восток научного центра «Арктика» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II ведутся работы, направленные на разработку новых и совершенствование существующих технологий и технических средств исследования ледников [7–9] и подледниковых сред [10, 11]. В рамках разработки технологии колонкового бурения скважин в ПГП электромеханическим снарядом на грузонесущем кабеле, реализующим возвратно-вращательный способ разрушения горных пород [12], выполняется разработка системы контроля и телеметрии процесса колонкового бурения скважин.

Материалы и методы исследования

Целями исследования являлись изучение и систематизация актуальных научных работ по системам контроля и телеметрии режимных параметров колонкового бурения скважин в ледниках и ПГП электромеханическими снарядами на грузонесущем кабеле (ГНК). Для их достижения были поставлены следующие задачи:

1) выполнение обзора отечественных и зарубежных проектов колонкового бурения скважин во льду и ПГП снарядами на ГНК, в достаточной мере раскрывающих особенности используемых систем контроля и телеметрии процесса бурения;

2) проведение анализа собранных данных и результатов;

3) формирование рекомендаций по разработке системы контроля и телеметрии режимных параметров колонкового бурения снарядами на ГНК.

В начале 1980-х гг. специалистами Ленинградского горного института (ныне Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II) был разработан колонковый электромеханический буровой снаряд (КЭМС) на ГНК. Он предназначался для колонкового бурения скважин во льду глубиной до 4000 м, диаметром 135 мм и использовался при проведении буровых работ на ледниках Вавилова и Академии Наук, а также в Антарктиде. Снаряд состоял из кабельного замка, распорного устройства, электроотсека с расположенными



ми внутри датчиками осевой нагрузки и проворота, погружного электродвигателя (ПЭД), редукторного узла, циркуляционного насоса и секции колонковых труб с буровой коронкой (БК). Вращение БК и вала циркуляционного насоса осуществлялось посредством общего приводного трехфазного асинхронного электродвигателя и планетарного редуктора.

Управление технологическим процессом, включающим в себя спуско-подъемные операции и бурение, проводилось с помощью следующих приборов: пульта управления с встроенными аналоговыми приборами; компьютера с установленным программным обеспечением и многофункционального осциллографа, благодаря которому осуществлялся контроль проворота бурового снаряда (рис. 1).

На приборной панели пульта управления отображались глубина бурения, величина осевой нагрузки на забой, значение напряжения на обмотках статора ПЭД бурового снаряда. На экране компьютера в режиме реального времени демонстрировалась измеряемая мультиметром величина силы тока (мА), потребляемого ПЭД во время бурения. По получаемому графику токовой характеристики ПЭД, выводимому на экран компьютера в режиме реального времени, имелась возмож-

ность судить о текущем состоянии процесса бурения.

Перемещение бурового снаряда в скважине осуществлялось с помощью грузонесущего кабеля, состоящего из семи медных и одной несущей жил (рис. 2, а). По первой медной жиле осуществлялась передача данных о величине осевого усилия на забой, по второй – с датчика проворота бурового снаряда, по оставшимся жилам осуществлялась подача напряжения на обмотки статора ПЭД. В связи со значительной длиной ГНК для снижения потерь напряжения на обмотках ПЭД токоведущие жилы кабеля были подключены параллельно.

Рассмотренная система контроля и телеметрии была полностью построена на аналоговых приборах измерения и передачи данных с забоя на поверхность. Весомая задержка передачи данных, необходимых для оценки состояния процесса бурения, приводила к несвоевременному контролю бурения при возникновении нештатных ситуаций на забое скважины.

В 2003 г. американскими инженерами научно-исследовательского Висконсинского университета в Мадисоне (*англ.*: University of Wisconsin–Madison) был создан колонковый электромеханический буровой снаряд DISC на ГНК [13, 14], в концепцию которого были заложены



Рис. 1. Система контроля и телеметрии режимных параметров бурения колонковым электромеханическим буровым снарядом:

1 – приборная панель пульта управления; 2 – компьютер; 3 – многофункциональный осциллограф

Fig. 1. Control and telemetry system for operating parameters using electromechanical core drilling tool:

