

УДК 536.4

Динамика температурного режима озерной воды на забое скважины

Канд. техн. наук А. Н. ДМИТРИЕВ¹, М. Е. БУДОВСКАЯ²
a2807970@mail.ru¹, folloo.01@mail.ru²
Санкт-Петербургский государственный горный университет

Предлагается и анализируется решение температурного режима вблизи границы забой скважины — подледниковое озеро, где температура льда близка к точке плавления. Объектом исследований является технология бурения и эксплуатации глубокой скважины 5Г, пробуренной в ледниковом массиве на российской станции Восток в Антарктиде. Целью работы является создание экологически безопасной и конкурентоспособной технологии поддержания в рабочем состоянии выхода скважины 5Г в озеро Восток в процессе его исследования. Задачей работы является прогнозирование динамики температурного режима поднявшейся озерной воды в скважину. Решать оставленную задачу целесообразно за счет передачи тепла от рассредоточенного по высоте электрического нагревателя стенкам скважины на их протаивание, при малых значениях перепада температуры между стенкой скважины и озерной водой. Знание характера изменения теплоемкости, тепло- и температуропроводности в зависимости от температуры необходимо для расчета параметров всех термодинамических процессов, протекающих в ледяном массиве. В перспективе, бурение скважин в ледниках и подледниковых породах имеет также огромное значение для проведения геологоразведочных работ и в дальнейшем эксплуатации месторождений полезных ископаемых, скрытых мощными ледниковыми толщами Антарктики.

Ключевые слова: Антарктида, глубокое бурение, ледниковый массив, ледяной керн, скважина, вскрытие, озерная вода, теплообмен, подледниковое озеро Восток.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 05.02.2018, принята к печати 24.05.2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-2-28-33

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Дмитриев А. Н., Будовская М. Е. Динамика температурного режима озерной воды на забое скважины // Вестник Международной академии холода. 2018. № 2. С. 28–33.

Dynamics of the lake water temperature regime at the bottom of the borehole

Ph. D. A. N. DMITRIEV¹, M. E. BUDOVSKAYA²
a2807970@mail.ru¹, folloo.01@mail.ru²
Saint-Petersburg State Mining University

A solution of the temperature regime near the borehole surface — a subglacial lake — where the temperature of the ice is close to the melting point, is proposed and analyzed. The object of the research is the technology of drilling and operation of a 5G deep borehole drilled in the ice sheet at Vostok Russian Research Station in Antarctica. The aim of the work is to create an ecologically safe and competitive technology of maintaining the output of 5G borehole into Lake Vostok in working condition during the process of its investigation. The task of this work is the prediction of the temperature regime dynamics for the lake water rising into the borehole. It is a good practice to solve the problem by transferring heat from the electric heater scattered over the height to the walls of the borehole for their thawing when the values of the temperature difference between the borehole wall and the lake water are small. Understanding the nature of the heat capacity changes, heat and thermal conductivity as a function of temperature is necessary for calculating the parameters of all the thermodynamic processes taking place in the ice massif. In future drilling of boreholes in glaciers and subglacial rocks will be of importance for geological exploration and for exploration of mineral deposits hidden by great ice sheet of Antarctic.

Keywords: Antarctica, deep drilling, ice sheet, ice core, borehole, unsealing, lake water, heat transfer, subglacial Lake Vostok.

Article info:

Received 05/02/2018, accepted 24/05/2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-2-28-33

Article in Russian

For citation:

Dmitriev A. N., Budovskaya M. E. Dynamics of the lake water temperature regime at the bottom of the borehole. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2018. No 2. p. 28–33.

Введение

Актуальность исследования озера Восток (Восточная Антарктида), определяется тем, что оно представляет собой уникальную водную систему, изолированную от земной атмосферы [1], а также поверхностной биосферы в течение миллионов лет. Полное отсутствие света, высокое давление (до 400 атмосфер), специфический газовый и химический состав воды, а также продолжительная изоляция озера предполагают возможность возникновения и развития здесь форм жизни, существенно отличающихся от известных современной науке [2, 3].

