

Д.М. Татаринов✉, И.А. Егоров, Т.М. Третьяков

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

✉ dm.tatarinov@s-vfu.ru

## ТРУДНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОХОДНОЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

**Аннотация.** В статье описан метод устранения проблемы замерзания гидравлической системы буровой установки УРБ-2А2 при бурении геологоразведочных скважин в морозных условиях Республики Саха (Якутия). В ходе исследования мы проанализировали многолетний опыт промышленных компаний, занятых буровыми работами на территории Республики Саха (Якутия). В этой связи в районах Крайнего Севера важной задачей является разработка инновационных методов, направленных на улучшение условий труда рабочих и качества технологий для защиты гидравлических систем буровых установок, функционирующих в суровом климате региона.

В качестве меры профилактики и борьбы с замерзанием гидравлической системы мы предлагаем утепление гидроборудования бурового станка с использованием теплоизолирующих материалов. На основании проведённой диагностики и расчётов нам удалось разработать эффективный способ решения проблемы замерзания гидравлической системы. Этот метод не требует значительных изменений в существующем оборудовании и не влечёт за собой крупных финансовых затрат. На следующем этапе мы проведем испытания предложенного метода решения проблемы в условиях Крайнего Севера на самоходной буровой установке УРБ-2А2.

**Ключевые слова:** бурение скважин, геологоразведочные скважины, многолетняя мерзлота, колонковое бурение, буровое оборудование, поисковые скважины, разведочные скважины, экстремально низкие температуры, гидросистема, теплоизоляция, моделирование.

**Для цитирования:** Татаринов Д.М., Егоров И.А., Третьяков Т.М. Трудности эксплуатации самоходной буровой установки при бурении геологоразведочных скважин в условиях Крайнего Севера. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 63–71. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-63-71

Д.М. Татаринов✉, И.А. Егоров, Т.М. Третьяков

<sup>1</sup>М.К. Ammosov North Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

✉ dm.tatarinov@s-vfu.ru

## DIFFICULTIES IN OPERATING A SELF-PROPELLED DRILLING RIG WHEN DRILLING GEOLOGICAL EXPLORATION WELLS IN THE FAR NORTH CONDITIONS

**Abstract.** The article describes a method for eliminating the problem of freezing of the hydraulic system of the URB-2A2 drilling rig when drilling exploration wells in the freezing conditions of the Sakha Republic (Yakutia). During the study, we analyzed the long-term experience of industrial companies engaged in drilling operations in Yakutia. In this regard, in the regions of the Far North, an important task is to develop innovative methods aimed at improving the working conditions of workers and the quality of technologies for protecting the hydraulic systems of drilling rigs operating in the harsh climate of the region.

As a measure to prevent and combat freezing of the hydraulic system, we propose insulating the hydraulic equipment of the drilling rig using heat-insulating materials. Based on the diagnostics and calculations, we were able to develop an effective way to solve the problem of freezing of the hydraulic system. This method does not require significant changes in the existing equipment and does not entail large financial costs. At the next stage, we will test the proposed method for solving the problem in the conditions of the Far North on the URB-2A2 self-propelled drilling rig.

**Keywords:** well drilling, exploration wells, permafrost, core drilling, drilling equipment, machines and mechanisms, extremely low temperatures, hydraulic system, thermal insulation, modeling.

**For citation:** Tatarinov D.M., Egorov I.A., Tretyakov T.M. Difficulties in operating a self-propelled drilling rig when drilling geological exploration wells in the Far North conditions. *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № 4. Pp. 63–71. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-71-79