1 – control panel; 2 – computer; 3 – multifunctional oscilloscope

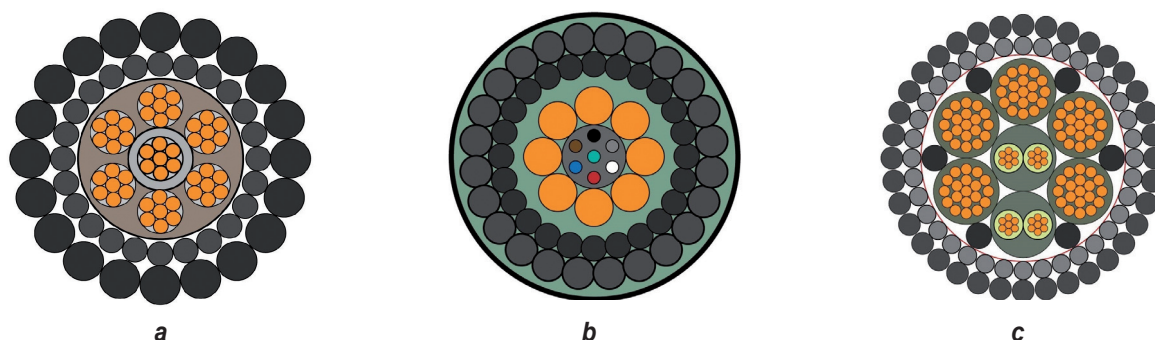


Рис. 2. Конструкция грузонесущих кабелей буровых снарядов:

*а – кабеля колонкового электромеханического бурового снаряда;
б – кабеля бурового снаряда DISC; с – кабеля бурового снаряда IBED*

Fig. 2. Design of load-bearing cables of drilling rigs:

a – electromechanical core drilling tool cable; b – DISC drill cable; c – IBED drill cable

жены основные технические решения, ранее используемые при создании таких буровых снарядов, как КЭМС, EPICA и PICO. DISC предназначался для колонкового бурения скважин во льду глубиной до 4000 м и диаметром 170 мм.

Управление технологическим процессом, включающим в себя спуско-подъемные операции и процесс бурения, осуществлялось с помощью системы телеметрии, состоящей из трех отдельно функционирующих компьютеров с мониторами и аналого-цифровых преобразовательных устройств (рис. 3, а) [15]. Первый компьютер был предназначен для управления большим и малым двигателями приводной лебедки, необходимыми для выполнения спуско-подъемных операций и подачи бурового снаряда на забой. Второй отвечал за управление буровым снарядом. На экране его монитора отображались следующие режимные параметры: величина токовой нагрузки ПЭД БК; значение осевой нагрузки на забой скважины; угол проворота распорного устройства бурового снаряда; частота вращения БК; частота вращения вала циркуляционного насоса; а также токовая нагрузка электродвигателя циркуляционного насоса, глубина бурения, величина рейсовой проходки, давление и температура в скважине (рис. 3, б, с). Третий компьютер являлся вспомогательным и предназначался для чтения данных, поступающих на первый и второй, и последующего хранения их в базе на индивидуальном накопителе. Информация, хранящаяся в базе данных, позволяла буровикам проводить анализ параметров предыдущих буровых рейсов и принимать необходимые меры во время подготовки бурового снаряда к последующим рейсам с целью успешного выполнения работ на дальнейших интервалах скважины.

ГНК бурового снаряда состоял из защитной брони, восемью медных токовых жил и установленного внутри шестизыльного оптоволоконного кабеля [16] (см. рис. 2, б). С помощью восьми токовых жил осуществлялась подача напряжения на обмотки ПЭД бурового снаряда и электродвигателя циркуляционного насоса, а передача данных с датчиков, установленных внутри бурового снаряда, выполнялась по шести жилам оптоволоконного кабеля. В связи со значительной протяженностью ГНК для снижения потерь параметров сигнала в оптоволоконном кабеле применялись трансиверы. Разработанный оптоволоконный кабель имел достаточно высокую оптическую чувствительность, а также скорость измерения и передачи сигналов (до 38400 бод), тем самым позволяя осуществлять оперативный контроль технологическим процессом и принимать верные решения при возникновении нештатных ситуаций во время бурения.

В 2017 г. специалистами по изучению полярных регионов Земли из Цзилиньского университета в Китае (англ.: Jilin University) был создан колонковый электромеханический буровой снаряд IBED на грузонесущем кабеле [17, 18]. Снаряд IBED использовался для колонкового бурения скважин во льду и отбора керна ПГП, залегающих на глубине до 1400 м. IBED имел несколько модификаций нижней конструктивной части: колонковый набор для бурения в снежно-фирновой толще, колонковый набор для бурения мореносодержащего льда и колонковый набор для бурения в твердых ПГП. Система телеметрии и контроля состояла из главного компьютера, пульта управления лебедкой и метеорологической станции (рис. 4) [19].

