

ИЗВЕСТИЯ

№ 3(43)

2020

Транссиба

Юбилейный выпуск, посвященный 120-летию
Омского государственного университета путей сообщения



120 лет

ОмГУПС



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

1. **Овчаренко Сергей Михайлович** – главный редактор, ректор ОмГУПС, д.т.н., доцент.
2. **Галев Ильхам Исламович** – зам. главного редактора, президент ОмГУПС, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ.
3. **Шантаренко Сергей Георгиевич** – зам. главного редактора, проректор по научной работе ОмГУПС, д.т.н., доцент.
4. **Черемисин Василий Титович** – зам. главного редактора, директор НИИЭ ОмГУПС, д.т.н., профессор.
5. **Ведрученко Виктор Родионович** – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС, д.т.н., профессор.
6. **Глинка Тадеуш** – доктор, профессор Силезского политехнического университета (Гливице, Польша).
7. **Горюнов Владимир Николаевич** – зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» ОмГУ, д.т.н., профессор (Омск).
8. **Зыкина Анна Владимировна** – зав. кафедрой «Прикладная математика и фундаментальная информатика» ОмГУ, д.ф.-м.н., профессор (Омск).
9. **Исаков Александр Леонидович** – зав. кафедрой «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» СГУПС, д.т.н., профессор (Новосибирск).
10. **Каргапольцев Сергей Константинович** – ректор ИрГУПС, д.т.н., профессор (Иркутск).
11. **Косарев Александр Борисович** – первый зам. генерального директора АО «ВНИИЖТ», д.т.н., профессор (Москва).
12. **Лю Цзянькунь** – доктор, профессор, зам. декана Школы гражданского строительства Университета Сунь Ятсена (Чжухай, Китай).
13. **Лебедев Виталий Матвеевич** – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС, д.т.н., профессор.
14. **Парамонов Александр Михайлович** – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУ, д.т.н., доцент (Омск).
15. **Сидоров Олег Алексеевич** – зав. кафедрой «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС, д.т.н., профессор.
16. **Солоненко Владимир Гельевич** – профессор кафедры «Подвижной состав» КазАТК, д.т.н., профессор (Алматы, Республика Казахстан).
17. **Файзибаев Шерзод Сабирович** – зав. кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» ТГТУ, д.т.н., профессор (Ташкент, Республика Узбекистан).
18. **Харламов Виктор Васильевич** – зав. кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПС, д.т.н., профессор.

EDITORIAL BOARD

1. **Ovcharenko Sergey Mikhailovich** – chief editor, the rector of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
2. **Galiev Ikham Islamovich** – deputy chief editor, the president of OSTU, D. Sc., professor, the honored worker of science and engineering of the Russian Federation (Omsk, Russia).
3. **Shantarenko Sergey Georgievich** – deputy chief editor, vice-rector for research of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
4. **Cheremisin Vasily Titovich** – deputy chief editor, director of SRIE OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
5. **Vedruchenko Victor Rodionovich** – professor of the department «Heat-power» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
6. **Glinka Tadeusz** – Ph. D., professor of Silesian University of Technology (Gliwice, Poland).
7. **Goryunov Vladimir Nikolaevich** – head of the department «Power supply of industrial enterprises» of OmSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
8. **Zykina Anna Vladimirovna** – head of the department «Applied mathematics and fundamental computer science» of OmSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
9. **Isakov Alexander Leonidovich** – head of the department «Railway and Highway Surveying and Design Engineering» of STU, D. Sc., professor (Novosibirsk, Russia).
10. **Kargapolteev Sergey Konstantinovich** – rector of ISTU, D. Sc., professor (Irkutsk, Russia).
11. **Kosarev Alexander Borisovich** – senior deputy of general director of JSC «VNIIZhT» (Railway Research Institute), D. Sc., professor (Moscow, Russia).
12. **Liu Jiankun** – Ph. D., professor of Sun Yat-sen University, the associate dean of the School of Civil Engineering (Zhuhai, China).
13. **Lebedev Vitaliy Matveyevich** – professor of the department «Heat-power» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
14. **Paramonov Alexander Mikhailovich** – professor of the department «Heat-power» of OmSTU, D. Sc., associate professor (Omsk).
15. **Sidorov Oleg Alexeevich** – head of the department «Power supply of rail transport» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
16. **Solonenko Vladimir Gelyevich** – professor of the department «Rolling stock» of KazATC, D. Sc., professor (Almaty, Kazakhstan).
17. **Fayziybaev Sherzod Sabirovich** – head of the department «Wagons and wagon facilities» of TSTU, D. Sc., professor (Tashkent, Uzbekistan).
18. **Kharlamov Viktor Vasilyevich** – head of the department «Electrical machines and common electrotechnic» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).

Иванченко Владимир Иванович – ответственный секретарь, к.т.н. (Омск).

