

УДК 001.894.2:624.15

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-138-146

*А.С. КЛИМОВ, Р.Т. ЕМЕЛЬЯНОВ, Е.В. ЧУМАКОВА, О.Л. КЛИМОВА,
Сибирский федеральный университет*

МЕТОД ОХЛАЖДЕНИЯ ОКОЛОСВАЙНЫХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В ЗОНЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО СЕВЕРНОГО КЛИМАТА

Обоснована актуальность выполняемых работ по улучшению или упрочнению грунта в зоне вечной мерзлоты под фундаментом зданий или линейных инженерных сооружений в условиях Крайнего Севера.

Проанализированы сезонные колебания замораживания зимой и частичного оттаивания летом поверхностного слоя вечной мерзлоты. По данным современных изысканий температуры грунта приведен прогноз растепления многолетнемерзлых грунтов. Рассмотрены перспективные решения по стабилизации грунтового основания многолетнемерзлых грунтов в северных климатических зонах. Приведены ссылки на научно-техническую литературу о новейших проектных решениях и разработках по созданию многих систем и устройств для термостабилизации многолетнемерзлых грунтов.

Разработана принципиальная схема экспериментальной установки для фиксирования изменения температур воздуха окружающей среды и вечномерзлого грунта. Выбрано оборудование для исследования системы автоматического управления процессом охлаждения обсадной трубы фундаментной сваи и околосвайного вечномерзлого грунта. Для изучения эффективности применения системы автоматического управления процессом охлаждения обсадной трубы фундаментной сваи и околосвайного вечномерзлого грунта создана экспериментальная установка.

Построение модели и моделирование системы автоматического управления процессом охлаждения обсадной трубы фундаментной сваи и околосвайного вечномерзлого грунта реализовано в общетехническом шаблоне среды SimInTech. Система автоматического управления обеспечивает программное управление термоэлектрическими модулями в автоматическом режиме с целью наилучшей их ориентации на температуру воздуха окружающей среды в зависимости от температуры массива грунта в околосвайном пространстве фундамента.

Запатентовано устройство для стабилизации мерзлого грунта свайного фундамента с обсадными трубами, содержащее систему автоматического управления процессом охлаждения околосвайного пространства фундамента.

Ключевые слова: фундамент; многолетнемерзлые грунты; здания и сооружения; устройства термостабилизации грунтов.

Для цитирования: Климов А.С., Емельянов Р.Т., Чумакова Е.В., Климова О.Л. Метод охлаждения околосвайных многолетнемерзлых грунтов в зоне экстремального северного климата // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 4. С. 138–146.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-138-146

*A.S. KLIMOV, R.T. EMEL'YANOV, E.V. CHUMAKOVA, O.L. KLIMOVA,
Siberian Federal University*

COOLING OF NEAR-PILE PERMAFROST SOILS IN THE ARCTIC REGION

This work is performed to improve or strengthen the soil in the permafrost region under building foundations or engineering structures in the conditions of the Far North. Freezing in

winter and partial thawing in summer of the surface layer of permafrost are analyzed. According to the surveys on soil temperature, thawing of permafrost soils is predicted. Promising solutions are considered for the permafrost soil stabilization. The latest design solutions and developments are presented for the creation of many systems and devices for thermal stabilization of permafrost soils. A schematic diagram is suggested for the experimental installation for recording changes in ambient air temperatures and permafrost. The equipment is selected for studying the automated control system for the cooling process of casing pipe of the foundation pile and near-pile permafrost soil. An experimental installation is proposed to study the effectiveness of the automated control system. The model and simulation of this system is implemented in the SimInTech program. The automatic control system provides control for thermoelectric modules in automatic mode in order provide their best orientation in the ambient air temperature, depending on the soil temperature in the near-pile space of the foundation. A device is patented for stabilizing the frozen ground of a pile foundation with casing pipes containing a system for automated control for cooling process of the near-pile foundation.

Keywords: foundation; permafrost soils; buildings; thermal stabilization of soils.

For citation: Klimov A.S., Emelyanov R.T., Chumakova E.V., Klimova O.L. Metod okhlazhdeniya okolosvaynykh mnogoletnemerzlykh gruntov v zone ekstremal'nogo severnogo klimata [Cooling of near-pile permafrost soils in the Arctic region]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 4. Pp. 138–146. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-138-146

Проблемы, связанные с растеплением многолетнемерзлых грунтов в Арктической зоне, значительны и многообразны [1–3]. В суровом северном климате при естественных условиях верхний слой вечномёрзлых земель подвергается регулярным температурным изменениям. Вследствие этого поверхностный слой испытывает летом влагонасыщение, а зимой – пучение грунта, что приводит к деформированию опорных конструкций зданий и сооружений (рис. 1).