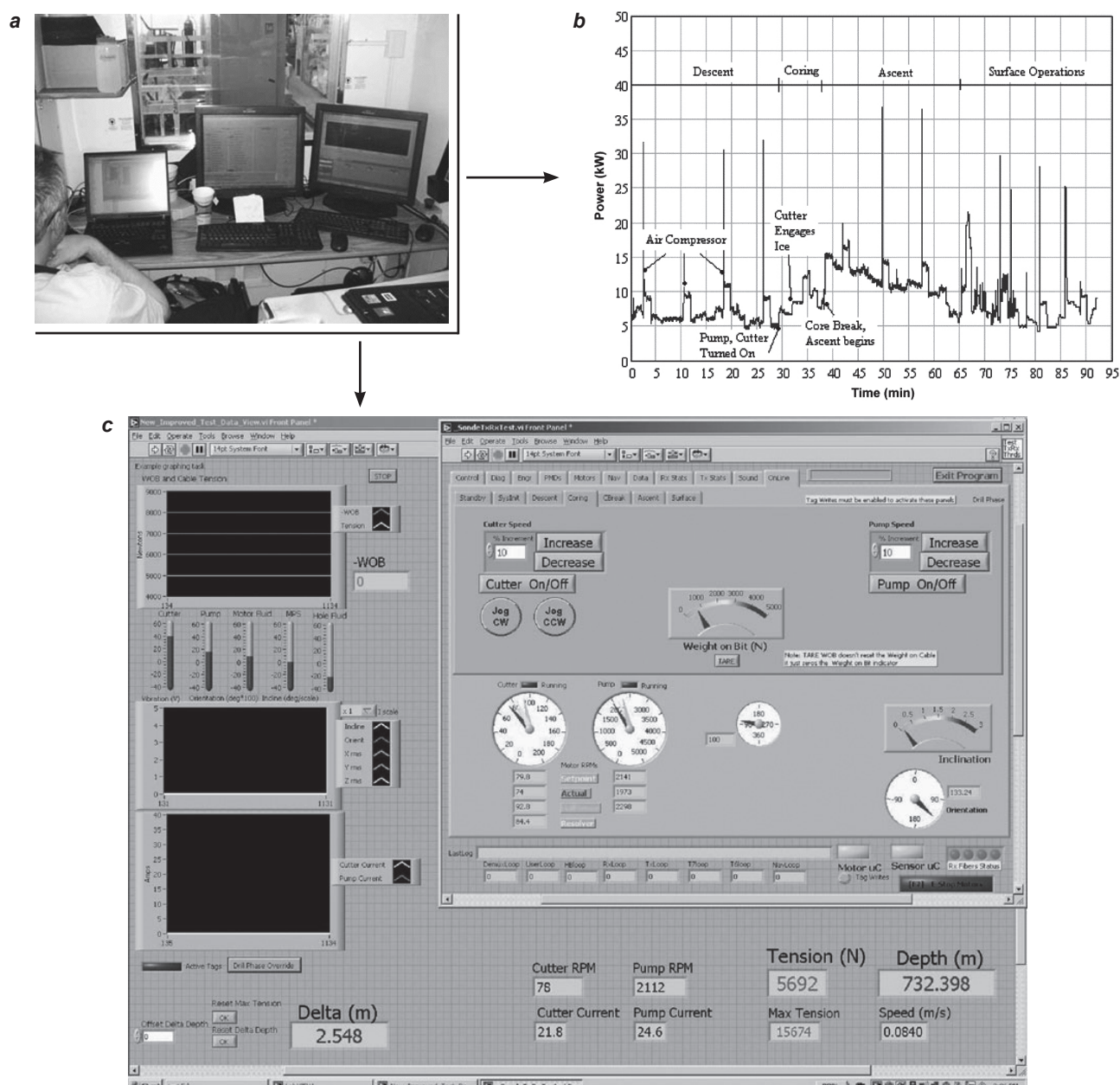


Рис. 3. Система контроля и телеметрии режимных параметров бурения снарядом DISC:
а – компьютеры для контроля процесса бурения; б – графики процесса бурения, выводимые на экран главного компьютера в режиме реального времени; в – окна программного обеспечения с отображаемыми режимными параметрами бурения и дополнительными сведениями [15]

Fig. 3. Control and telemetry system of DISC drill operating parameters:

а – drilling process monitoring computers; б – real-time drilling graphs displayed on the main computer screen; в – software windows showing operating parameters of drilling and additional information [15]

На мониторе основного компьютера в режиме реального времени отображались следующие основные контролируемые параметры: токовая нагрузка на ПЭД БК; осевая нагрузка на забой скважины; величина проворота статорной части бурового снаряда; частота вращения БК; частота вращения приводного вала циркуляционного насоса. Помимо отображения основных измеряемых параметров, велась запись давления и температуры в скважине, пространствен-

ного положения снаряда в скважине на забое (азимутальный и зенитный углы).