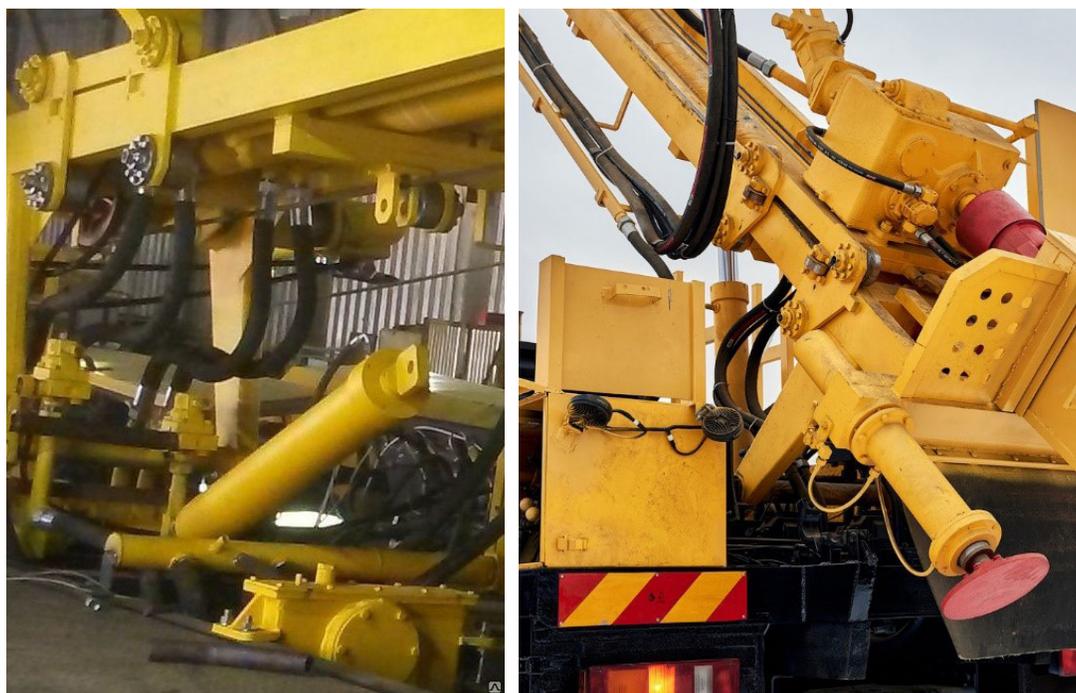
### Введение

На данный момент в Республике Саха (Якутия) активно проводятся геологоразведочные работы, направленные на освоение и увеличение минерально-сырьевой базы страны. При этом основным методом разведки месторождений остаётся колонковое бурение с отбором керна. Из-за большого размера территории региона и повсеместного распространения многолетне-мёрзлых пород передвижение тяжёлой техники летом невозможно: в это время года верхние слои вечной мерзлоты тают, а дорог нет. Поэтому буровые работы на северо-востоке России проходят сезонно, преимущественно зимой, когда почва и реки скованы льдом.

Суровый климат Якутии, с его зимними температурами до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и повсеместным распространением вечной мерзлоты, создаёт крайне неблагоприятные условия для бурения геологоразведочных скважин. Главные трудности при работе в зимний период в Республике Саха (Якутия) связаны с тем, что температурный режим скважины не соответствует условиям бурения, а характеристики бурового оборудования не подходят для эксплуатации в таком климате. [3, 4, 6].

### Особенности эксплуатации буровых установок в зимний период

Опыт бурения геологоразведочных скважин в зимний период на территории Северо-Востока России на протяжении многих лет выявил ряд серьезных проблем, связанных с отрицательными температурами окружающей среды. Одной из наиболее распространенных проблем являются осложнения, возникающие из-за герметичности рукавов высокого давления (РВД) (рис. 1).



**Рис. 1.** Места, где рукава высокого давления с наибольшей вероятностью могут выйти из строя во время различных вспомогательных работ

**Figure 1.** Places where high-pressure hoses are most likely to fail during various auxiliary works

Рукава, как правило, изготавливаются из резины и других полимерных материалов, которые при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  теряют свои упругие свойства и становятся более хрупкими [1; 3; 4]. Это может привести к их разрывам и утечкам, что, в свою очередь, создает серьезные риски для безопасности. Проблема обрыва рукавов высокого давления не только приводит к утечке гидравлического масла, но и может вызвать поломку оборудования, что негативно сказывается на производственном процессе. В условиях сурового климата, где ремонт и замена оборудования могут занимать значительное время, такие инциденты могут привести к значительным финансовым потерям и задержкам в выполнении работ. Кроме того, ситуации, связанные с утечками, могут представлять опасность для здоровья и жизни рабочего персонала.