СОДЕРЖАНИЕ

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

- Кабалык Ю. С. Повышение коэффициента мощности электровозов посредством модернизации плечей выпрямительно-инверторных преобразователей.....2
- Кривошея Ю. В. Влияние деформаций микрогеометрии поверхности на величину контактного термического сопротивления дискового тормоза.....11
- Лакин И. И. Многофакторный анализ статистической информации с использованием методов теории нечетких множеств.....20
- Скоков Р. Б., Никифоров М. М., Кондратьев Ю. В. Нормативные основы стандарта по выбору схем и основных параметров сглаживающих устройств железнодорожных тяговых подстанций постоянного тока.....27
- Вильгельм А. С. Применение интеллектуальных систем и технологий для мониторинга и планирования энергоэффективности тяги поездов.....39
- Андривский А. Г., Москвичев В. В., Чабан Е. А. Расчетно-экспериментальное определение динамических характеристик кожуха тяговой зубчатой передачи электровоза...47
- Семенов А. П. Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования.....58
- Перестенко А. Е. Контроль эксплуатационных показателей электроподвижного состава и устройств электроснабжения с применением технологии обработки больших данных.....66

Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

- Коссов В. С., Лунин А. А., Чуинин С. В. Расчетное исследование собственных частот и форм колебаний рельса.....76

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

- Мамаев Э. А., Сорокин Д. В. К оценке потенциала развития международного транспортного коридора «Север - Юг».....86
- Годованый К. А., Колесников М. В. Технологический аутсорсинг как инструмент развития рынка операторских компаний.....97
- Король Р. Г., Нечипорук М. В. Логистические решения по регулированию порожнего вагонопотока на Восточном полигоне железных дорог.....107
- Шеховцов А. И. Алгоритм нахождения вагонов на путях необщего пользования как основа для повышения качества функционирования системы «железная дорога - клиент».....119

Совершенствование промышленных теплосистем, теплотехнического и теплового оборудования

- Кадцын И. И., Стариков А. П., Ведрученко В. Р. Исследование теплофизических характеристик грунтов города Омска для проектирования геотермальных зондов.....128

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

- Брылова Т. Б., Кутышкин А. В. Использование имитационного моделирования при реинжиниринге технологических процессов ремонта подвижного состава.....139
- Харлап С. Н. Применение диверситета в автоматизированных системах управления опасными технологическими процессами для повышения устойчивости к систематическим отказам.....148

Научно-технический журнал «Известия Транссиба»

Учредитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Омский государственный университет путей сообщения

(ОмГУПС (ОмИИТ))

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шеховцов Алексей Игоревич

Донецкий институт железнодорожного транспорта (ДонИЖТ).

Артема ул., д. 184, г. Донецк, 283122, Донецкая Народная Республика.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте», ДонИЖТ.

Тел.: +380713314951.

E-mail: oleksa.i@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Shekhovtsov Aleksey Igorevich

Donetsk Railway Transport Institute (DRTI).

184 Artem st., Donetsk, 283122, Donetsk People's Republic.

Ph. D. in Engineering, Associate Professor of the department «Organization of Transportation and Control in Railway Transport», DRTI.

Phone: +380713314951.

E-mail: oleksa.i@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Шеховцов, А. И. Алгоритм нахождения вагонов на путях необщего пользования как основа для повышения качества функционирования системы «железная дорога – клиенты» / А. И. Шеховцов. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2020. – № 3 (43). – С. 119 – 128.

BIBLIOGRAPHIC DESCRIPTION

Shekhovtsov A. I. Algorithm of cars' presence on non-public tracks as a basis for improving the quality of operation of the «railway – clients» system. Journal of Transsib Railway Studies, 2020, no. 3 (43), pp. 119 – 128 (In Russian).

УДК 697.329

И. И. Кадцын, А. П. Стариков, В. Р. Ведрученко

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ГОРОДА ОМСКА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЗОНДОВ

Аннотация. В статье представлены результаты исследуемых грунтов по физическим и теплофизическим характеристикам на территории города Омска. Отсутствие таких данных может приводить к ошибочным расчетам при проектировании грунтовых зондов, использующих низкопотенциальную энергию земли. Предложена методика определения минимального расстояния между скважинами, позволяющая исключить вымораживание грунта и повысить эффективность работы теплотрансформаторов.

Ключевые слова: грунтовый массив, низкопотенциальная энергия, теплоемкость, теплопроводность, теплоноситель, теплообменник, зонд, скважины, тепловой поток, теплотрансформатор.

Ivan I. Kadtcyn, Alexander P. Starikov, Victor R. Vedruchenko

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

STUDY OF THE THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL OF THE CITY OF OMSK FOR THE DESIGN OF GEOTHERMAL PROBES

Abstract. The article presents the results of the studied soils on physical and thermophysical characteristics in the territory of the city of Omsk. The lack of such data can lead to erroneous calculations in the design of ground probes using low-potential energy of the earth. A method for determining the minimum distance between wells is proposed, which allows to eliminate soil freezing and increase the efficiency of heat transformers.

Keywords: soil mass, low-potential energy, heat capacity, thermal conductivity, heat carrier, heat exchanger, probe, wells, heat flow, heat transformer.

Приоритетными направлениями развития энергетики в России являются энергосбережение и эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Потребность в эффективности работы теплового оборудования вызвана необходимостью снижения эксплуатационных затрат на отопление зданий и сооружений, истощением природных ресурсов, обострением экологических проблем на крупных промышленно-урбанизированных территориях.

Совершенствование промышленных теплосистем, теплотехнического и теплового оборудования

В железнодорожной инфраструктуре существуют автономные объекты (охранные, дежурные, стрелочные посты, пункты обогрева стационарного или модульного типа, прочие обособленные здания и сооружения), которые по причине удаления от инженерных коммуникаций подключены только к электросети. Такие объекты имеют высокие эксплуатационные затраты на отопление и горячее водоснабжение.

Использование современных технологий и материалов позволяет снизить эксплуатационные расходы, повысить энергетическую эффективность объектов капитального строительства [1, 2]. Использование существующей низкопотенциальной тепловой энергии грунтового массива, воздуха, воды, хозяйственно-бытовых стоков или промышленных сбросов является одним из наиболее актуальных, но малоиспользуемых в России источников тепловой энергии. Преобразование низкопотенциального тепла позволяет без изменения (реконструкции) существующей инженерной инфраструктуры отапливать здания и сооружения, не используя дополнительные топливно-энергетические ресурсы.