Грузонесущий кабель [20] бурового снаряда состоял из защитной брони, пяти медных силовых жил и двух жил для передачи данных с забоя на поверхность (см. рис. 2, с). Первые три медные жилы использовались для передачи электрической энергии на обмотки электродвигателя бурового снаряда, две другие предназначались для подачи питания на пре-



Рис. 4. Система контроля и телеметрии режимных параметров бурения снарядом IBED
(согласно источнику [19] с переводом авторов)

Fig. 4. Control and telemetry system of IBED drill operating parameters
(according to source [19] with authors' translation)

образовательное устройство, установленное внутри снаряда и распределяющее питание на датчики и контрольно-измерительные устройства. Выходные аналоговые сигналы с измерительных устройств передавались с помощью модуля передачи данных ADAM Module-4117, установленного внутри снаряда, по двум информационным проводным жилам на поверхность.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ результатов выполненного обзора позволил сформулировать следующие выводы:

1. Системы контроля и телеметрии режимных параметров бурения обладают таким свойством, как селективность, то есть каждый из компьютеров отвечает за управление отдельно назначенным для него узлом бурового комплекса (лебедки, бурового снаряда). При этом выводимая на экраны информация сгруппирована по функционально-технологическому признаку (на первом мониторе – по лебедке, на втором – по бурению, на третьем – по скважинной геофизике).

2. Возможность осуществления записи в реальном времени и хранение данных на индивидуальном накопителе позволяют провести анализ предыдущих буровых рейсов и надлежащим образом подготовить буровой снаряд к дальнейшим работам на последующих интервалах скважины.

3. Наличие оптоволокну в конструкции ГНК обеспечивает высокоскоростную передачу данных от измерительных и преобразующих устройств (датчики и аналого-цифровые преобразователи), установленных внутри бурового снаряда, на поверхность, обеспечивая оперативное управление процессом бурения и вспомогательными операциями.

4. С учетом значительной протяженности грузонесущего кабеля (более 3 км) необходимо использовать параллельное соединение токоведущих жил малого поперечного сечения для снижения потерь напряжения на обмотках ПЭД бурового снаряда.

5. Применение бесконтактных датчиков обеспечивает надежность работы системы контроля и телеметрии и упрощает исполнение бурового снаряда.



6. Обязательными контролируруемыми величинами во время бурения являются: токовая нагрузка ПЭД БК; осевая – на забой скважины (косвенно регулируемая через величину скорости подачи бурового снаряда на забой скважины); величина проворота бурового снаряда.

7. В технологии колонкового бурения скважин в ледниках и ПГП электромеханическими снарядами на ГНК система контроля и телеметрии представляет собой электротехнический комплекс, который можно представить в виде функциональной блок-схемы, изображенной на рис. 5. Он состоит из поверхностного оборудования для контроля спуско-подъемных операций и процесса бурения и находящихся в буровом снаряде датчиков с преобразователями сигналов. К поверхностному оборудованию электротехнического комплекса относит-

ся аппаратный блок, состоящий из нескольких компьютеров с мониторами с установленным программным обеспечением, с помощью которого выполняются сбор информации, поступающей с датчиков, обработка и последующий вывод ее на экраны мониторов в режиме реального времени в виде графиков или действующих значений на цифровом табло.

8. Контрольно-измерительное оборудование электротехнического комплекса, как правило, представлено аналоговыми и цифровыми приборами измерения, при этом элементы контрольно-измерительной аппаратуры находятся как на поверхности (в помещении бурового комплекса), так и внутри конструкции бурового снаряда.

