

Разработка автоматизированной системы управления температурным полем с импульсным источником нагрева

А. Н. Ильюшина

Санкт-Петербургский колледж управления и коммерции
bdbyu@mail.ru

И. М. Новожилов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
novozhilovim@list.ru

Аннотация. В статье рассматриваются решение проблемы бурения в экстремально низких условиях. Приведены проблемы бурения в условиях вечной мерзлоты. Разработана система управления ледового бура. Приведена ее аппаратная реализация. Построены графики формирования температурного поля.

Ключевые слова: управление; системный анализ; электромеханика; регулятор

Более трети территории планеты занято многолетней мерзлотой. Горные породы в толще многолетней мерзлоты находятся в мерзлом или морозном состоянии. К мерзлым относятся породы с отрицательной температурой, в которой вода хотя бы частично, находится в твердом состоянии. Морозными породами называют сухие породы с отрицательной температурой. К морозным породам, как правило, относят постоянно мерзлые, в которых вся вода находится в жидком состоянии. Морозные породы по своим свойствам не отличаются от немерзлых пород. Бурение мерзлых горных пород сопряжено с целым рядом осложнений, связанных с отрицательными температурами и изменением фазового состояния воды при нулевой температуре:

- замерзание промывочной жидкости на водной основе в скважинах при прекращении ее циркуляции;
- деформация обсадных труб при замерзании промывочной жидкости в за-трубном пространстве;
- замерзание воды в цементных смесях при тампонировании, что ведет к не качественному креплению скважин;
- растрескивание стенок скважин и керна, состоящих из раздельно-зернистых и глинистых пород, сцементированных льдом;
- разрушение мерзлой породы (льда) солью, присутствующей обычно в промывочных жидкостях для промывки в мерзлых породах;

- растепление мерзлой породы под буровым зданием.

Замерзание промывочной жидкости в скважине, особенно при наличии в ней бурильной колонны, вызывает тяжелейшие последствия. В большинстве случаев ликвидировать такое осложнение не удастся, и скважина активируется.

Деформация обсадных труб при замерзании промывочной жидкости в затрубном пространстве также может привести к большим осложнениям: если не произвести оперативную замену труб, промывочная жидкость в скважине при ликвидации осложнения может замерзнуть. Возможность замерзания воды цементных смесей при тампонировании осложняет процесс тампонирования, а в ряде случаев некачественное крепление стенок скважин приводит к их обвалам и авариям.

Растепление мерзлой породы под буровым зданием может привести к его оседанию и перекосу, а, следовательно, к искривлению скважин или другим осложнениям.

Основные мероприятия для предупреждения рассмотренных осложнений при бурении скважин в мерзлых породах должны быть направлены на соблюдение необходимого теплового режима.

Одним из вариантов решения данной проблемы авторами статьи предлагается использование термобура. Термобур с импульсными секционными нагревателями состоит из металлической гильзы 1 (рис. 1) с металлической спиралью 5, сердцевина которой представляет собой водоотводящий канал 4 в центре бура, в промежутке между водоотводящим каналом 4 и металлической гильзой 1 внедрены секционные нагревательные элементы 3, разделенные металлическими переборками 2. Данная конструкция ледового бура позволяет использовать импульсные секционные нагревательные элементы, а также есть водоотводящий канал, который забирает пробу расплавленной породы на анализ. Помимо этого есть возможность установить термобур на буровую установку (буровую платформу

рис. 2), благодаря чему отпадает возможность в необходимости постоянно снабжать бур горючими компонентами.

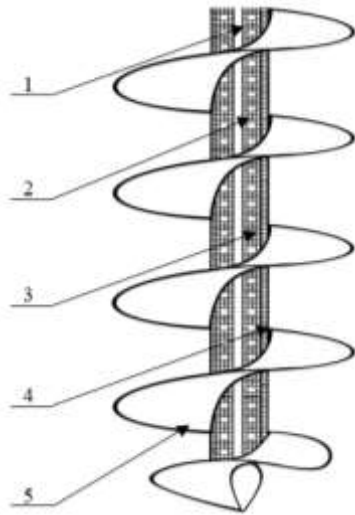


Рис. 1. Общий вид термобура

Благодаря такой конструкции бур можно использовать в буровой установке УРБ-2М.