В связи с отсутствием информации по теплофизическим показателям массива грунтов глубиной от 10 – 60 м в Омской области изыскательские организации выполняют монтаж грунтовых зондов с шагом 4 – 6 м, используя опыт фирм, работающих на территории европейской части Российской Федерации. Отсутствие достоверных физических, теплофизических характеристик грунтов приводит к ошибочным расчетам при проектировании грунтовых зондов, что является причиной неэффективной работы теплотрансформаторов. Кроме того, в Омском регионе отсутствуют исследовательские работы по низкопотенциальной энергии грунта, которые можно использовать при проектировании.

Тепловой поток территории Западной Сибири изменяется в широких пределах – от 0,03 – 0,09 Вт/м², в среднем составляя 0,053 – 0,054 Вт/м² [3]. В соответствии с Геотермическим атласом Сибири и Дальнего Востока [4] в Омской области преобладают тепловые потоки 0,04 – 0,050 Вт/м², локально – 0,06 – 0,07 Вт/м². В связи с малоизученностью (указанные выше исследования представлены на глубине от 0,5 км от поверхности земли), существенным перепадом термальной энергии грунтов сохраняется актуальность предпроектных инженерно-геологических изысканий. Данные исследовательских работ позволят достоверно выполнять монтаж грунтовых зондов, исключая вымораживание грунтов между скважинами.

Для определения физических и теплофизических характеристик грунтов в г. Омске, Омском районе и области выполнено бурение контрольных скважин с отбором монолитов для лабораторных исследований. Монолит – образец грунта определенного объема, основная часть которого имеет ненарушенную структуру и природную влажность грунта. Примеры отбора монолитов представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Отбор монолитов грунта

Необходимость большого количества скважин вызвана наличием схожести отобранных грунтов по физическим характеристикам. На каждый тип инженерно-геологического элемента (моноклит грунта) было отобрано по 12 образцов с разных районов города Омска и районов Омской области. Пример разреза скважины № 276-18 с описанием отбора исследуемых грунтов представлен на рисунке 2.

В соответствии с ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик определены следующие параметры [5]:

1. Влажность грунта W , %, по формуле:

$$W = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (1)$$

где m_1 – масса влажного грунта с бюксом, г;

m_0 – масса высушенного грунта с бюксом, г;

m – масса пустого бюкса, г.

2. Влажность грунта на границе текучести (W_L , %) определена методом балансирующего конуса как влажность, приготовленная из исследуемого грунта пасты, при которой балансирующий конус погружается под действием собственной массы за 5 с на глубину 10 мм:

$$W_L = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}. \quad (2)$$

3. Влажность грунта на границе раскатывания (пластичности) (W_p , %) определена как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой паста раскатывается в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на кусочки длиной 3 – 10 мм:

$$W_p = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}. \quad (3)$$

4. Плотность грунта ρ , г/см³, находим по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 - m_0 - m_2}{V}, \quad (4)$$

где m_1 – масса грунта с кольцом и пластинками, г;

m_0 – масса кольца, г;

m_2 – масса пластинок, г;

V – внутренний объем кольца, см³.

5. Плотность скелета (сухого) грунта ρ_d , г/см³, вычисляем по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01w}. \quad (5)$$

6. Объем пикнометра $V_{п}$, см³, получим по формуле:

$$V_{п} = \frac{m'_2 - m_{п}}{\rho_w}, \quad (6)$$

где m'_2 – масса пикнометра с дистиллированной водой (или нейтральной жидкостью) при температуре тарировки, г;

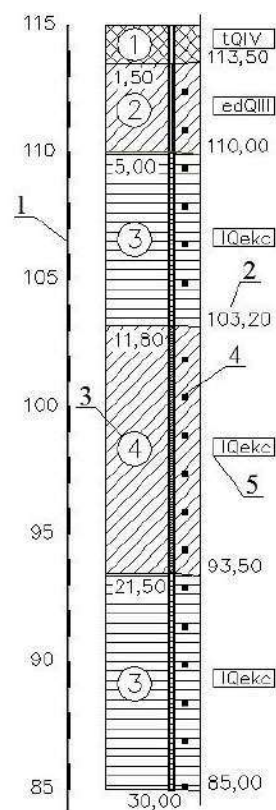


Рисунок 2 – Разрез исследуемой скважины № 276-18:

- 1 – горизонтальный масштаб разреза, м;
- 2 – абсолютная отметка пересечения инженерно-геологического элемента (ИГЭ);
- 3 – номер ИГЭ;
- 4 – точка отбора монолита ИГЭ;
- 5 – индекс ИГЭ

$m_{\text{п}}$ – масса пустого пикнометра, г;

ρ_w – плотность воды (или нейтральной жидкости) при той же температуре, г/см³.

7. Массу пикнометра с дистиллированной водой или нейтральной жидкостью m_2 , г, при температуре испытаний находим по формуле:

$$m_2 = m_{\text{п}} + \rho_w V_{\text{п}}, \quad (7)$$

где ρ_w – плотность воды (или нейтральной жидкости) при той же температуре испытаний.

8. Плотность частиц грунта ρ_s , г/см³, определяем по выражению:

$$\rho_s = \rho_w m_0 / (m_0 + m_2 - m_1), \quad (8)$$

где m_0 – масса сухого грунта, г;

m_1 – масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре испытания, г;

m_2 – масса пикнометра с водой при той же температуре, г;

ρ_w – плотность воды при той же температуре, г/см³.

Примечание: массу сухого грунта m_0 определили как разность результатов двух взвешиваний, выполненных по п. 13.3.1. ГОСТ 5180-2015.