Рукава высокого давления (РВД), изображенные на рис. 2, представляют собой сложные инженерные изделия, предназначенные для передачи жидкостей под высоким давлением в различных механизмах. В отличие от обычных гибких труб, РВД обладают значительно большей прочностью и износостойкостью, достигаемой за счет многослойной конструкции. Посредством РВД передаётся не только усилие, но и энергия. Их применяют для перемещения разных рабочих жидкостей: гидравлических масел (минеральных, синтетических, биоразлагаемых), топлива для двигателей, водных растворов, эмульсий «масло – вода», а также специальных жидкостей для разных производственных процессов. [6].



**Рис. 2.** Рукав высокого давления (РВД) представляет собой гибкий сегмент трубопровода. Он используется в гидравлических системах для соединения подвижных компонентов и подачи к ним рабочих жидкостей

**Figure 2.** The high-pressure hose (HVD) is a flexible segment of the pipeline. It is used in hydraulic systems to connect moving components and supply working fluids to them

Конструкция рукава высокого давления зависит от его функций и условий эксплуатации. Он работает в агрессивной среде под большим давлением.

Из-за постоянных температурных колебаний гидравлическое масло в резервуаре буровой установки образует конденсат на внутренних стенках ёмкости. С каждым циклом замерзания и оттаивания жидкости объём конденсата растёт. В результате в гидравлической системе буровой установки накапливается много воды, что может привести к сбоям в работе соединений и компонентов системы.

Увеличение количества подобных аварий связано с тем, что ключевые детали буровой установки быстрее приходят в негодность. Кроме того, оборудование требует частого техобслуживания, а покупка запчастей обходится дорого. Всё это усложняет работу персонала и ухудшает технико-экономические показатели бурения.

Чтобы предотвратить аварийные ситуации, сотрудникам необходимо регулярно проверять состояние элементов гидравлической системы буровой установки.

Практика геологоразведочных работ в условиях Крайнего Севера показала, что из-за отсутствия специальных защитных конструкций для ключевых компонентов гидравлической системы самоходных буровых установок многим предприятиям приходится останавливать работу при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ . Это может привести к невыполнению производственных планов.

В процессе проведения исследования мы изучили многолетний опыт работы промышленных компаний, которые круглогодично занимаются буровыми работами на территории Республики Саха (Якутия). Основной буровой установкой для проведения геологоразведочных работ является УРБ-2А2 на базе автомобиля «Камаз» оборудованный винтовым компрессором. На сегодняшний день, благодаря своей универсальности и доступности данные буровые установки являются одними из самых распространенных в Российской Федерации и в основном используются при проведении геологоразведочных и инженерно-изыскательских работ.

УРБ-2А2 является полностью гидрофицированной буровой установкой, которая оборудована подвижным вращателем и подъемной мачтой. Все элементы гидросистемы станка соединены между собой посредством рукавов высокого давления (РВД) (Рис. 3), которые, как показывает практика являются самыми уязвимыми элементами гидросистемы, так как при эксплуатации они наиболее часто подвергаются различным механическим нагрузкам и негативному влиянию окружающей среды.