Рис. 1. Разрушение административного здания (слева) и жилого здания (справа) в г. Норильске

По данным современных изысканий, температуры грунта на глубине 10–15 м могут составлять +4...+6 °С и отличаются от установленных

в 1970–80-х гг. на 6–10 °С. Расчет оценки растепления вечномерзлых грунтов представлен в работе [4]. Согласно предварительным расчетам во второй половине XXI в. мерзлотный слой полностью деградирует [1–3].

Поэтому улучшение или упрочнение грунта в зоне вечной мерзлоты под фундаментом зданий или линейных инженерных сооружений является одной из наиболее актуальных и одновременно труднорешаемых задач в условиях Крайнего Севера. В настоящее время большое внимание уделяется поиску новых перспективных решений по стабилизации грунтового основания [5–7]. Данные задачи привели к проектным решениям и созданию многих систем и устройств [8–11].

В соответствии с обозначенными проблемами целью исследования является разработка и моделирование экспериментальной установки для изучения эффективности применения системы автоматического управления (САУ) процессом охлаждения и замораживания грунта, используемой при эксплуатации фундаментных свай зданий и сооружений с металлическими обсадными трубами, возведенных в районах вечномерзлых грунтов, которая будет предотвращать растепление поверхностного слоя грунта в широтах Арктического региона. Поставленная цель решалась методом комплексного подхода, включающего в себя анализ и обобщение данных научно-технической литературы по проблеме исследования.

Для исследования САУ процессом охлаждения обсадной трубы фундаментной сваи и околосвайного вечномерзлого грунта использовалась печатная плата Arduino Uno. Arduino – аппаратная вычислительная платформа, основными компонентами которой являются плата ввода-вывода и среда разработки на языке Processing/Wiring. На платформе Arduino Uno (рис. 2) имеется 14 цифровых вход/выходов, 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопка перезагрузки.



Рис. 2. Платформа Arduino Uno

Для работы необходимо подключить платформу к ПК при помощи кабеля USB либо подключить питание посредством адаптера AC/DC или батареи. Описание печатной платы Arduino Uno представлено в табл. 1.

Таблица 1

Описание печатной платы Arduino Uno

| Параметры | Значения |
|------------------------------------|--|
| Рабочее напряжение | 5 В |
| Входное напряжение (рекомендуемое) | 7–12 В |
| Входное напряжение (предельное) | 6–20 В |
| Микроконтроллер | ATmega 328 |
| Аналоговые входы | 6 |
| Постоянный ток для вывода 3,3 В | 50 мА |
| ОЗУ | 2Кб (ATmega328) |
| EEPROM | 1 Кб (ATmega328) |
| Цифровые входы/выходы | 14 (шесть из которых могут использоваться как выходы ШИМ) |
| Флэш-память | 32 Кб (ATmega328), из которых 0,5 Кб используется для загрузчика |
| Тактовая частота | 16 МГц |

На основе применяемого оборудования разработана принципиальная схема экспериментальной установки для фиксирования изменения температур воздуха окружающей среды и вечномерзлого грунта (рис. 3).

Для изучения эффективности применения САУ процессом охлаждения обсадной трубы фундаментной сваи и околовсвайного вечномерзлого грунта создана экспериментальная установка, представляющая собой плату микроконтроллера Arduino Uno 1, макетную плату 2, модуль Пельтье (термоэлектрический модуль 3), датчик температуры окружающей среды 4, зеленый светодиод 5з, красный светодиод 5к (рис. 4).

Построение модели и моделирование САУ процессом охлаждения обсадной трубы фундаментной сваи и околовсвайного вечномерзлого грунта реализовано в общетехническом шаблоне среды SimInTech (рис. 5).

Технической проблемой, решаемой изобретением [12], является повышение эффективности процесса охлаждения грунтов «путем обеспечения непосредственного охлаждения околовсвайного пространства фундамента с использованием САУ» [12, с. 1].

Согласно изобретению [12], термоэлектрические модули установлены на каждой обсадной трубе сваи фундамента.