9. Определение грунта в воздушно-сухом состоянии m_0 вычислили по формуле:

$$m_0 = m / (1 + 1,01w_g), \quad (9)$$

где m – масса пробы воздушно-сухого грунта, г;

w_g – гигроскопическая влажность грунта, %.

Теплоемкость грунта характеризует его способность аккумулировать тепло. Различают удельную и объемную теплоемкость [11].

Объемная теплоемкость (C , ккал/м³·град) численно равна количеству тепла, необходимого для изменения температуры единицы объема грунта на 1°.

Объемная теплоемкость грунта определяется так:

$$C = c\gamma_{об}, \quad (10)$$

где $\gamma_{об}$ – объемный вес грунта, кг/м³;

c – удельная теплоемкость, ккал/кг·град.

Для определения коэффициента теплопроводности грунта (отобранных монолитов) использован метод теплового импульса в условиях грунтовой лаборатории. Способ исследования был основан на нагреве образцов плоским электрическим нагревателем в течение заданного промежутка времени.

В опыте измеряли скорость изменения температуры образцов на поверхности контакта с плоским нагревателем и на фиксированном расстоянии от него. Метод применяют для комплексного определения теплофизических характеристик грунтов при положительных температурах от 0 – 40°С на двух одинаковых образцах. Устройство прибора представлено на рисунке 3.

При испытании коэффициент теплопроводности исследованного образца грунта был определен по формуле:

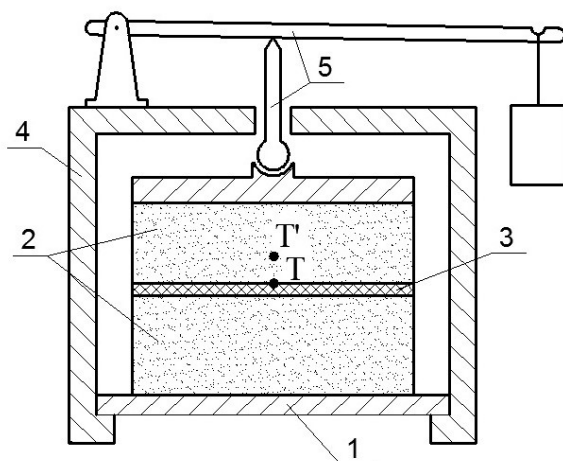


Рисунок 3 – Схема прибора для определения коэффициента теплопроводности грунтов по методу теплового импульса:

1 – подставка; 2 – образец монолита грунта; 3 – плоский электрический нагреватель; 4 – теплоизоляционный кожух; 5 – прижимное устройство; T , T' – термопары

$$\lambda_{\tau} = \frac{Q_3 \sqrt{a} (\sqrt{t} - \sqrt{t - t_0})}{\sqrt{\pi} F (T - T_0)}, \quad (11)$$

где $Q_3 = 0,86U^2/R_3$ – тепловая мощность нагревателя (определяется по заводским характеристикам прибора), ккал/ч;

F – площадь нагревателя в контакте с одним образцом, м²;

$a = \frac{l^2}{4t \cdot \gamma}$ – коэффициент температуропроводности грунта, м²/ч;

l – расстояние от нагревателя до термопары T''_3 , м;

T – температура образца в момент времени t (ч), измеренная по термометру T_3 , °С;

t_0 – продолжительность действия нагревателя, ч;

t' – продолжительность времени к моменту измерения температуры по термометру T_3 , ч;

γ – значение, определяемое по функции $B(\gamma)$ (см. таблицу 19 в документе [10]).

Величина функции $B(\gamma)$ определяется по формуле:

$$B(\gamma) = \frac{(T'' - T_0)(\sqrt{t} - \sqrt{t - t_0})}{(T - T_0)\sqrt{t'}} \quad (12)$$

где T_0 – начальная температура образца, °С;

T'' – температура образца в момент времени t , измеренная по термопаре T''_3 , °С.

Контрольное определение коэффициента теплопроводности образца грунта осуществляется по формуле:

$$\lambda'_T = \frac{Q_3 \sqrt{a} [\sqrt{t_{\max}} B(\gamma_1) - \sqrt{t_{\max} - t_0} B(\gamma_2)]}{\sqrt{\pi} F (T_{\max} - T_0)} \quad (13)$$

где T_{\max} – значение максимума температуры в месте расположения термопары T''_3 , °С

t_{\max} – время наступления максимума температуры по термопаре T''_3 , отсчитанное от начала включения нагревателя, ч;

$B(\gamma_1)$, $B(\gamma_2)$ – значения функции $B(\gamma)$, определены по формулам:

$$\gamma_1 = \frac{t_{\max} - t_0}{t_0} \ln \sqrt{\frac{t_{\max}}{t_{\max} - t_0}} \quad (14)$$

$$\gamma_2 = \frac{t_{\max}}{t_0} \ln \sqrt{\frac{t_{\max}}{t_{\max} - t_0}} \quad (15)$$

Величину коэффициента теплопроводности исследованных образцов грунта приняли по среднему арифметическому значению основного и контрольного определений, вычисленных с точностью до 0,01 ккал/м·ч·град. В случае выявления разницы значений коэффициента теплопроводности в основном и контрольном определениях, превышающих 5 %, опыт выполнялся повторно.

Дополнительно теплофизические параметры отобранных монолитов определялись при помощи прибора KD2 Pro (свидетельство о поверке № H2413/2057-2020), принцип работы которого основан на измерении скорости изменения температуры цилиндрического зонда, погруженного в испытываемый материал. Общий вид прибора при выполнении лабораторных исследований монолита грунта представлен на рисунке 4.

Средние результаты лабораторных исследований по физическим и теплофизическим характеристикам исследованных образцов грунтового массива представлены в таблице 1.