Представленная на рис. 5 блок-схема описывает общие моменты рассмотренных систем и может быть использована в качестве

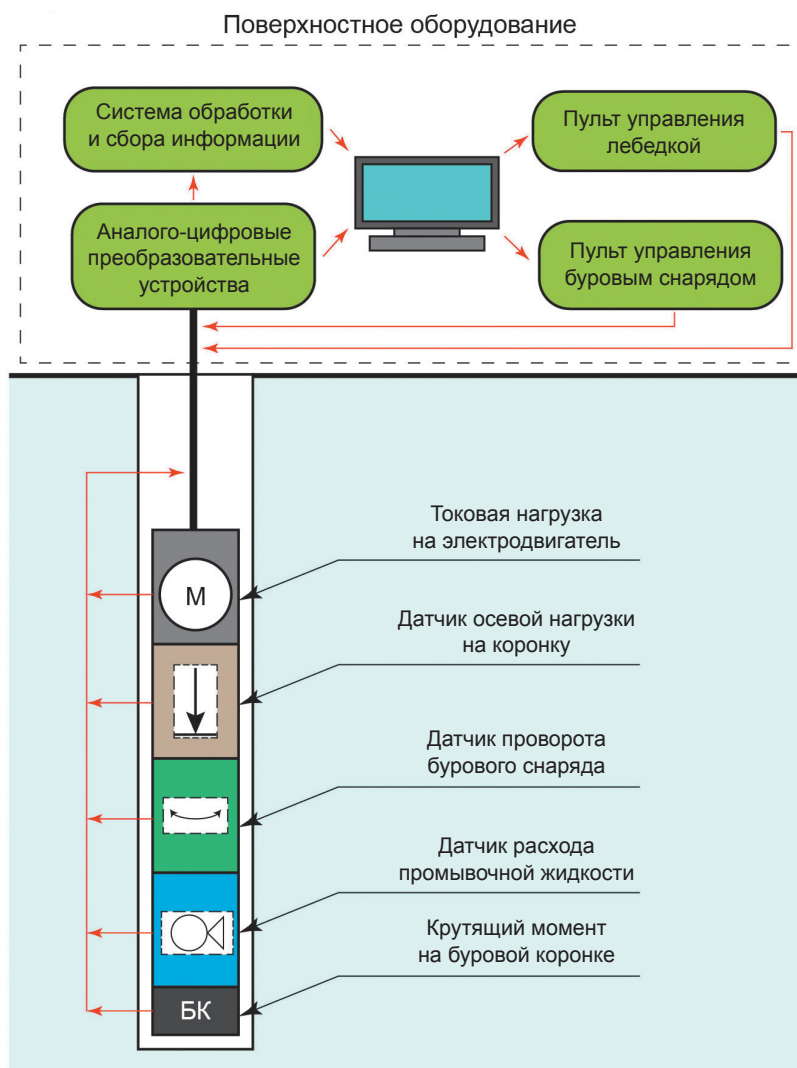


Рис. 5. Функциональная блок-схема системы контроля и телеметрии режимных параметров колонкового бурения снарядами на грузонесущем кабеле:
М – электрическая машина переменного тока (электродвигатель); БК – буровая коронка

Fig. 5. Schematic diagram of the control and telemetry system of operating parameters of core drilling with cable-suspended drills:

М – AC electric motor; БК – drill bit



основы для разработки системы контроля и телеметрии процесса колонкового бурения электромеханическим снарядом на ГНК, реализующим возвратно-вращательный способ разрушения горной породы.

На основании результатов анализа проведенного обзора были сформулированы следующие рекомендации:

- система должна обладать селективностью, быстродействием, информативностью, возможностью записи в реальном времени и хранения данных бурового рейса, отражающих процесс бурения в полной мере;

- для обеспечения высокоскоростной передачи данных необходимо использовать оптоволокно в конструкции грузонесущего кабеля;

- следует применять в конструкции бурового снаряда электронные устройства и компоненты, обеспечивающие бесконтактную передачу информационных сигналов на жилы ГНК для повышения надежности и бесперебойности системы контроля и телеметрии;

- необходимо использовать в конструкции бурового снаряда датчик определения угла

поворота и частоты изменения направления вращения (до 50 Гц) буровой коронки;

- необходимо использовать в конструкции бурового снаряда тензометрический датчик контроля осевой нагрузки на забой скважины;

- необходимо применение трехосевого датчика определения положения бурового снаряда в скважине.

Заключение

Таким образом, быстродействующая и надежная система контроля и телеметрии является одним из главных условий успешного проведения буровых работ. Проектирование данного рода систем требует четкого технического задания для их разработки и применения современных решений из области электроники, автоматики и электротехники. На основе проведенного исследования с учетом анализа результатов выполненного обзора были сформулированы рекомендации к разрабатываемой системе контроля и телеметрии применительно к возвратно-вращательному способу бурения ПГП. Данный способ планируется применить при колонковом бурении ПГП в Антарктиде.