Структурная схема ледового бура как объекта управления будет иметь вид:

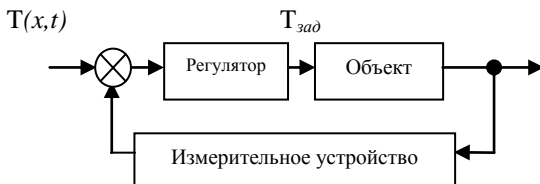


Рис. 2. Структурная схема системы управления

Устройство управления должно создавать воздействия, направленные на изменение температурного поля, которые должны устанавливаться в определенных точках в определенное время, поскольку только тогда можно определить их значение. Таким образом, главной задачей является место и время включения нагревательных элементов. Согласно середине часть ледового бура имеет цилиндрическую форму (форму стержня). В этот стержень помещают импульсные нагревательные элементы, тогда уравнение будет иметь вид:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right),$$

с граничными условиями:

$$U(x, 0) = \varphi(x), -\infty < x < \infty, -\infty < x < \infty, t > 0$$

где $\varphi(x)$ – начальное распределение температуры; a^2 – заданный коэффициент теплопроводности; $U(x, t)$ – внешнее воздействие; x – пространственная координата, t – время.

Проведем преобразование уравнения распределения температуры по переменной x по методу Фурье

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t} = -a^2 p^2 U \\ U(p, 0) = \Phi(p) \end{cases}$$

$$\{U(p, t) = e^{-a^2 p^2 t} * c$$

При

$$\Phi(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(y) e^{-ipy} dy$$

$$U(p, 0) = C = \Phi(p); U(p, t) = \Phi(p) e^{-a^2 p^2 t}$$

Получим:

$$U(x, y) = \frac{1}{2a\sqrt{t\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(y) e^{-\frac{(y-x)^2}{4a^2 t}} dy$$

$$G(y, x, t) = \frac{1}{2a\sqrt{t\pi}} e^{-\frac{(y-x)^2}{4a^2 t}}$$

Тогда функция Грина для уравнения теплопроводности будет иметь вид:

$$U(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x, y, t) \varphi(y) dy$$

Данное уравнение моделирует поведение температурного поля в ледовом буре и называется решением уравнения для нулевых граничных условий. Рассмотрим ледовый бур в виде замкнутой системы управления, где $T_{зад} = T(x, t)$.

Для регулирования системы устройство управления должно создавать воздействия, на изменение температурного поля от заданного значения. Для подтверждения требований по надежности определение границ наработки изделия до отказа можно производить по малым выборкам наблюдений. Задача стабилизации температурного поля сведётся к удержанию температурных изменений $T(x, t)$ в пределах $T_{зад}$. Эту функцию будут реализовывать импульсные нагревательные элементы, представляющие собой бесконечный ряд Фурье функции Грина.

Выполним задачу стабилизации температурного поля на значении $T_{зад} = const$. В начальный момент времени $\tau_0 = 0$ произойдет включение всех температурных источников. Каждый температурный источник оказывает воздействие на соседние датчики и температурные поля, вызванные соседними температурными источниками. Применяя функцию Грина, получим следующее выражение:

$$T(x, t, \xi, \tau) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left[-\left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 (t - \tau) \right] \sin \frac{\pi n}{l} x \sin \frac{\pi n}{l} \xi$$

где n – номер ряда Фурье; l – длина стержня; t – время; x – точка (координата по оси X) расположения датчика температуры; ξ – точка (координата по оси X)

расположения нагревательного элемента; τ – момент включения точечного источника; a^2 – заданный коэффициент температуропроводности материала объекта управления. Через некоторое время температура стержня будет понижаться из-за действия нулевых граничных условий. В точке изотропного стержня x_j функция, $T(x_j, t, \tau_0)$ убывая, достигнет заданного температурного режима $T_{\text{зад}}$ скажем, при $t = \tau_1$, включается импульсный источник с релейным принципом управления ξ_j , соответствующий датчику x_j . Тогда, например, в момент времени τ_1 температурный источник x_1 выводит значение равное заданному температурному режиму $T_{\text{зад}}$. Далее включается источник ξ_1 и воздействует на все датчики. Синтезируя систему управления температурным полем в диапазоне $T_{\text{зад}}$ можно определить влияние на все источники:

$$T(x_j, t) = \sum_{i=1}^d \sum_{n=1}^k \frac{2}{l} \exp \left[- \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 t \right] \sin \frac{\pi n}{l} x_j \sin \frac{\pi n}{l} \xi_i + \\ + \sum_p \sum_{n=1}^k \frac{2}{l} \exp \left[- \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 (t - \tau_p) \right] \sin \frac{\pi n}{l} x_j \sin \frac{\pi n}{l} \xi_{z(p)}$$

Моделируя систему управления с помощью данной функции, наблюдатель имеет возможность следить за распространением температурного поля в любой точке объекта управления в любой промежуток времени.