Рисунок 4 – Общий вид прибора KD2 Pro

Совершенствование промышленных теплосистем, теплотехнического и теплового оборудования

Таблица 1 – Ведомость средних результатов лабораторных исследований по физическим и теплофизическим характеристикам исследованных образцов грунтового массива

№ п/п	Разновидность грунта по ГОСТ 25100-2011	Естественная влажность грунта, д. ед.	Пористость грунта, %	Коэффициент пористости	Коэффициент водонасыщения	Плотность частиц грунта, г/см ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Объемная теплоемкость, МДж/(м ³ ·К)
1	Супесь твердая	0,15	30,5	0,43	0,92	2,69	1,815	3,291
2	Супесь пластичная	0,20	34,8	0,52	1	2,69	1,993	3,522
3	Супесь текучая	0,18	35,9	0,55	0,87	2,69	1,936	3,461
4	Глина твердая	0,12	34,7	0,53	0,62	2,75	1,330	3,667
5	Глина полутвердая	0,22	40,4	0,66	0,90	2,75	1,392	3,604
6	Глина тугопластичная	0,25	43,3	0,74	0,93	2,75	1,412	3,662
7	Глина мягкопластичная	0,34	47,2	0,88	1	2,75	1,714	3,928
8	Глина текучепластичная	0,29	43,1	0,76	1	2,75	1,548	3,773
9	Суглинок твердый	0,13	33,3	0,49	0,71	2,72	1,314	3,856
10	Суглинок полутвердый	0,13	34,3	0,52	0,68	2,72	1,352	3,525
11	Суглинок тугопластичный	0,20	38,7	0,63	0,86	2,72	1,262	2,945
12	Суглинок мягкопластичный	0,23	43,5	0,77	0,81	2,72	1,423	3,472
13	Суглинок текучепластичный	0,25	41,2	0,70	0,97	2,72	1,323	3,190
14	Песок пылеватый плотный влажный	0,14	33,3	0,49	0,75	2,67	1,734	3,140
15	Песок мелкий	0,16	34,9	0,54	0,79	0,67	1,806	3,292

Методика определения расстояния между геотермальными скважинами. Разбивка скважин должна выполняться без пересечения температурных полей, образуемых при эксплуатации геотермальных зондов, для исключения вымораживания грунтового массива (пример температурного поля вымораживания грунта между вертикальными зондами в наиболее холодный период представлен на рисунке 5).

Достоверное определение минимального расстояния скважин позволяет определить необходимую площадь территории под проектируемые грунтовые теплообменники, что обеспечивает надежную работу теплотрансформаторов, исключая вымораживание грунта между скважинами в наиболее холодный период эксплуатации зданий (сооружений).

Объем грунтового массива, необходимый для обеспечения требуемой нагрузки на систему теплоснабжения здания, определяется на основании наличия следующих данных:

- физико-механические и теплофизические характеристики грунтов;
- свойства материала труб теплообменника [8];
- характеристика теплоносителя [8];
- количество энергии, которое грунтовый теплообменник отбирает из грунтового массива.

Для выполнения расчета расстояния между скважинами рассматриваем грунтовый массив, окружающий скважину, как цилиндр (рисунок 6), тогда радиус цилиндра будет являться определяемым значением.

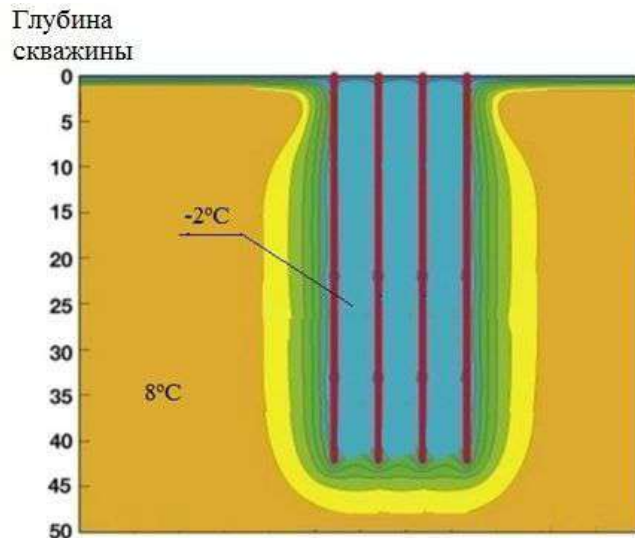


Рисунок 5 – Пример температурного поля вымораживания грунта между вертикальными зондами в наиболее холодный период

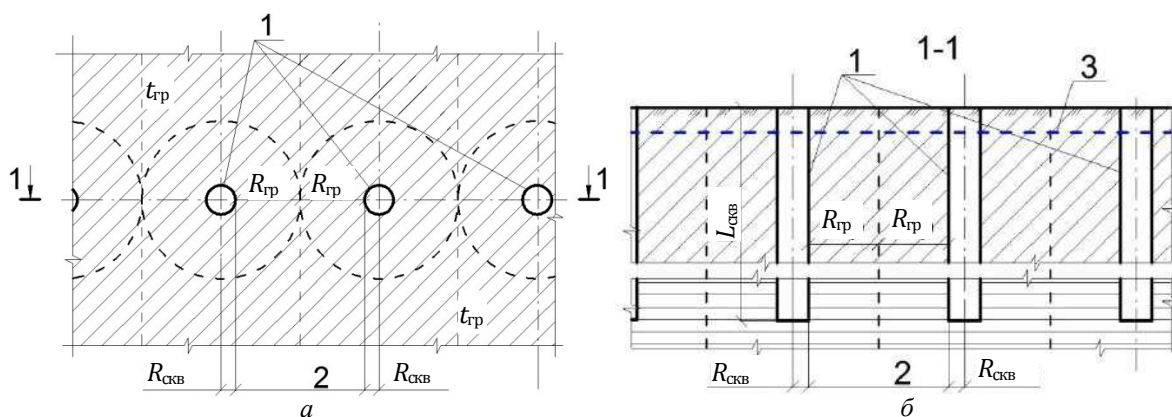


Рисунок 6 – План-схема поперечного разреза для расчета расстояния между скважинами системы сбора низкопотенциальной энергии грунта:

1 – геотермальные скважины; 2 – грунтовый массив; 3 – «нейтральная зона» грунта; $R_{скв}$ – радиус скважины; $R_{гр}$ – радиус грунтового массива, окружающего скважину; $L_{скв}$ – длина геотермальной скважины; $t_{гр}$ – температура грунта

Определяем количество теплоты, извлекаемое одной скважиной за отопительный период, Дж:

$$Q_{\text{треб}} = 86400 q_{\text{СКВ}} L_{\text{СКВ}} \cdot z_{\text{от. п}} \quad (16)$$

где $q_{\text{СКВ}}$ – средний тепловой поток с одного метра скважины, Вт/м;

$L_{\text{СКВ}}$ – глубина скважины, м;

$z_{\text{от. п}}$ – продолжительность отопительного периода, принимаемая по [6] в соответствии с [7], сут/год.

Определяем объем грунта, способный покрыть требуемую нагрузку при эксплуатации одной скважины, $V_{\text{гр}}$, м³:

$$V_{\text{гр}} = \frac{Q_{\text{треб}}}{c_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}} \left[t_{\text{гр}} - \left(\frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} \right) \right]} \quad (17)$$

где $c_{\text{гр}}$ – удельная теплоемкость грунтового массива, Дж/кг·К;

$\rho_{\text{гр}}$ – плотность грунтового массива, кг/м³;

$t_{\text{гр}}$ – температура грунтового массива, °С;

$t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ – температура входа и выхода рабочей жидкости в грунтовом теплообменнике, °С.

Расстояние от центра скважины с грунтовым теплообменником до границы эксплуатируемого массива грунта ($r_{\text{гр}}$, м) определяем по формуле:

$$r_{\text{гр}} = \sqrt{\frac{V_{\text{гр}}}{\pi L_{\text{СКВ}}}} \quad (18)$$

Внутренняя температура теплообменника (зонда) является переменной вследствие нагревания хладагента по глубине скважины. Таким образом, необходимо учитывать $R_{\text{нар}}$ (наружный радиус зонда), увеличив расстояние между скважинами. В соответствии с предварительной методикой расчета формулу (18) можно преобразовать, используя выражения (16) и (17). Получим общую формулу для определения расстояния между геотермальными скважинами ($R_{\text{ГГС}}$):

$$R_{\text{ГГС}} = 2 \sqrt{\frac{86400 q_{\text{СКВ}} z_{\text{от. п}}}{\pi c_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}} \left[t_{\text{гр}} - \left(\frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} \right) \right]}} + 2R_{\text{СКВ}}, \quad (19)$$

где $R_{\text{СКВ}}$ – радиус скважины, м;

Таким образом, получена формула для определения расстояния между скважинами, которая учитывает теплофизические параметры грунта, величину теплового потока, температурный перепад между массивом грунта и теплоносителем в зависимости от продолжительности отопительного периода для конкретного региона.

Полученные значения расстояния между скважинами характерны для эксплуатации при постоянном значении количества теплоты, извлекаемой в течение отопительного периода, т. е. исключается возможная неравномерность в работе скважины, что гарантирует сохранение температуры в грунтовом массиве.

Таким образом, по результатам выполнения лабораторных исследований грунтов, выбранных по разведочным скважинам Омского района Омской области, разработана методика расчета определения минимального расстояния между скважинами с грунтовыми зондами. Выполненные расчеты при учете различных комбинаций теплофизических свойств грунтов позволили составить таблицу с рекомендуемыми расстояниями между скважинами. Результаты расчетов определения расстояния между грунтовыми теплообменниками приведены в таблице 2.

Совершенствование промышленных теплосистем, теплотехнического и теплового оборудования

Таблица 2 – Определение расстояния между грунтовыми зондами на основании среднего теплового потока с одного метра скважины (Вт/м) и объемной теплоемкости грунтового массива (МДж/(м³·К))

Виды грунтов	$c_p \cdot 10^3$, кДж/м ³ ·К	$q_{\text{скв}}$, Вт/м						
		40	50	60	70	80	90	100
Среднетеплоемкие	3,1 – 3,4	6 м	7 м	7 м	8 м	8 м	9 м	10 м
	3,5 – 3,8	6 м	7 м	7 м	8 м	8 м	9 м	9 м
	3,9 – 4,2	6 м	6 м	7 м	7 м	8 м	8 м	9 м

Результаты выполненных исследований подтвердили наличие высокой погрешности в выполняемых проектных, монтажных работах, при устройстве грунтовых зондов на территории Омского района Омской области. Апробированные грунты являются следнетеплоемкими, и усредненное рекомендуемое расстояние между скважинами при отсутствии инженерно-геологических изысканий необходимо принимать не менее 8 м.

Выполненные исследования, позволили актуализировать ранее разработанную номограмму [9] для определения расстояния между скважинами с грунтовыми зондами. Пример определения расстояния между скважинами при наличии выполненных изыскательских работ представлен на рисунке 7.