С самого начала биологические исследования этого льда стали ассоциироваться с космическими (астробиологическими) миссиями, нацеленными на поиск жизни во Вселенной и изучение путей ее распространения и в частности, с проектом NASA по исследованию покрытого ледяным панцирем спутника Юпитера Европа и Каллисто.

В связи с этим озеро Восток как крупнейший на нашей планете подледниковый водоем и земной аналог морей, существующих под ледяными панцирями, представляет собой интерес как полигон для отработки методов и технических средств обнаружения и изучения жизни в экстремальных внеземных условиях [4].

Результаты первого и второго вскрытия подледникового озера в 2012 и 2014 гг. объективно свидетельствуют о том, что давление воды в озере точно соответствует гидростатическому давлению льда [3, 5–7].

В настоящее время скважина 5Г имеет сложную ступенчатую конструкцию, описание которой представлено рядом работ [1, 5, 8–10]. Верхние 120 метров скважины изолированы от водопроницаемого фирна обсадной колонной [11]. Забойная часть скважины 5Г находится на границе с подледниковым озером [4].

Способ проникновения в подледниковое озеро Восток предусматривает, прежде всего, использование физических особенностей состояния системы «ледниковый покров — подледное озеро» [5, 12]. Фундаментальным является факт, что толщина ледника находится в плавающем состоянии, и давление на границе «лед — вода» соответствует весу столба льда (горному давлению). При бурении льда горное давление компенсируется гидростатическим давлением незамерзающей заливочной жидкости в скважине. Уменьшая количество заливочной жидкости, можно обеспечить недокомпенсацию горного давления, т.е. создать такие условия, когда давление воды озера в данной точке будет превышать давление столба заливочной жидкости.

При таких условиях, в момент контакта забоя скважины с поверхностью озера заливочная жидкость должна вытесняться озерной водой вверх по стволу скважины на высоту, соответствующую недокомпенсации горного давления.

Очевидно, что озерная вода, подымающаяся по скважине, должна замерзнуть по всей высоте внедрения, выполняя роль экологического буфера [12].

Проведение дальнейших исследований вступает в новую фазу и невозможно без соблюдения ряда условий: устойчивости стенок скважины на ее призабойном участке выхода в подледниковое озеро; надежности и безотказности работы всех механизмов и систем устройства

доставки научно-исследовательской аппаратуры в озеро [12, 13].

Для соблюдения указанных условий предполагается расширение скважины в месте контакта с озером до 300 мм на высоту 10 м, для исключения примерзания доставочного снаряда с модулем на грузонесущем кабеле, оснащенном научно-исследовательской аппаратурой, к стенкам скважины, после проведения исследований в озере. Диаметр этого участка определяется потребным временем работы снаряда в глубинах озера.

Предотвратить замерзание столба жидкости, находящейся в скважине, и сужение ствола скважины в рабочей зоне возможно лишь при прогреве всего столба воды с небольшим перекрытием (порядка 1 м) границы «заливочная жидкость — вода».

Осуществление технологического процесса расширения скважины до необходимого диаметра предполагается проводить с использованием теплового расширителя, на оригинальную конструкцию которого подана заявка на полезную модель. Необходимость в ее разработке возникла после проведенного анализа научно-технической литературы и патентного поиска, которые показали, что ни одна из известных конструкций не подходит для условий скважины 5Г. Мощность двух электрических нагревательных элементов, размещенных по всей длине теплового расширителя, используется для интенсивного теплообмена его свободных поверхностей с окружающей средой (водой). Нагретая вода, находящаяся в состоянии естественной конвекции, вызывает необходимое в технологическом отношении расширение скважины.