Список источников

1. Михальский Е.В., Каменев Е.Н., Михальская А.С. Геологическое изучение Антарктиды: исторические аспекты и современное состояние // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 2. С. 97–112. EDN: NYHDPH.
2. Wu G., Ferraccioli F., Zhou W., Yuan Y., Gao J., Tian G. Tectonic implications for the Gamburtsev Subglacial Mountains, East Antarctica, from airborne gravity and magnetic data // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. Iss. 2. P. 306. <https://doi.org/10.3390/rs15020306>.
3. Шадрин В.С., Климов В.Я., Большунов А.В. Современное состояние технологий колонкового бурения подледниковых горных пород // Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 47. № 3. С. 342–355. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-3-342-355>. EDN: NDJVMD.
4. Литвиненко В.С. Уникальные техника и технология бурения скважин во льдах Антарктиды // Записки Горного института. 2014. Т. 210. С. 5–10. EDN: TGNKOH.
5. Litvinenko V. Foreword: sixty-year Russian history of Antarctic sub-glacial lake exploration and Antarctic natural resource development // Chemie Der Erde – Geochemistry. 2020. Vol. 80. Iss. 3. P. 125652. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125652>.
6. Большунов А.В., Васильев Д.А., Дмитриев А.Н., Игнатьев С.А., Кадочников В.Г., Крикун Н.С. [и др.]. Результаты комплексных экспериментальных исследований на станции Восток в Антарктиде // Записки Горного института. 2023. Т. 263. С. 724–741. EDN: WQNJET.
7. Игнатьев С.А., Васильев Д.А., Большунов А.В., Васильева М.А., Ожигин А.Ю. Экспериментальные исследования переноса ледяного шлама воздухом при бурении снежно-фирновой толщи // Лёд и Снег. 2023. Т. 63. № 1. С. 141–152. <https://doi.org/10.31857/S2076673423010076>. EDN: MABFEO.
8. Сербин Д.В., Дмитриев А.Н. Экспериментальные исследования теплового способа бурения плавлением скважины в ледовом массиве с одновременным контролируемым расширением ее диаметра // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 833–842. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.82>. EDN: PLQDJW.
9. Сербин Д.В., Кадочников В.Г., Большунов А.В., Дмитриев А.Н., Горелик В.Г. Экспериментальные исследования процесса образования призабойной кольцевой циркуляции теплоносителя // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2024. № 1. С. 16–22. EDN: XZVQNT.
10. Шишкин Е.В., Большунов А.В., Тимофеев И.П., Авдеев А.М., Ракитин И.В. Модель шагающего пробоотборника для исследования донной поверхности подледникового озера Восток // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 853–864. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.53>. EDN: UMLVXQ.
11. Васильев Н.И., Лейченко Г.Л., Загивный Э.А. Перспективы получения образцов донных отложений подледникового озера Восток // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 199–208. <https://doi.org/10.18454/PMI.2017.2.199>. EDN: YLMZAH.



12. Загривный Э.А., Поддубный Д.А. Динамически уравновешенный буровой снаряд на грузонесущем кабеле для взятия донных отложений подледниковых озер в Антарктиде // Проблема механики современных машин: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Улан-Удэ, 25–30 июня 2018 г.). Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. Т. 1. С. 197–201. EDN: YQRMJN.
13. Shturmakov A.J., Lebar D.A., Mason W.P., Bentley C.R. A new 122 mm electromechanical drill for deep ice-sheet coring (DISC): 1. Design concepts // *Annals of Glaciology*. 2007. Vol. 47. P. 28–34. <https://doi.org/10.3189/172756407786857811>.
14. Mason W.P., Shturmakov A.J., Johnson J.A., Haman S. A new 122 mm electromechanical drill for deep ice-sheet coring (DISC): 2. Mechanicak design // *Annals of Glaciology*. 2007. Vol. 47. P. 35–40. <https://doi.org/10.3189/172756407786857640>.
15. Mortensen N.B., Sendelbach P.J., Shturmakov A.J. A new 122 mm electromechanical drill for deep ice-sheet coring (DISC): 3. Control, electrical and electronics design // *Annals of Glaciology*. 2007. Vol. 47. P. 41–50. <https://doi.org/10.3189/172756407786857668>.
16. Shturmakov A.J., Sendelbach P.J. A new 122 mm electromechanical drill for deep ice-sheet coring (DISC): 4. Drill cable // *Annals of Glaciology*. 2007. Vol. 47. P. 51–53. <https://doi.org/10.3189/172756407786857802>.
17. Talalay P., Sun Y., Fan X., Zhang N., Cao P., Wang R., et al. Antarctic subglacial drilling rig. Part I: General concept and drilling shelter structure // *Annals of Glaciology*. 2020. Vol. 62. Iss. 84. P. 1–11. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.37>.
18. Talalay P., Li X., Zhang N., Fan X., Sun Y., Cao P., et al. Antarctic subglacial drilling rig. Part II: Ice and Bedrock Electromechanical Drill (IBED) // *Annals of Glaciology*. 2021. Vol. 62. Iss. 84. P. 12–22. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.38>.
19. Zhang N., Talalay P., Liu J., Fan X., Kong Q., Yu H., et al. Antarctic subglacial drilling rig. Part IV: Electrical and electronic control system // *Annals of Glaciology*. 2020. Vol. 62. Iss. 84. P. 34–45. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.40>.
20. Fan X., Talalay P., Sun Yo., Li X., Zhang N., Markov A., et al. Antarctic subglacial drilling rig: Part III. Drilling auxiliaries and environment measures // *Annals of Glaciology*. 2020. Vol. 62. Iss. 84. P. 24–33. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.39>.