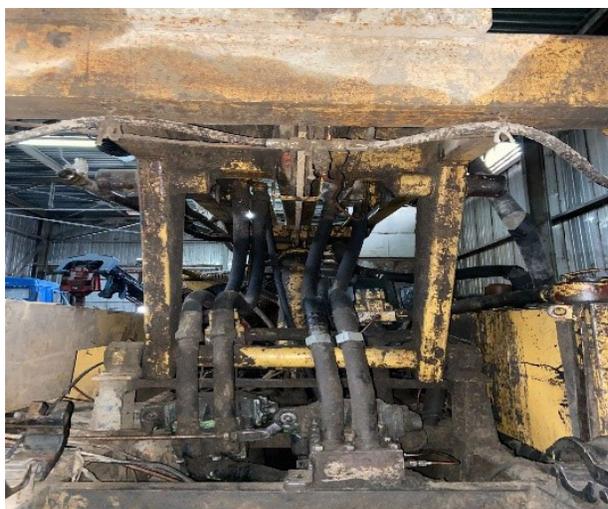


Рис. 3. Рукава высокого давления буровой установки УРБ-2А2

Figure 3. High-pressure hoses of the URB-2A2 drilling rig

В процессе эксплуатации гидрооборудования из-за высоких давлений и трения происходит нагревание рабочей жидкости, за счет этого явления поддерживается оптимальная температура в гидросистеме техники при температуре окружающей среды до  $-30$  С (зависит от состава гидравлического масла). При температуре воздуха ниже  $-40-50$  С эксплуатация гидрофицированной техники нежелательна даже при использовании специальных морозостойких гидравлических масел, так как при таких экстремальных температурах повышается вязкость масла, увеличивается потеря давления в гидравлической системе, увеличивается сопротивление гидравлическому потоку и трение подвижных соединений, затрудняется запуск гидропривода, теряются эластичные свойства резинового уплотнения и РВД. Все вышеперечисленные осложнения существенно повышают вероятность отказа гидрооборудования [1-5].

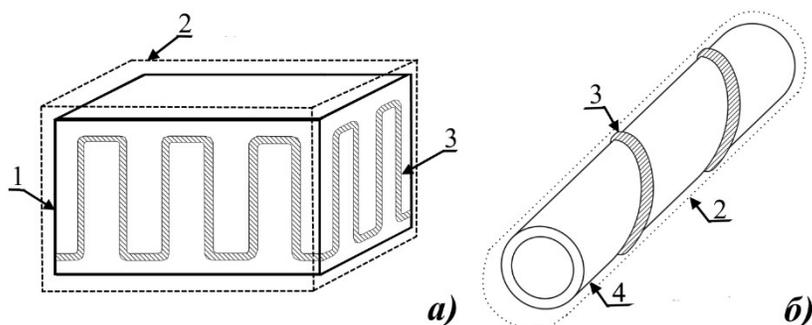
#### **Способ утепления гидросистемы самоходных буровых установок**

В качестве способа профилактики и борьбы с проблемой замерзания гидравлической системы нами рассматривается способ утепления гидрооборудования бурового станка теплоизолирующими материалами. Мы считаем, что за счет теплоизоляции маслобака и рукавов высокого давления возможно значительно повысить эффективность гидравлического оборудования зимой, из-за высокой теплопроводности резиновых и металлических компонентов гидравлической системы тепло, выделяющееся при использовании гидравлического масла, не сразу попадает в окружающую среду.

Мы предлагаем идею создания теплозащитного устройства для гидросистемы, которая базируется на использовании саморегулирующихся греющих кабелей и теплоизоляционного материала.

Принцип работы саморегулирующегося кабеля основан на свойствах «саморегулирующихся» полупроводниковых резисторов, которые реагируют на температуру окружающей среды. При понижении температуры сопротивление уменьшается, что приводит к увеличению тока и мощности нагрева. Важной и полезной характеристикой этого кабеля является возможность обрезки от 20 см. до любой длины, что позволяет легко увеличивать или укорачивать его.