Задача исследования

Задачей работы является прогнозирование динамики температурного режима подымающейся озерной воды в скважину. Решаемая задача является актуальной и первоочередной для дальнейшего использования скважины 5Г для изучения подледникового озера Восток, что отмечено в Стратегии развития деятельности Российской Федерации в Антарктике на период до 2020 г. и на более удаленную перспективу, утвержденную распоряжением Правительства РФ от 30 октября 2010 г., № 1926-р.

Это позволит не только получить абсолютно уникальную информацию по различным научным дисциплинам, но и в немалой степени укрепит престиж нашей страны в антарктических исследованиях.

Методика расчетов

Рассмотрим вопрос поддержания в рабочем состоянии забоя скважины в процессе изучения озера Восток.

Из термодинамики горных пород известно, что скорость изменения температуры характеризуется коэффициентом температуропроводности — характеризует собой скорость изменения температуры единицы объема среды, т.е. изменение ее температуры за единицу времени

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \text{ м}^2 / \text{с}$$

где λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·град); c — удельная теплоемкость, Дж/(кг·град); ρ — плотность, кг/м³.

Для воды:

$$a_b = \frac{\lambda_b}{c_b \rho_b} = \frac{0,597}{4187 \cdot 1000} = 1,43 \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Процесс охлаждения твердого тела в условиях, когда температура окружающей среды T_c и коэффициента теплоотдачи α во времени остаются постоянными, можно разбить на две стадии: стадию неупорядоченного процесса и стадию регулярного режима. В первой стадии температурное поле зависит от начального теплового состояния тела и имеет случайный характер. Во второй стадии начальное тепловое состояние перестает сказываться на температурном поле и температура убывает во времени по экспоненциальному закону. Наступает так называемый регулярный режим, при котором натуральный логарифм избыточной температуры ϑ любой точки тела изменяется во времени по линейному закону 1 (60;2,8) — 2 (7200;0,3) (рисунок). В этот период относительная скорость изменения температуры (темп охлаждения M) для всех точек тела одинакова. Темп охлаждения M , равный тангенсу угла наклона прямолинейного участка графической зависимости $\ln \vartheta = f(t)$ к оси абсцисс, определяется по формуле

$$M = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{t_2 - t_1}, \text{ 1/с},$$

где $\vartheta = T_i - T_c$ — разность температур (температурный напор) между стенкой и соприкасающейся с ней жидкостью, °C; T_m, T_c — температуры материала и среды соответственно, °C; t — время, с.

Необходимые при расчетах значения исходных данных задаются в соответствии с природными, конструктивными и технологическими параметрами эксплуатации [14].

В нашем случае для цилиндрического источника тепла, когда начинается процесс его охлаждения (источник выключен) принимаем температуру материала источника равной температуре жидкости в скважине в момент времени t_1 , т.е. $T_m = T_{ж} = 0 \div -2,5$ °C, а температуру среды равной температуре льда в момент времени t_2 , т.е. $T_c = T_{л} = -2,8$ °C [9, 11, 15, 16].

Задаем моменты времени $t_1 = 1$ мин (момент времени после отключения теплового источника) и $t_2 = 2$ ч (интересующий нас интервал времени охлаждения). Геометрические характеристики источника: радиус $r = 0,0685$ м, длина $l = 10$ м.

Тогда избыточные температуры ϑ_1 и ϑ_2 , рассчитанные по формуле

$$\vartheta = T_{ж} - T_{л},$$

будут соответственно равны

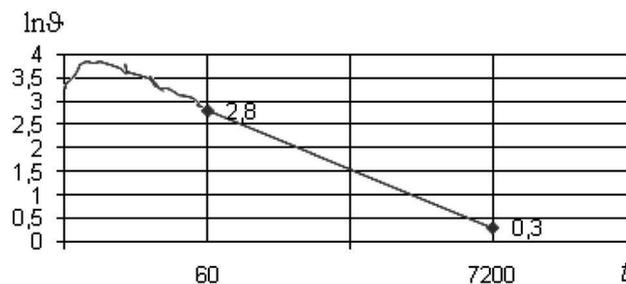
$$\vartheta_1 = 0 - (-2,8) = 2,8;$$

$$\vartheta_2 = -2,5 - (-2,8) = 0,3.$$

Откуда относительная скорость изменения температуры (темп охлаждения) составит

$$M = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{t_2 - t_1} = \frac{\ln 2,8 - \ln 0,3}{7200 - 60} = 3,1 \cdot 10^{-4}, \text{ 1/с}.$$