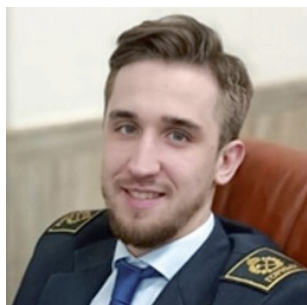
References

1. Mihal'skij E.V., Kamenev E.N., Mihal'skaya A.S. Geological study of Antarctica: historical aspects and current state. *Arctic and Antarctic Research*. 2011;2:97-112. (In Russ.). EDN: NYHDPH.
2. Wu G., Ferraccioli F., Zhou W., Yuan Y., Gao J., Tian G. Tectonic implications for the Gamburtsev Subglacial Mountains, East Antarctica, from airborne gravity and magnetic data. *Remote Sensing*. 2023;15(2):306. <https://doi.org/10.3390/rs15020306>.
3. Shadrin V.S., Klimov V.Ya., Bolshunov A.V. Current state of subglacial rock core drilling technologies. *Earth sciences and subsoil use*. 2024;47(3):342-355. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-3-342-355>. EDN: NDJVMJ.
4. Litvinenko V.S. Unique equipment and technology of drilling wells in Antarctic ice. *Journal of Mining Institute*. 2014;210:5-10. (In Russ.). EDN: TGNKOH.
5. Litvinenko V. Foreword: sixty-year Russian history of Antarctic sub-glacial lake exploration and Antarctic natural resource development. *Chemie Der Erde – Geochemistry*. 2020;80(3):125652. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125652>.
6. Bolshunov A.V., Vasilev D.A., Dmitriev A.N., Ignatov S.A., Kadochnikov V.G., Krikun N.S., et al. Results of complex experimental studies at Vostok station in Antarctica. *Journal of Mining Institute*. 2023;263:724-741. (In Russ.). EDN: WQNJET.
7. Ignatiev S.A., Vasilev D.A., Bolshunov A.V., Vasileva M.A., Ozhigin A.Yu. Experimental research of ice cuttings transport by air while drilling of the snow-firn layer. *Ice and Snow*. 2023;63(1):141-152. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2076673423010076>. EDN: MABFEO.
8. Serbin D.V., Dmitriev A.N. Experimental research on the thermal method of drilling by melting the well in ice mass with simultaneous controlled expansion of its diameter. *Journal of Mining Institute*. 2022;257:833-842. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.82>. EDN: PLQDJW.
9. Serbin D.V., Bolshunov A.V., Dmitriev A.N., Kadochnikov V.G., Gorelikov V.G. Experimental studies of the process of bottomhole annular coolant circulation formation. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*. 2024;1:16-22. (In Russ.). EDN: XZVQNT.
10. Shishkin E.V., Bolshunov A.V., Timofeev I.P., Avdeev A.M., Rakitin I.V. Model of a walking sampler for research of the bottom surface in the subglacial Lake Vostok. *Journal of Mining Institute*. 2022;257:853-864. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.53>. EDN: UMLVXQ.
11. Vasilev N.I., Leichenkov G.L., Zagrivny E.A. Prospects of obtaining samples of bottom sediments from subglacial Lake Vostok. *Journal of Mining Institute*. 2017;224:199-208. (In Russ.). <https://doi.org/10.18454/PMI.2017.2.199>. EDN: YLMZAH.
12. Zagrivny E.A., Poddubny D.A. Dynamically balanced drilling machine for a load-carrying cable for taking bottom sediments of subglacial lakes in Antarctica. In: *Problema mekhaniki sovremennykh mashin: materialy VII Mezhdunar. nauch. konf. = Issues on modern Machines Mechanics: Proceedings of the VII International scientific Conference*. 25–30 June 2018, Ulan-Ude. Ulan-Ude: East Siberia State University of Technology and Management; 2018, vol. 1, p. 197-201. (In Russ.). EDN: YQRMJN.
13. Shturmakov A.J., Lebar D.A., Mason W.P., Bentley C.R. A new 122 mm electromechanical drill for deep ice-sheet coring (DISC): 1. Design concepts. *Annals of Glaciology*. 2007;47:28-34. <https://doi.org/10.3189/172756407786857811>.
14. Mason W.P., Shturmakov A.J., Johnson J.A., Haman S. A new 122 mm electromechanical drill for deep ice-sheet coring (DISC): 2. Mechanical design. *Annals of Glaciology*. 2007;47:35-40. <https://doi.org/10.3189/172756407786857640>.
15. Mortensen N.B., Sendelbach P.J., Shturmakov A.J. A new 122 mm electromechanical drill for deep ice-sheet coring (DISC): 3. Control, electrical and electronics design. *Annals of Glaciology*. 2007;47:41-50. <https://doi.org/10.3189/172756407786857668>.