Технически данная модель представляется следующим образом:

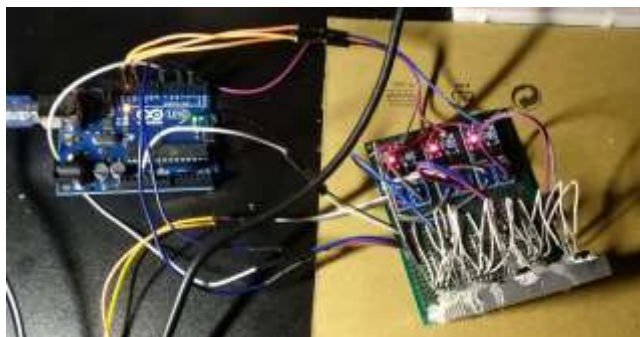


Рис. 3. Техническая реализация

С течением времени температура изменяет свои значения, что отображается на графиках. С каждого датчика были сняты значения и построены кривые.



Рис. 4. Изменение температуры 1-го датчика

Таким образом, в работе была предложена модель ледового бура, предложена стабилизация температурного поля, которая рассчитывалась на основе функции Грина.

Данная методика заключается в реакции системы управления на отклоняющее значение температурного поля вызванного импульсным источником с релейным принципом управления. Помимо математической модели были рассмотрены тепловые процессы и был предложен более экономически выгодный вариант.

На основе математической модели был собран макет, была написана программная реализация, которая моделирует поведение температурного поля. Были рассчитаны, где и в какое время будут включаться датчики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ilyushin Y., Mokeev A. Distribution of temperature in a spatially onedimensional object as a result of the active point source // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 14(6).2019, c. 1238-1243
- [2] Kukharova T.V., Pershin I.M. Conditions of Application of Distributed Systems Synthesis Methods to Multidimensional Object/ 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, 2019. № 8602749 DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602749
- [3] Kukharova T.V., Utkin V.A., Boev I.V. Observation and Prediction Systems Modeling for Human Mental State/ 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, 2019 № 8602831 DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602831
- [4] Afanaseva O.V. Combustion engines vibro-activity diagnostic system, using the methods of similarity theory and analysis of dimensions / O.V. Afanaseva, D.A. Pervukhin, A.F. Nyrkov, S.Y. Chernyi, O.K. Bezyukov, Y.N. Serditov // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2017, № 8109497, pp. 93-95. DOI: 10.1109/CTS2017.8109497
- [5] Afanaseva O. Analysis and synthesis of distributed icedrill heating control system of mountain reconnaissance drilling rig / O. Afanaseva, Y. Ilyushin // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management: 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2018, Bulgaria: Albena 2 – 8 July 2018. – Bulgaria: Stef92 Technology Ltd., 2018, Volume 18, Issue 2.2, pp. 41-48. DOI: 10.5593/sgem2018/2.2/S08.006
- [6] Afanaseva O. Analysis and processing of the hydrolitospheric plast information remote sensing through the theory of systems with distributed / O. Afanaseva, Y. Ilyushin // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management: 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2018, Bulgaria: Albena 2 – 8 July 2018. – Bulgaria: Stef92 Technology Ltd., 2018, Volume 18, Issue 2.2, pp. 35-40. DOI: 10.5593/sgem2018/2.2/S08.005
- [7] Ilyushin Y.V., Pervukhin D.A., Afanasyeva O.V., Kolesnichenko S.V., Afanasyev M.P. Improving energy efficiency of tunnel furnaces of the pipeline type-the solution of the problem(2017) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12 (6), pp. 1801-1812.
- [8] Ilyushin Y.V., Kivayev I.N., Novozhilov I.M. Classification of modern educational programs by functional purpose (2018) Proceedings of 2017 IEEE 6th Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations), SPUE 2017, 2018-January, pp. 96-99. DOI: 10.1109/IVForum.2017.8246061
- [9] Ilyushin Y.V., Novozhilov I.M. Software implementation of a pulse regulator of a distributed distributed control object (2017) Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2017, ст. № 8109555, pp. 315-317. DOI: 10.1109/CTS2017.8109555
- [10] Ilyushin Y.V., Novozhilov I.M. Development of a technique for the synthesis of a pulsed regulator of a distributed control system (2017) Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2017, ст. № 8109517, pp. 168-171. DOI: 10.1109/CTS2017.8109517