При регулярном режиме, логарифм избыточной температуры линейно изменяется во времени (см. рисунок), т.е. при наступлении регулярного режима температурное поле тела в координатах $\ln \vartheta - t$ изображается прямой с угловым коэффициентом M .



Темп охлаждения
(относительная скорость изменения температуры)
Colling rate (relative rate of temperature changes)

В условиях, когда $\alpha = \infty$ и $T_c = \text{const}$, темп охлаждения M определяется только физическими свойствами и геометрической формой тела, т.е. справедливо соотношение

$$a = K \cdot M, \text{ м}^2/\text{с},$$

где: K — коэффициент, учитывающий форму и геометрические размеры тела, м².

Для круглого цилиндра радиусом r и длиной l коэффициент K определяется из выражения

$$K = \frac{1}{\left(\frac{2,405}{r}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{l}\right)^2} = \frac{1}{1232,68 + 0,099} = 0,81 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2.$$

Тогда скорость изменения температуры равна

$$a = (0,81 \cdot 10^{-3}) (3,1 \cdot 10^{-4}) = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Если, рассчитанную ранее a_b умножить на объем интересующего участка скважины (10 м), получим близкие значения скорости

$$a = a_b V = 1,43 (3,14 \cdot 0,0685^2 \cdot 10) = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Потребляемую мощность электрического тока для проходки скважины во льду в течение времени t можно оценить по формуле [17]

$$N = k m (c_{л} T + L) t^{-1},$$

где m — масса расплавляемого льда; $c_{л}$ — удельная теплоемкость льда, $c_{л} = 2,26 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°C); L — удельная теплота плавления, $L = 335$ Дж/кг; T — средняя температура льда, $T = -2,7$ °C; k — коэффициент, учитывающий потери тепла, $k = 1,1 \div 1,2$.

С учетом вводимых значений, получаем величину потребляемой мощности:

$$N = 1,2 \cdot 137,76 \cdot (2,26 \cdot 10^3 \cdot (-2,7) + 335) / 7200 = 132,4 \text{ Вт}$$

При наличии разности температур между стенкой скважины и жидкостью (теплоносителем) будет происходить теплообмен. Количество тепла, переданное через однородную стенку скважины в течении 1 с (мощность теплового потока), прямо пропорционально коэффициенту теплопроводности λ , длине рассматриваемого участка скважины l , температурному напору $(T_{\text{ж}} - T_{\text{л}})$ и обратно пропорционально натуральному логарифму отношения диаметра скважины d_2 к диаметру электрического нагревателя d_1 , где $T_{\text{ж}}$, $T_{\text{л}}$ температуры жидкости и льда соответственно, °С.

$$N_Q = \frac{2\pi/\lambda_{\text{в}}}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (T_1 - T_2), \text{ Вт.}$$

Уравнение остается справедливым и для случая, если тепловой поток будет направлен в обратном направлении, т.е. при условии, если $T_{\text{ж}} < T_{\text{л}}$.

Мощность нагревателя для поддержания необходимого диаметра призабойного участка скважины составит:

$$N_Q = \frac{2\pi \cdot 10 \cdot 0,597}{\ln \frac{0,137}{0,132}} (-2,7 - (-2,8)) = 101,3 \text{ Вт,}$$

что не противоречит условию [17], когда максимальная тепловая мощность нагревателя, погруженного при работе в воду, не может превышать значения, при котором удельный тепловой поток с его поверхности равен критической тепловой нагрузке или превышает его.