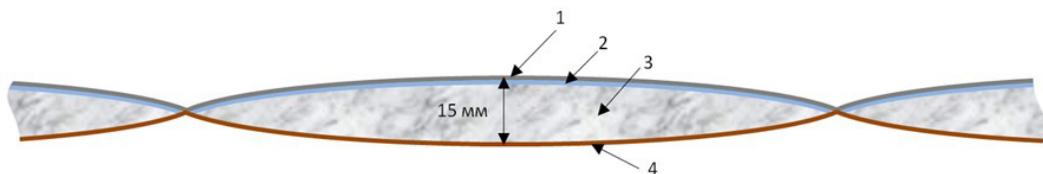
Нужно обмотать резервуар для масла буровой установки кабелем по всей площади (см. рис. 4, а). Затем следует покрыть его плотным теплоизоляционным материалом. Греющий кабель от резервуара необходимо проложить вдоль рукава высокого давления поверх обмотки (см. рис. 4, б).



**Рис. 4.** Теплоизоляция резервуара гидравлической системы с помощью греющего кабеля (а) и рукавов высокого давления (б): 1 – резервуар; 2 – теплоизоляционное покрытие; 3 – греющий кабель; 4 – рукава высокого давления

**Figure 4.** Thermal insulation of the reservoir of the hydraulic system using a heating cable (a) and high – pressure hoses (b): 1 – tank; 2 – thermal insulation coating; 3 – heating cable; 4 – high-pressure hoses

Для более эффективной теплоизоляции гидравлических шлангов и оборудования предлагается использовать четырёхслойный теплоизоляционный материал (рис. 5).



**Рис. 5.** Структура теплоизоляционного материала включает четыре слоя: 1 – наружный; 2 – водонепроницаемый; 3 – промежуточный; 4 – внутренний

**Figure 5** The structure of the thermal insulation material includes four layers: 1 – external; 2 – waterproof; 3 – intermediate; 4 – internal

Для исследования теплоизоляции рукавов высокого давления мы провели математическое моделирование взаимодействия рукавов с окружающей средой. На рисунке 6 представлена расчетная область, которая состоит из трех подобластей:  $v_1$  – масло,  $v_2$  – труба,  $v_3$  – изоляция. Для определения распределения температуры  $T$  будем решать уравнение теплопроводности [6]:

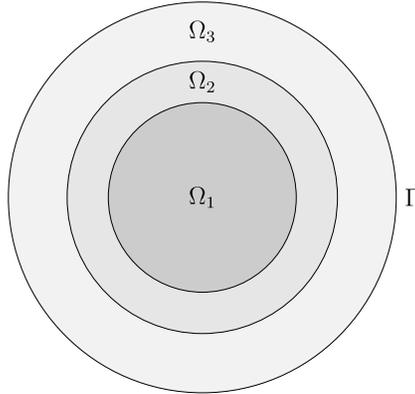


Рис. 6. Расчетная область

Figure 6. Calculation area

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (\lambda \nabla T) = 0, \quad x \in \Omega. \tag{1}$$

Здесь,  $c$  – удельная теплоемкость,  $\rho$  – плотность,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, которые определяются как

$$c(x) = \begin{cases} c_1, & x \in \Omega_1, \\ c_2, & x \in \Omega_2, \\ c_3, & x \in \Omega_3, \end{cases} \quad \rho(x) = \begin{cases} \rho_1, & x \in \Omega_1, \\ \rho_2, & x \in \Omega_2, \\ \rho_3, & x \in \Omega_3, \end{cases} \quad \lambda(x) = \begin{cases} \lambda_1, & x \in \Omega_1, \\ \lambda_2, & x \in \Omega_2, \\ \lambda_3, & x \in \Omega_3, \end{cases}$$

где нижние индексы 1, 2 и 3 обозначают свойства масла, резины и изоляции, соответственно. Также, уравнение (1) необходимо дополнить граничными и начальными условиями. На границе будет происходить конвективный теплообмен с окружающей средой

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T - T_{out}), \quad x \in \Gamma_1, \tag{2}$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплообмена,  $T_{out}$  – температура окружающей среды. Начальная температура равна

$$T = T_0, \quad x \in \Omega. \tag{3}$$

Для численного решения задачи (1) – (3) мы будем использовать метод конечных элементов [7]. Программная реализация проводится на вычислительном пакете FEniCS [8]. Данный пакет позволяет автоматизировать численное решение дифференциальных уравнений с помощью метода конечных элементов. Геометрическая область и расчетная сетка (рис. 7) построены на программе Gmsh. Все используемые в исследовании программы являются бесплатными и свободно распространяемыми.