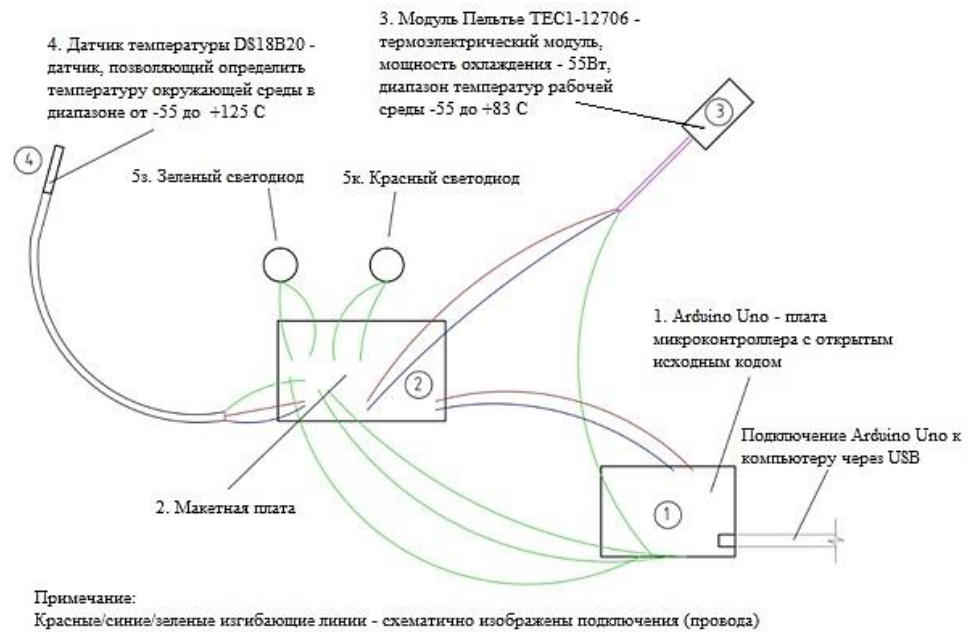


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки

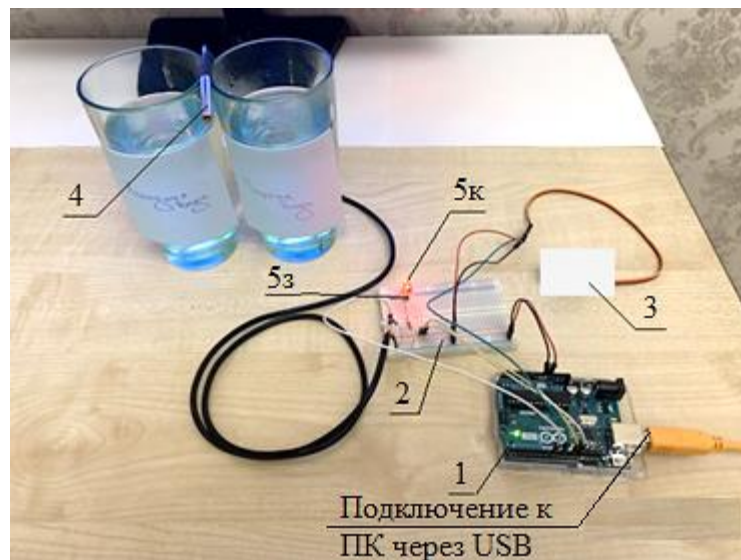


Рис. 4. Экспериментальная установка

На фиг. 1 схематично показан фрагмент устройства для стабилизации мерзлого грунта свайного фундамента с обсадными трубами; на фиг. 2 – то же, сечение А-А на фиг. 1; на фиг. 3 – то же, сечение Б-Б на фиг. 1; на фиг. 4 приведена структурная схема системы автоматического управления процессом охлаждения околосвайного пространства фундамента (рис. 6) [12, с. 2].