16. Shturmakov A.J., Sendelbach P.J. A new 122 mm electromechanical drill for deep ice-sheet coring (DISC): 4. Drill cable. *Annals of Glaciology*. 2007;47:51-53. <https://doi.org/10.3189/172756407786857802>.
17. Talalay P., Sun Y., Fan X., Zhang N., Cao P., Wang R., et al. Antarctic subglacial drilling rig. Part I: General concept and drilling shelter structure. *Annals of Glaciology*. 2020;62(84):1-11. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.37>.
18. Talalay P., Li X., Zhang N., Fan X., Sun Y., Cao P., et al. Antarctic subglacial drilling rig. Part II: Ice and Bedrock Electromechanical Drill (IBED). *Annals of Glaciology*. 2021;62(84):12-22. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.38>.
19. Zhang N., Talalay P., Liu J., Fan X., Kong Q., Yu H., et al. Antarctic subglacial drilling rig. Part IV: Electrical and electronic control system. *Annals of Glaciology*. 2020;62(84):34-45. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.40>.
20. Fan X., Talalay P., Sun Yo., Li X., Zhang N., Markov A., et al. Antarctic subglacial drilling rig: Part III. Drilling auxiliaries and environment measures. *Annals of Glaciology*. 2020;62(84):24-33. <https://doi.org/10.1017/aog.2020.39>.

Информация об авторе / Information about the author



Шадрин Вячеслав Сергеевич,

аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Россия,
✉ Shadrin_VS@pers.spmi.ru
<https://orcid.org/0009-0002-2329-3435>

Vyacheslav S. Shadrin,

Postgraduate Student,
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,
St. Petersburg, Russia,
✉ Shadrin_VS@pers.spmi.ru
<https://orcid.org/0009-0002-2329-3435>



Большунов Алексей Викторович,

кандидат технических наук, доцент,
руководитель лаборатории технологии
и техники бурения скважин в условиях станции Восток,
научный центр «Арктика»,
Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Россия,
Bolshunov_AV@pers.spmi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3879-7380>

Alexey V. Bolshunov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Laboratory of Technology
and Drilling Equipment in Vostok Station Conditions,
Arktika Research Center,
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,
St. Petersburg, Russia,
Bolshunov_AV@pers.spmi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3879-7380>



Климов Владимир Яковлевич,

кандидат технических наук,
доцент кафедры практических навыков и опыта,
Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Россия,
Klimov_VYa@pers.spmi.ru
<https://orcid.org/0009-0000-9023-9397>

Vladimir Ya. Klimov,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Practical
Skills and Experience,
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,
St. Petersburg, Russia,
Klimov_VYa@pers.spmi.ru
<https://orcid.org/0009-0000-9023-9397>

**Вклад авторов / Contribution of the authors**

В.С. Шадрин – разработка концепции, разработка методологии, проведение исследования.
А.В. Большунов – научное руководство, написание рукописи – рецензирование и редактирование.
В.Я. Климов – разработка методологии, написание рукописи – рецензирование и редактирование.
Vyacheslav S. Shadrin – conceptualization, methodology, investigation.
Alexey V. Bolshunov – supervision, writing – review & editing.
Vladimir Ya. Klimov – methodology, writing – review & editing.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 01.11.2024; одобрена после рецензирования 02.12.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 01.11.2024; approved after reviewing 02.12.2024; accepted for publication 17.12.2024.