Из уравнения теплового баланса имеем — мощность теплового потока, необходимая для поддержания рабочего состояния призабойной зоны скважины, равна мощности электрического нагревателя:

$$N_Q = N^{\circ}_Q,$$

величина

$$N^{\circ}_Q = I\Delta\phi, \text{ Вт,}$$

где I — сила электрического тока, А; $\Delta\phi$ — разность электрических потенциалов, В.

Главное условие проведения исследований реликтового подледникового озера — обеспечение экологической

безопасности [18]. В воду озера не должны попасть современные микроорганизмы и опасные вещества. Аспекты этой проблемы не входят в задачу данной статьи, но разработанная Горным университетом технология, позволяет в полной мере обеспечить экологическую безопасность проводимых работ. На эту технологию получено положительное заключение Государственной экологической экспертизы.

Выводы

Основываясь на результаты расчетов, полученные с помощью изложенных здесь теоретических положений, можно сделать следующие выводы:

1. Решать оставленную задачу целесообразно тепловым способом, когда используется мощность электрического нагревателя для интенсивного теплообмена его свободных поверхностей с окружающей средой (водой). Нагретая вода, находящаяся в состоянии естественной конвекции, вызывает необходимое в технологическом отношении расширение скважины;

2. Реализация теплового способа исключает намерзание воды на стенках скважины и обеспечивает требуемый диаметр нижнего участка скважины на весь период ведения исследовательских работ в подледниковом озере;

3. Несмотря на всю условность использованных здесь приемов, результаты расчетов представляются правдоподобными, особенно при малых значениях перепада температуры между стенкой скважины и озерной водой. Полученные данные скорости изменения температуры имеют близкое количественное совпадение, что свидетельствует о достоверности используемой методике расчетов;

4. Полученные результаты показывают, что проведение работ по исследованию подледникового озера, а так же и донных отложений в дальнейшем, может быть осуществлено без риска осложнений, связанных с полной кристаллизацией озерной воды в призабойном участке скважины до того, как исследовательский зонд достигнет при подъеме границы «лед-озеро».

Работы по созданию технологии и технических средств для исследования озера Восток продолжают вестись в Санкт-Петербургском горном университете, где российскими учеными, в ходе бурения скважин в Арктике и Антарктике, накоплен большой опыт и объем данных, на основе которых можно с большой достоверностью моделировать процессы, протекающие во время бурения в различных условиях.

Литература

1. Litvinenko V. S., Vasiliev N. I., Dmitriev A. N., Lipenkov V. Y. Results and peculiarities of hole 5G drilling and first opening of lake Vostok. // Proceedings of International scientific and technical Conference named after Leonardo da Vinci. Berlin. 2013. Vol. 1. p. 159–167.
2. Клепиков А. В., Данилов А. И., Липенков В. Я., Лейченко Г. Л., Неелов А. В. Основные результаты научных работ по подпрограмме «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП

References

1. Litvinenko V. S., Vasiliev N. I., Dmitriev A. N., Lipenkov V. Y. Results and peculiarities of hole 5G drilling and first opening of lake Vostok. *Proceedings of International scientific and technical Conference named after Leonardo da Vinci*. Berlin. 2013. Vol. 1. p. 159–167.
2. Klepikov A. V., Danilov A. I., Lipenkov V. Ya., Leychenkov G. L., Neelov A. V. The main results of scientific studies of the subprogram «Study and Research of the Antarctic» FTP