В первую очередь, проведено моделирование остывания трубы без теплоизоляции и с теплоизоляцией в течение одного часа. Начальная температура гидравлического масла принята равной  $T_0 = 30$  °С, температура окружающей среды –  $T_{out} = -50$  °С. Наружный диаметр трубы равен 46 мм, толщина стенки 7 мм. Материал трубы – резина. В качестве теплоизолятора взяли минеральную вату с толщиной 10 мм. Теплофизические свойства масла, резины и изоляции представлены в таблице 1. Расчеты проведены с шагом по времени 1 минута в течение 1 часа (60 шагов по времени).

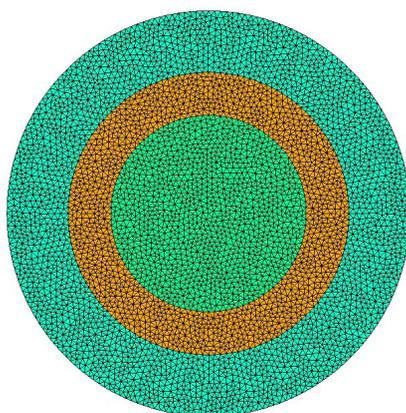


Рис. 7. Расчетная сетка

Figure 7. Calculation grid

Таблица 1 – Теплофизические свойства

Table 1 – Thermophysical properties

Материал	$c$ , Дж/(кг · °С)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м · °С)	$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> · °С
Масло	1860	870	0.1333	-
Резина	1420	1500	0.175	65
Изоляция	920	50	0.0356	3

Результат расчета показан на рисунке 8, распределение температуры показано слева без теплоизоляции через 1 час, справа – с теплоизоляцией. Видно, что без изоляции масло полностью замерзает и его температура будет равна  $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Когда РВД покрыт теплоизоляционным материалом масло не замерзнет, а температура за 1 час падает до  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На рисунке 9 показана изменение максимальной температуры масла в течение часа. Синяя сплошная линия показывает распределение температуры с изоляцией, оранжевая пунктирная линия – без изоляции. Видно, что без изоляции масло замерзнет в течение 20 минут.

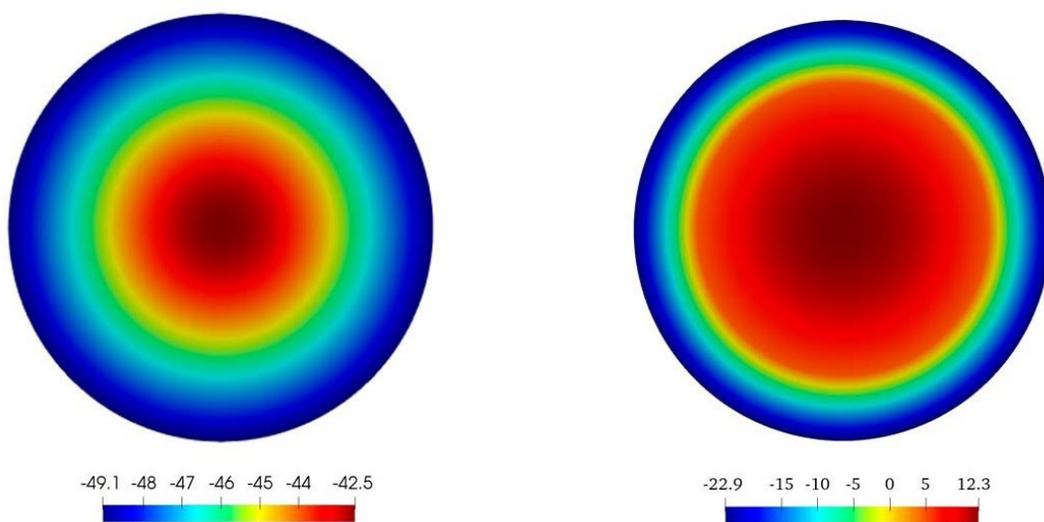


Рис. 8. Распределение температуры без изоляции (слева), с теплоизоляцией (справа)