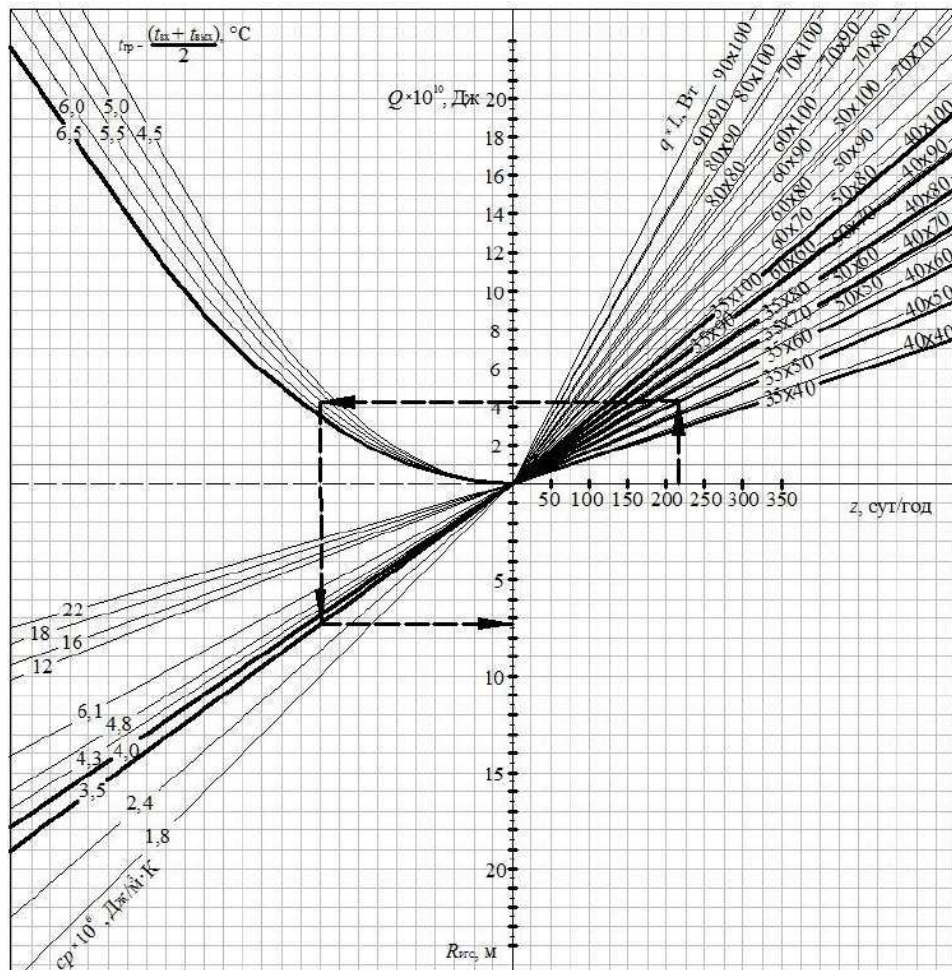


Рисунок 7 – Номограмма определения расстояния между скважинами:

z – продолжительность отопительного периода, сут/год; q – тепловой поток с метра скважины, Вт/м; L – глубина скважины, м; Q – количество теплоты, извлекаемой одной скважиной за отопительный период, Дж; $t_{\text{гр}}$ – температура грунта, °С (принята 8 °С); $t_{\text{вх}}$ – температура теплоносителя на входе в грунтовый теплообменник, °С (принята 5 °С); $t_{\text{вых}}$ – температура теплоносителя на выходе из грунтового теплообменника, °С (принята исходя из допустимого оптимального температурного перепада 0 °С для стабильной работы теплового насоса); $c_p \cdot 10^6$ – объемная теплоемкость грунтового массива, Дж/м³·К; R – расстояние между скважинами с грунтовыми теплообменниками, м

Расчеты, проведенные по представленной номограмме, показали, что одна скважина глубиной 60 м на территории г. Омска позволяет извлекать не менее 10 Гкал низкопотенциальной тепловой энергии за отопительный период.

На основании выполненных на территории г. Омска, Омского района и Омской области исследований можно сделать выводы:

- изученные монолиты земли относятся к среднетеплоемким грунтам [9];
- используемое на территории европейской части Российской Федерации расстояние между грунтовыми зондами не обеспечивает поступление нужного количества низкопотенциального тепла, что подтверждается практическими замерами;
- разработанная методика определения расстояния между геотермальными скважинами позволила достоверно определить рекомендуемое расстояние между теплообменниками в исследуемом районе;
- выполненные изыскания позволили актуализировать ранее разработанную номограмму для определения расстояния между скважинами с грунтовыми зондами, достоверность которых обеспечивается проведенными экспериментальными исследованиями грунтов.