- «Мировой океан». // Проблемы Арктики и Антарктики, 2015. № 1 (103). с. 19–31.
3. Litvinenko V. S., Vasiliev N. I., ets. Special aspects of ice drilling and results of 5G hole drilling at Vostok station, Antarctica. // *Ann. of Glaciol.* 2014. Vol. 55 (68). P. 173–178.
 4. Васильев Н. И., Дмитриев А. Н., Липенков В. Я. Результаты бурения скважины 5Г на Российской станции «Восток» и исследования кернов льда. // *Записки Горного института.* 2016. том 218 (2), 161–172 с.
 5. Васильев Н. И. и др. Бурение глубокой скважины на станции Восток в Антарктиде и вскрытие подледникового озера Восток. Особенности и результаты. / *Материалы МНПК «Бурение в осложненных условиях».* — СПб.: Лема, 2016. с. 16–17.
 6. Lukin V. V., Vasiliev N. I. Technological aspects of the final phase of drilling borehole 5G and unsealing Vostok Subglacial Lake, East Antarctica. // *Annal. Glaciol.* 2014. vol. 55 (65). p. 83–89.
 7. Васильев Н. И. Оценка процесса замерзания озерной воды в приконтактном участке ствола скважины 5Г с подледниковым озером Восток (Антарктида) / Н. И. Васильев, А. В. Большунов, А. Н. Дмитриев, А. В. Подоляк / *Материалы 2-й МНПК «Бурение в осложненных условиях».* 30 октября — 1 ноября 2017 г.: — СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. с. 16–18.
 8. Васильев Н. И. и др. Спуско-подъемное устройство с полиспастной системой для исследования подледникового озера «Восток». // *Международный научно-исследовательский журнал.* 2016. № 9 (51). с. 137–140.
 9. Bolshunov A. V., Dmitriev A. N., Podoliak A. V. Assessment of Ice Borehole Temperature Conditions at Interface with Subglacial Lake Vostok (Antarctica). // *International Journal of Applied Engineering Research,* 2016. Vol. 11, No 11. pp. 7230–7233.
 10. Васильев Н. И., Дмитриев А. Н., Подоляк А. В. Бурение глубоких скважин во льду на российской станции «Восток». // *Вестник МАНЭБ.* 2015. № 2 (15). с. 21–26.
 11. Большунов А. В., Дмитриев А. Н., Сербин Д. В. Оценка процесса замерзания озерной воды в приконтактном участке ствола скважины 5Г с подледниковым озером Восток (Антарктида). // *Вестник Международной академии холода.* 2017. № 2. с. 73–76.
 12. Котляков В. М., Липенков В. Я., Васильев Н. И. Глубокое бурение в Центральной Антарктиде и проникновение в подледное озеро восток // *Вестник Российской Академии Наук.* 2013. том 83. № 7. с. 591–605.
 13. Vasilev N. I., Dmitriev A. N., Timofeev I. P., Bolshunov A. V., Ignatiev S. A. Extension-Type Pulling-and-Running Gear for Investigations of Subglacial Lake Vostok. // *International Journal of Engineering and Technology (IGET),* Aug-Sep 2017. Vol. 9, No 4. pp. 3330–3337.
 14. Ignatiev S. A., Dmitriev A. N. Forecast of Thermal Behaviour Dynamics at Interface of Borehole 5 and Subglacial Lake Vostok (Antarctica). // *International Journal of Applied Engineering Research.,* 2017. Vol. 12, No 9. pp. 1885–1887.
 15. Bolshunov A. V., Dmitriev A. N., Podoliak A. V. Drilling of Deep Borehole 5G at the Antarctic Station «Vostok» in Ice Layers with the Ice Temperature Close to the Phase Transition Point. // *International Journal of Applied Engineering Research.* 2016. Vol. 11. No 11. pp. 7234–7237.
 16. Дмитриев А. Н., Сербин Д. В., Кадочников В. Г. К методике определения времени замерзания озерной воды в скважи-
 - «World Ocean». *Problems of the Arctic and Antarctica.* 2015. No. 1 (103). p. 19–31. (in Russian)