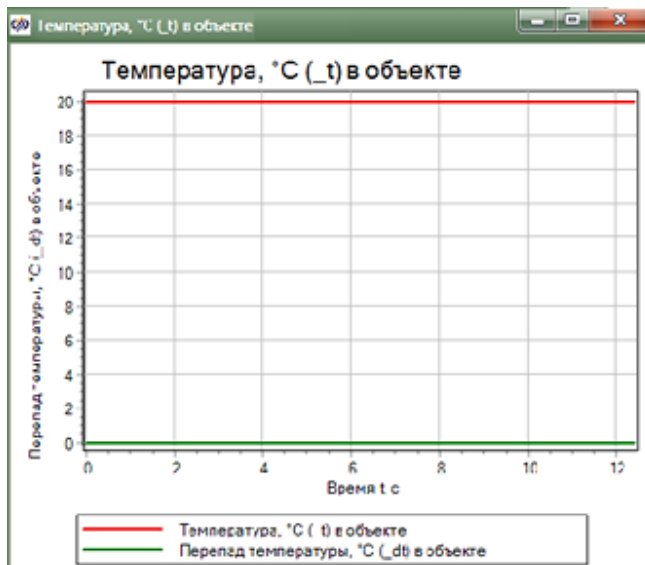
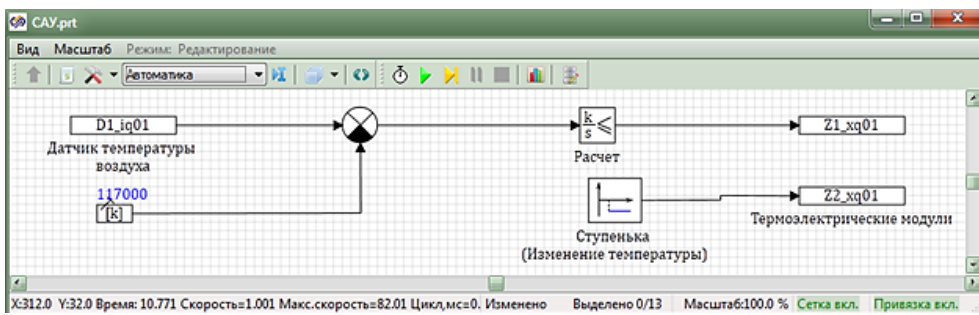


Рис. 5. Модель ориентации термоэлектрических модулей к температурным изменениям окружающей среды

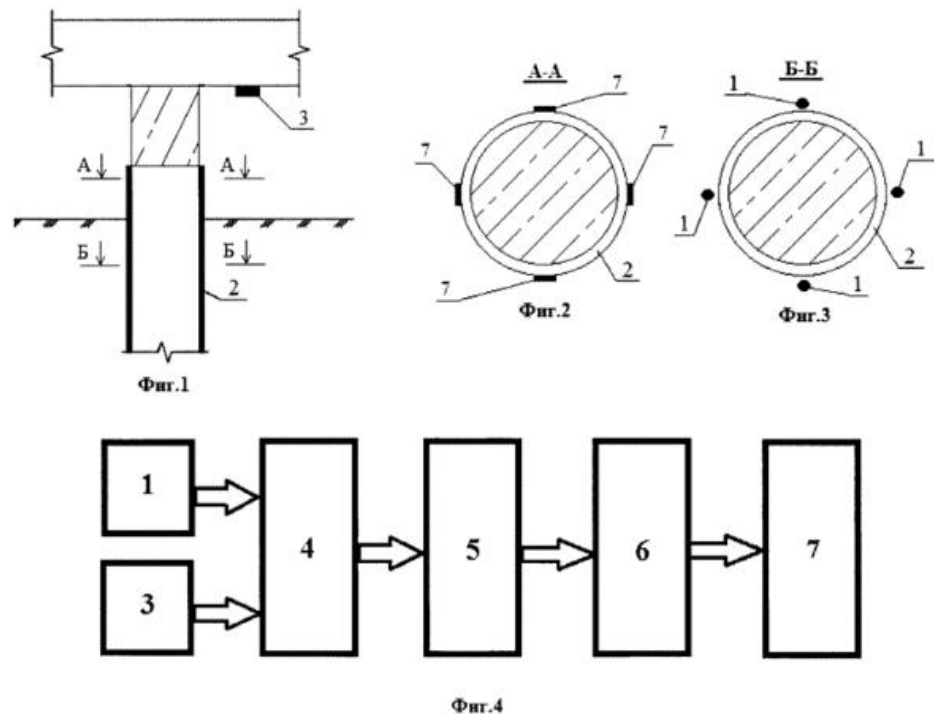


Рис. 6. Устройство для стабилизации мерзлого грунта свайного фундамента с обсадными трубами:

1 – датчики температуры; 2 – металлическая обсадная труба; 3 – датчик температуры воздуха окружающей среды; 4 – устройство ввода; 5 – блок перепрограммируемого постоянно запоминающего устройства (ППЗУ); 6 – устройство вывода; 7 – термоэлектрические модули

По итогам проведения экспериментальных исследований и моделирования САУ процессом охлаждения обсадной трубы фундаментной сваи и околосвайного вечномерзлого грунта можно сделать следующие выводы.