Figure 8. Temperature distribution without insulation (left), with thermal insulation (right)

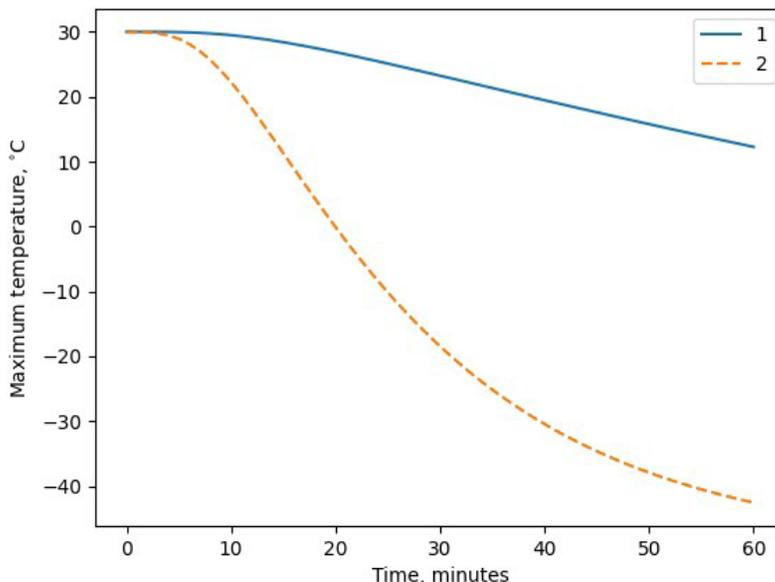


Рис 9. Максимальная температура масла по времени: 1 – с изоляцией, 2 – без изоляции

Figure 9. Maximum oil temperature in time: 1 – with insulation, 2 – without insulation

### Заключение

Учитывая существующую тенденцию увеличения геологоразведочного бурения в районе Крайнего Севера и актуальность исследований по этой теме, мы планируем продолжить теоретические и экспериментальные работы. Мы считаем, что повышение технико-технических характеристик оборудования в первую очередь достигается за счет их адаптации к условиям работы. При этом необходимо добиться нужного результата, без серьезных модификаций существующего оборудования и больших финансовых вложений. Так как, на наш взгляд именно при таком подходе можно добиться успеха в реалиях Севера-Востока и Арктики Российской Федерации.

Предложенный нами вариант борьбы с проблемой замерзания гидравлической системы отвечает всем выше представленным требованиям и является на наш взгляд практичным и экономичным. Результаты математического моделирования, проведенного в этой статье, доказывают, что изоляция гидравлического оборудования является эффективным способом борьбы с промерзанием гидравлической системы буровой установки. Следующим шагом является проведение испытаний способов решения предлагаемой проблемы на базе самоходной буровой установки УРБ-2А2 в зимних условиях Крайнего Севера.

### Литература

1. Шевченко, А. Н. Влияние температурного режима скважины на эффективность бурения мёрзлых массивов / А.Н. Шевченко. – Текст : непосредственный // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 11 (58). – С. 113-117.
2. Кудряшов, Б. Б. Бурение скважин в мерзлых породах / Б.Б. Кудряшов, А.М. Яковлев. – Москва : Недра, 1983. – 286 с. – Текст : непосредственный.
3. Кудряшов, Б. Б. Бурение скважин в условиях изменения агрегатного состояния горных пород / Б.Б. Кудряшов. – Ленинград : Недра, 1991. – 286 с. – Текст : непосредственный.
4. Кудрявцев С. А. Численные исследования теплофизических процессов в сезонно-мерзлых грунтах / С. А. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Криосфера Земли. – 2003. – Т. ПХ, № 4. – С. 102-104.
5. Джураев, Р. У. Анализ бурения скважин с продувкой воздухом / Р.У. Джураев, М. В. Меркулов. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014. – С. 327-330.