 3. Litvinenko V. S., Vasiliev N. I., ets. Special aspects of ice drilling and results of 5G hole drilling at Vostok station, Antarctica. *Annals of Glaciology.* 2014. Vol. 55 (68). p. 173–178.
 4. Vasilyev N. I., Dmitriev A. N., Lipenkov V. Ya. Results of drilling borehole 5G at the Russian station «Vostok» and the study of ice cores. *Proceedings of the Mining Institute,* 2016. No. 218 (2) p. 161–172. (in Russian)
 5. Vasiliev N. I., ets. Drilling a deep well at Vostok station in Antarctica and opening the Subglacial Lake Vostok. Features and results. *Drilling in complicated conditions: Materials of the International Scientific and Practical Conference.* St. Petersburg: Lem, 2016. p. 16–17. (in Russian)
 6. Lukin V. V., Vasiliev N. I. Technological aspects of the final phase of drilling borehole 5G and unsealing Vostok Subglacial Lake, East Antarctica. *Annals of Glaciology.* 2014. Vol. 55 (65). p. 83–89.
 7. Vasiliev N. I. Evaluation of the freezing of lake water in the contact area of the borehole 5G with Subglacial Lake Vostok (Antarctica). / N. I. Vasiliev, A. V. Bolshunov, A. N. Dmitriev, A. V. Podolyak / *Drilling wells in complicated conditions: Materials of the 2nd International Scientific and Practical Conference.* Saint-Petersburg Mining University. St. Petersburg, 2017. p. 16–18. (in Russian)
 8. Vasilev N. I., ets. Pulling-and-running gear with reeving system for investigations of Subglacial Lake Vostok. *International Research Journal.* 2016. No 9 (51). pp. 137–140. (in Russian)
 9. Bolshunov A. V., Dmitriev A. N., Podoliak A. V. Assessment of Ice Borehole Temperature Conditions at Interface with Subglacial Lake Vostok (Antarctica). *International Journal of Applied Engineering Research.* 2016. Vol. 11. No 11. pp. 7230–7233.
 10. Vasilyev N. I., Dmitriev A. N., Podoliak A. V. Drilling deep holes into the ice at the Russian station «Vostok». *Vestnik MANEB.* 2015. No. 2 (15). p. 21–26. (in Russian)
 11. Dmitriev A. N., Bolshunov A. V., Serbin D. V. Estimation of the freezing process for lake water in the near-contact section of the 5G borehole with subglacial lake Vostok (Antarctica). *Journal International Academy of Refrigeration.* 2017. No 2. p. 73–76. (in Russian)
 12. Kotlyakov V. M., Lipenkov V. Ya., Vasilev N. I. Deep Drilling in Central Antarctica and Penetration into Subglacial Lake Vostok. *Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk.* 2013. Vol. 83. No. 7. 591–605. (in Russian)
 13. Vasilev N. I., Dmitriev A. N., Timofeev I. P., Bolshunov A. V., Ignatiev S. A. Extension-Type Pulling-and-Running Gear for Investigations of Subglacial Lake Vostok. *International Journal of Engineering and Technology (IGET),* Aug-Sep 2017. Vol. 9. No 4. pp. 3330–3337.
 14. Ignatiev S. A., Dmitriev A. N. Forecast of Thermal Behaviour Dynamics at Interface of Borehole 5 and Subglacial Lake Vostok (Antarctica). *International Journal of Applied Engineering Research.* 2017. Vol. 12. No 9. pp. 1885–1887.
 15. Bolshunov A. V., Dmitriev A. N., Podoliak A. V. Drilling of Deep Borehole 5G at the Antarctic Station «Vostok» in Ice Layers with the Ice Temperature Close to the Phase Transition Point. *International Journal of Applied Engineering Research.* 2016. Vol. 11. No 11. pp. 7234–7237.
 16. Dmitriev A. N., Serbin D. V., Kadochnikov V. G. On the method of determining the time of freezing lake water in the well.