Выводы

1. Разработана принципиальная схема экспериментальной установки для фиксирования изменения температур воздуха окружающей среды и вечномерзлого грунта.

2. Для изучения эффективности применения системы автоматического управления (САУ) процессом охлаждения обсадной трубы фундаментной сваи и околосвайного вечномерзлого грунта создана экспериментальная установка и выполнено моделирование САУ в программном комплексе SimInTech. Система автоматического управления обеспечивает программное управление термоэлектрическими модулями в автоматическом режиме с целью наилучшей их ориентации на температуру воздуха окружающей среды в зависимости от температуры массива грунта в околосвайном пространстве фундамента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ложкин А.О., Ходаков П.А. Исследование стабильности геодезических центров в районе вечной мерзлоты // Геодезия и картография. 2012. № 3. С. 21–26.
2. Jafarov E.E., Marchenko S.S., Romanovsky V.E. Numerical modeling of permafrost dynamics in Alaska using a high spatial resolution dataset // The Cryosphere. 2012. V. 6. № 3. P. 613–624.
3. Амельчугов С.П., Инжутов И.С., Климов А.С. и др. Проблемы безопасности зданий арктического региона Восточной Сибири // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций : сб. статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, 26 апреля 2019 г. Железногорск, 2019. С. 166–172.
4. Nicolsky D.J., Romanovsky V.E., Panteleev G.G. Estimation of soil thermal properties using in-situ temperature measurements in the active layer and permafrost // Cold Regions Science and Technology. 2009. V. 55. № 1. P. 120–129.
5. Филимонов М.Ю., Ваганова Н.А. Моделирование термостабилизации грунта при эксплуатации инженерных объектов в условиях арктических и субарктических регионов // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2017. Т. 1. № 2. С. 391–401.
6. Абу-Хасан М.С., Егоров В.В., Куправа Л.П., Чарник Д.Г. Термостабилизация вечноммерзлых грунтов при возведении сооружений в северных климатических зонах // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 4 (1016). С. 40–42.
7. Суриков В.И., Коротков А.А., Мельникова Е.А. Исследования условий эксплуатации устройств термостабилизации грунтов с учетом воздействия технических объектов на многолетнемерзлые грунты // Нефтяное хозяйство. 2017. № 8. С. 116–119.
8. Inzhutov I.S., Zhadanov V.I., Semenov M.Yu., Klimov A.S., Amelchugov S.P. A comparative analysis of foundation design solutions on permafrost soils // E3S Web of Conferences. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018. 2019. 110. P01019. DOI 10.1051/e3sconf/201911001019
9. Окороков Н.С., Коркишко А.Н., Коржикова А.П. Экспериментальное исследование принудительно вентилируемой сваи // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 5. С. 665–677.
10. Патент № 2620664 Российская Федерация. Способ термостабилизации многолетнемерзлых грунтов и устройство для его реализации : № 2015156875 : заявл. 30.12.2015 : опубл. 29.05.2017 / Ревель-Муроз П.А., Лисин Ю.В., Сощенко А.Е., Суриков В.И., Татаруров С.Б. ; патентообл. ПАО «Транснефть», ООО «Транснефть-Восток», ООО «НИИ Транснефть». Бюл. № 16.
11. Патент № 150908 Российская Федерация. Устройство для термостабилизации грунтов : № 2014137685 : заявл. 17.09.2014 : опубл. 10.03.2015 / Горелик Я.Б., Мельников В.П., Фахретдинов И.З., Штоль В.Ф., Горелик Р.Я. ; патентообл. ООО ИП «Снежинка». Бюл. № 7.
12. Патент № 2681161 Российская Федерация. Устройство для стабилизации мерзлого грунта свайного фундамента с обсадными трубами : № 2018120836 : заявл. 05.06.2018 : опубл. 04.03.2019 / Климов А.С., Амельчугов С.П., Инжутов И.С. ; патентообл. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Бюл. № 7.