6. Яркин, А. В. Повышение работоспособности рукавов высокого давления гидропривода при эксплуатации в суровых климатических условиях / А. В. Яркин, Ю. Г. Сысоев, А. Р. Крук [и др.] // Электронный научный журнал “Инженерный вестник Дона”. – 2014. – № 3. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2512/>
7. Каверзин, С. В. Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах / С. В. Каверзин, В. П. Лебедев, Е. А. Сорокин. – Красноярск. – 1998. – 240 с. – Текст : непосредственный.
8. Samarskii, A. A. Computational heat transfer / A. A. Samarskii, P.N. Vabishchevich. – John Wiley & Sons, 1995. – Text : unmediated.
9. Afanaseva, N. V. Numerical solution of the thermal influence of oil well cluster on permafrost / N.V. Afanaseva, A. E. Kolesov. – Text : unmediated // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1773, no. 1. – P. 110001.
10. Alnæs, M. S. The FEniCS Project Version 1.5 / M. S. Alnæs, J. Blechta, J. Hake, A. Johansson [et al.]. – Text : unmediated // Archive of Numerical Software. – 2015. – Vol. 3, no. 100. – P. 9–23.

### References

1. Shevchenko AN The influence of the temperature regime of the well on the drilling efficiency of frozen massifs. Bulletin of the IrSTU, 2011;11(58):113-117.
2. Kudryashov BB, Yakovlev AM. Drilling of wells in frozen rocks. Moscow: Nedra, 1983:286. (in Russian)
3. Kudryashov BB. Drilling wells in conditions of changes in the aggregate state of rocks. Leningrad: Nedra, 1991:286. (in Russian)
4. Kudryavtsev SA. Numerical studies of thermophysical processes in seasonally frozen soils. Cryosphere of the Earth, 2003;Vol.IIX,4:102-104. (in Russian)
5. Juraev RU, Merkulov MV. Analysis of drilling wells with air purging. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2014:327-330. (in Russian)
6. Yarkin AV, Sysoev YuG, Kruk AR et al. Improving the efficiency of high-pressure hydraulic drive hoses during operation in harsh climatic conditions. Electronic scientific journal “Engineering Bulletin of the Don”, 2014;№ 3. Available from: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2512/>. (in Russian)
7. Kaverzin SV, Lebedev VP, Sorokin EA. Ensuring the operability of the hydraulic drive at low temperatures. Krasnoyarsk, 1998:240. (in Russian)
8. Samarskii AA, Vabishchevich PN. Computational heat transfer. John Wiley & Sons, 1995.
9. Afanaseva NV, Kolesov AE. Numerical solution of the thermal influence of oil well cluster on permafrost. AIP Conference Proceedings, 2016;Vol.1773,1:110001.
10. Alnæs MS, Blechta J, Hake J, Johansson A et al. The FEniCS Project Version 1.5. Archive of Numerical Software, 2015;Vol.3,100:9–23.

### Сведения об авторах

*ТАТАРИНОВ Дмитрий Михайлович* – ст. преп. каф. недропользование ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: [dm.tatarinov@s-vfu.ru](mailto:dm.tatarinov@s-vfu.ru)

*TATARINOV Dmitry M.* – Senior Lecturer, Department of Subsoil Use, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ЕГОРОВ Игорь Антонович* – ст. преп. каф. недропользование ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: [igor.titr@gmail.com](mailto:igor.titr@gmail.com)

*EGOROV Igor A.* – Senior Lecturer, Department of Subsoil Use, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ТРЕТЬЯКОВ Терентий Матвеевич* – студент каф. недропользование ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: [Tretyakov\\_terentiy@mail.ru](mailto:Tretyakov_terentiy@mail.ru)

*TRETYAKOV Terentiy M.* – student, Department of Subsoil Use, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University