- [11] Ilyushin Y., Mokeev A. The control system of the thermal field in tunnel furnace of a Conveyor type (2017) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12 (22), pp. 6595-6605.
- [12] Ilyushin Y.V., Novozhilov I.M. Analyzing of heating elements' location of distributed control objects (2017) Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017, стр. № 7970519, pp. 138-141. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970519
- [13] Ilyushin Y.V., Novozhilov I.M. Analyzing of distributed control system with pulse control (2017) Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017, стр. № 7970565, pp. 296-298. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970565
- [14] Ilyushin Y., Mokeev A. Tunnel furnace of a conveyor type: Technical controlling of the temperature field (2017) International Journal of Applied Engineering Research, 12 (20), pp. 9377-9389.
- [15] Ilyushin Y., Mokeev A. Technical realization of the task of controlling the temperature field of a tunnel furnace of a conveyor type (2017) International Journal of Applied Engineering Research, 12 (8), pp. 1500-1510.
- [16] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Vinogradov, E.A. Assessment of the influence of the first established and identification of critical steps in main roof caving (2018) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13 (10), pp. 3350-3354.
- [17] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Sirenko Y.G. Numerical study of the air-gas dynamic processes when working out the Mosshny seam with longwall faces (2018) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13 (4), pp. 1534-1538.
- [18] Sidorenko A.A., Sirenko Yu.G., Sidorenko S.A. Influence of face advance rate on geomechanical and gas-dynamic processes in longwalls in gassy mines (2018) Eurasian Mining, (1), pp. 3-8. DOI: 10.17580/em.2018.01.01
- [19] Meshkov S., Sidorenko A. Numerical Simulation of Aerogasdynamics Processes in A Longwall Panel for Estimation of Spontaneous Combustion Hazards (2017) E3S Web of Conferences, 21, статья № 01028. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101028
- [20] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Vinogradov E.A. Substantiation of the technological schemes of intensive development of gas-bearing coal beds (2017) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12 (7), pp. 2259-2264.
- [21] Shipachev A. Optimum Conditions of Turning and Surface Plastic Deformation Determination Taking into Account Technological Heredity (2018) Journal of Physics: Conference Series 1118(1), 012036 DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012036
- [22] Samigullin G., Shipachev A., Samigullina L. CONTROL of PHYSICAL and MECHANICAL CHARACTERISTICS of STEEL by SMALL PUNCH TEST METHOD. (2018) Journal of Physics: Conference Series 1118(1), 012038. DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012038
- [23] Verzhbitskiy K., Samigullin G., Shipachev A. Increasing service life of chuck unit of tank during cyclic loading. (2018) Journal of Physics: Conference Series 1118(1), 012040 DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012040
- [24] Shipachev A.M., Nazarova M.N. Phenomenon of low-alloy steel parametrization transformation at cyclic loading in low-cyclic area (2018) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 87(9), 092017 DOI: 10.1088/1755-1315/87/9/092017
- [25] Kirsanova N.Y., Lenkovets O.M., Nikulina A.Y. (2018). The Role and Future Outlook for Renewable Energy in the Arctic Zone of Russian Federation, European Research Studies Journal Volume XXI Special Issue 2, 356-368
- [26] Kirsanova N.Y., Lenkovets O.M. Solving monocities problem as a basis to improve the quality of life in Russia // Life Science Journal 2014;11(6s): p. 522-525
- [27] Kirsanova N.Y., Lenkovets O.M. Future Vision and Possibilities of Russia's Transition to "Green" Economy // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS / RRI 2016 - International Conference «Responsible Research and Innovation», 2017, Vol. XXVI, 514-521 pp., e- DOI: dx.doi.org/10.15405/epsbs.2017.07.02.66
- [28] Golovina E.I. Problems of groundwater extraction from transboundary aquifers and complexes / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, № 151, V 4, 2018. P. 1-8. DOI: 10.1088/1755-1315/151/1/012007
- [29] Pashkevich N.V., Golovina E.I., Tarabarinova T.A., Problems of reflecting information on subsoil assets in International Financial Reporting Standards / Academy of Strategic Management Journal, № 17, V 3, 2018. pp. 1-9.
- [30] Chvileva T.A., Golovina E.I., Publication of reporting of metallurgical companies in context of the concept of corporate sustainable development / Journal of Industrial Pollution Control, № 33, V. 1, 2017. P. 926-930.