- не. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2016. № 2. с. 12–17.
17. Дмитриев А. Н., Зимица Д. А. К вопросу поддержания необходимого диаметра участка скважины тепловым способом. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2016. № 2. с. 1–5.
18. Липенков В. Я., Васильев Н. И., Екайкин А. А., Подоляк А. В. Продолжение буровых работ в глубокой скважине на станции Восток в сезонный период 58-й РАЭ. // Российские полярные исследования: Информационно-аналитический сборник. 2013. № 1 (11). С. 19–21.
- Scientific journal ITMO. Series: Refrigeration and air conditioning. 2016. No. 2. p. 12–17. (in Russian).*
17. Dmitriyev A. N., Zimina D. A. To a question of maintenance of necessary diameter of a site of a well in the thermal way. *Scientific journal ITMO. Series: Refrigeration and air conditioning. 2016. No. 2. p. 1–5. (in Russian)*
18. Lipenkov V. Ya., Vasiliev N. I., Enaykin A. A., Podolyak A. V. Continuation of drilling operations in a deep well at Vostok station during the seasonal period of the 58th RAE. *Russian Polar Studies: Information and Analytical Collection. 2013. No. 1 (11). P. 19–21. (in Russian)*

Сведения об авторах

Дмитриев Андрей Николаевич

к.т.н, доцент кафедры бурения скважин Санкт-Петербургского государственного горного университета, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2, 123456789nika@mail.ru, a2807970@mail.ru

Будовская Маргарита Евгеньевна

студент 5 курса кафедры бурения скважин Санкт-Петербургского государственного горного университета, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2, folloo.01@mail.ru

Information about authors

Dmitriyev Andrey Nikolaevich

Ph. D, associate professor of department of well-drilling of the Saint-Petersburg state mining University, 199106, Russia, Saint-Petersburg, Vasilievsky island, 21st line, 123456789nika@mail.ru, a2807970@mail.ru

Budovskaya Margarita Evgenievna

5th year student of department of well-drilling of the Saint-Petersburg state mining University, 199106, Russia, Saint-Petersburg, Vasilievsky island, 21st line, folloo.01@mail.ru



Ю. В. СОКОЛОВ

Генеральный директор
ООО «ОК»

ЮБИЛЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ ХОЛОДА

Сотрудники ООО «ОК» поздравляют коллег с юбилеем Международной академии холода (МАХ), сплывающей уже четверть века специалистов холодильных, криогенных специализаций, систем кондиционирования, установок использования естественного холода, работающих в разных городах России и странах СНГ. Широта и высота использования холода грандиозна: по высоте — от подводных лодок до космических аппаратов; по ширине — от полупроводниковых устройств холодильной мощностью в несколько Вт до турбокомпрессорных холодильных систем холодопроизводительностью в десятки МВт.

За этот период изменились технические характеристики широко используемого холодильного оборудования, схемных и компоновочных решений систем холодоснабжения. Появились новые хладагенты и хладоносители. Утечки хладагентов в атмосферу снизились в разы. Уменьшилось удельное потребление энергоресурсов. Резко возросло использование систем кондиционирования воздуха. Предприятия уста-навливают автономные автоматизированные установки разделения воздуха. Активно развивается криомедицина. Увеличивается количество комбинированных холодильных установки с искусственным охлаждением и использованием естественного холода, а также систем тригенерации электричества, тепла, холода.

Каждая сессия международной академии (МАХ) дает возможность специалистам обмениваться информацией в официальной и неофициальной обстановке. И, естественно, появляются новые варианты технических решений холодильного оборудования и холодильных систем, а также возникают новые технологические процессы холодильной обработки продуктов и материалов. Возрастает качество эксплуатации систем холодоснабжения.

Желаем нашим коллегам творческих успехов в исследованиях разнообразных аспектов получения и использования искусственного холода; использованию исследований в новом холодильном оборудовании и системах холодоснабжения; повышению экономичности, экологичности; сбережения энергоресурсов; повышению качества жизни людей; сохранения качества пищевых продуктов; повышения безопасности бытового, коммерческого и промышленного холодильного оборудования.