REFERENCES

1. Lozhkin A.O., Khodakov P.A. Issledovanie stabil'nosti geodezicheskikh tsentrov v raione vechnoi merzloty [Stability of geodetic centers in the permafrost region]. *Geodeziya i kartografiya*. 2012. No. 3. Pp. 21–26. (rus)
2. Jafarov E.E., Marchenko S.S., Romanovsky V.E. Numerical modeling of permafrost dynamics in Alaska using a high spatial resolution dataset. *The Cryosphere*. 2012. V. 6. No. 3. Pp. 613–624.
3. Amel'chugov S.P., Inzhutov I.S., Klimov A.S. et al. Problemy bezopasnosti zdanii arkticheskogo regiona Vostochnoi Sibiri [Problems of building safety in the Arctic region of Eastern Siberia]. Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoi bezopasnosti i zashchity ot chrezvychainykh situatsii: sb. statei po materialam Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. All-Russian Sci. Conf. 'Relevant Problems of Fire Safety and Protection from Emergency Situations'), Zheleznogorsk, 2019. Pp. 166–172. (rus)

4. *Nicolosky D.J., Romanovsky V.E., Panteleev G.G.* Estimation of soil thermal properties using in-situ temperature measurements in the active layer and permafrost. *Cold Regions Science and Technology*. 2009. V. 55. No. 1. Pp. 120–129.
5. *Filimonov M.Yu., Vaganova N.A.* Modelirovanie termostabilizatsii grunta pri ekspluatatsii inzhenernykh ob"ektov v usloviyakh arkticheskikh i subarkticheskikh regionov [Modeling of soil thermal stabilization during the operation of engineering objects in the Arctic and subarctic regions]. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Sistemnyi analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem*. 2017. V. 1. No. 2. Pp. 391–401. (rus)
6. *Abu-Khasan M.S., Egorov V.V., Kuprava L.R., Charnik D.G.* Termostabilizatsiya vechnomerzlykh gruntov pri vozvedenii sooruzhenii v severnykh klimaticheskikh zonakh [Thermal stabilization of permafrost soils in building construction in northern climatic conditions]. *Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2019. No. 4 (1016). Pp. 40–42. (rus)
7. *Surikov V.I., Korotkov A.A., Mel'nikova E.A.* Issledovaniya uslovii ekspluatatsii ustroystv termostabilizatsii gruntov s uchetoм vozdeystviya tekhnicheskikh ob"ektov na mnogoletnemerzlye grunty [Operating conditions of soil thermal stabilization devices with impact of technical objects on permafrost soils]. *Neftyanoe khozyaistvo*. 2017. No. 8. Pp. 116–119. (rus)
8. *Inzhutov I.S., Zhadanov V.I., Semenov M.Yu., Klimov A.S., Amelchugov S.P.* A comparative analysis of foundation design solutions on permafrost soils. *E3S Web of Conferences. International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development*. 2019. V. 110. P01019. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001019
9. *Okorokov N.S., Korkishko A.N., Korzhikova A.P.* Eksperimental'noe issledovanie prinuditel'no ventiliruemoi svai [Experimental study of forcibly ventilated pile]. *Vestnik MGSU*. 2020. V. 15. No. 5. Pp. 665–677. (rus)
10. *Revel'-Muroz P.A., Lisin Yu.V., Soshchenko A.E., Surikov V.I., Tataurov S.B.* Sposob termostabilizatsii mnogoletnemerzlykh gruntov i ustroystvo dlya ego realizatsii [Method and device of permafrost soil thermal stabilization]. Patent Russ. Fed. N 2620664, 2017. (rus)
11. *Gorelik Ya.B., Mel'nikov V.P., Fakhretdinov I.Z., Shtol' V.F., Gorelik R.Ya.* Ustroystvo dlya termostabilizatsii gruntov [Device for soil thermal stabilization]. Patent Russ. Fed. N 2014137685, 2015. (rus)
12. *Klimov A.S., Amel'chugov S.P., Inzhutov I.S.* Ustroystvo dlya stabilizatsii merzlogo grunta svainogo fundamenta s obsadnymi trubami [Device for frozen soil stabilization of pile foundation with casing pipes]. Patent Russ. Fed. N 2681161, 2019. (rus)

Сведения об авторах

Климов Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, AKlimov@sfu-kras.ru

Емельянов Рюрик Тимофеевич, докт. техн. наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, ert-44@yandex.ru

Чумакова Екатерина Витальевна, студентка, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, katyasprouse@yandex.ru

Климова Оксана Леонидовна, студентка, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, oksana_88_@mail.ru

Authors Details

Alexey S. Klimov, PhD, A/Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, AKlimov@sfu-kras.ru

Rurik T. Emelyanov, DSc, Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, ert-44@yandex.ru

Ekaterina V. Chumakova, Student, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, katyasprouse@yandex.ru

Oksana L. Klimova, Student, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, oksana_88_@mail.ru