Список литературы

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» / КонсультантПлюс: сайт. – Текст : электронный. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978 (дата обращения: 08.12.2020).
2. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. №1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 г.» / КонсультантПлюс : сайт. – Текст : электронный. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054 (дата обращения: 08.12.2020).
3. Геология и полезные ископаемые России. Т. 2. Западная Сибирь / гл. ред. В. П. Орлов, ред. 2-го тома А. Э. Конторович, В. С. Сурков. – Санкт-Петербург : ВСЕГЕИ, 2000. – 477 с. – Текст : непосредственный.
4. Геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока / Дучков А. Д., Железняк М. Н., Аюнов Д. Е., Веселов О. В., Соколова Л. С., Казанцев С. А., Горнов П. Ю., Добрецов Н. Н., Болдырев И. И., Пчельников Д. В., Добрецов А. Н. – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620488 от 17.03.2015.
5. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик / ОАО «ПНИИС». – Москва : Стандартинформ, 2016. – 19 с. – Текст : непосредственный.
6. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99 Строительная климатология» / НИИСФ РААСН, ФГБУ «ГТО» / АР-Групп. Проектная организация: сайт. – Текст : электронный. – URL: <https://ar-групп.рф/wp-content/uploads/2019/05/SP-131.13330.2018-SNiP-23-01-99-Stroitel'naya-klimatologiya-.pdf> (дата обращения: 08.12.2020).
7. СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» / Строительные нормы и правила РФ : сайт. – Текст : электронный. – URL: <http://sniprf.ru/sp50-13330-2012> (дата обращения: 08.12.2020).
8. Проектная документация. Справочник по проектированию и монтажу тепловых насосов / buderus.ru : сайт. – Текст : электронный. – URL: <https://www.buderus.ru/files/200903232039060.17%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D1%85%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B2.pdf> (дата обращения: 08.12.2020).
9. Журмилова, И. А. Влияние теплофизических свойств грунта на формирование геотермального поля в системе сбора низкопотенциальной энергии грунта / И. А. Журмилова, А. С. Штым. – Текст : непосредственный // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2017. – № 3 (32) – С. 3 – 6.

10. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов / ПНИИС Госстроя СССР, НИИОСП Госстроя СССР, ЛенЗНИИЭП Госгражданстроя СССР, МИСИ им. В. В. Куйбышева, Фундаментпроект Минмонтажспецстроя СССР; под. ред. Р. М. Саркисяна, З. А. Нерсесова [и др.]. – Москва : Стройиздат, 1973. –191 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Federal'nyi zakon ot 23.11.2009 № 261-FZ (red. ot 27.12.2018) «Ob energosberezhenii i povyshenii energeticheskoi effektivnosti i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii» (Federal Law No. 261-FZ of 23.11.2009 (ed. Dated 27.12.2018) «On energy saving and energy efficiency improvement and on amendments to certain Legislative Acts of the Russian Federation»), Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978 (accessed 08 December 2020).

2. *Rasporiazhenie Pravitel'stva RF ot 13 noiabria 2009 g. №1715-r «Energeticheskaia strategiiia Rossii na period do 2030 g.»* (Order of the Government of the Russian Federation No. 1715-r of November 13, 2009. «Energy strategy of Russia for the period up to 2030»), Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054 (accessed 08 December 2020).

3. *Geologiya i poleznye iskopaemye Rossii. T. 2. Zapadnaia Sibir' / gl. red. V. P. Orlov, red. 2-go toma A. E. Kontorovich, V. S. Surkov* (Geology and Mineral Resources of Russia, vol. 2. Western Siberia, ch. ed. V. P. Orlov, ed. the 2nd volume of A. E. Kontorovich, V. S. Surkov). Saint-Petersburg: VSEGEI Publ., 2000, 477 p.

4. Duchkov A. D., Zheleznyak M. N., Ayunov D. E., Veselov O. V., Sokolova L. S., Kazantsev S. A., Gornov P. Yu., Dobretsov N. N., Boldyrev I. I., Pchel'nikov D. V., Dobretsov A. N. Geothermal Atlas of Siberia and the Far East [Geotermicheskii atlas Sibiri i Dal'nego Vostoka], Certificate of state registration of the database No. 2015620488 of 17.03.2015, Available at: <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/science/results/res-geotermicheskii-atlas-sibiri-i-dalnego-vostoka-2009-2012> (accessed 08 December 2020).

5. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniia fizicheskikh kharakteristik, GOST 5180-2015, OAO «PNIIS»* (Soils. Methods of laboratory determination of physical characteristics, GOST 5180-2015, JSC «PNIIS»). Moscow: Standartinform, 2016, 19 p.

6. *SP 131.13330.2018 «SNiP 23-01-99 Stroitel'naia klimatologiya»* (SP 131.13330.2018 «SNiP 23-01-99 Construction Climatology»), Available at: <https://ap-rpynn.pf/wp-content/uploads/2019/05/SP-131.13330.2018-SNiP-23-01-99-Stroitel'naya-klimatologiya-.pdf> (accessed 08 December 2020).

7. *SP 50.13330.2012 «SNiP 23-02-2003 Teplovaia zashchita zdanii»* (SP 50.13330.2012 SNiP 23-02-2003. Thermal protection of buildings), Available at: <http://sniprf.ru/sp50-13330-2012> (accessed 08 December 2020).

8. *Proektnaia dokumentatsiia. Spravochnik po proektirovaniu i montazhu teplovykh nasosov* (Project documentation. Guide to the design and installation of heat pumps), Available at: <https://www.buderus.ru/files/200903232039060.17%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D1%85%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B2.pdf> (accessed 08 December 2020).

9. Zhurmilova I. A., Shtym A. S. Influence of thermophysical properties of the soil on the formation of a geothermal field in the system of collecting low-potential energy of the soil [Vliianie teplofizicheskikh svoistv grunta na formirovanie geotermal'nogo polia v sisteme sbora nizkopotentzial'noi energii grunta]. *Vestnik inzhenernoi shkoly DVFU – Bulletin of the FEFU Engineering School*, 2017, no. 3 (32), pp. 3 – 8.

10. *Rukovodstvo po opredeleniiu fizicheskikh, teplofizicheskikh i mekhanicheskikh kharakteristik merzlykh gruntov* (Guidelines for determining the physical, thermophysical and mechanical characteristics of frozen soils), under the general editorship of R. M. Sarkisyan, Z. A. Nersesova, S. S. Vyalov, A. G. Zatsarnaya. Moscow: Stroyizdat Publ., 1973, 191 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кадцын Иван Ильич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Аспирант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: 8-913-963-20-13.

E-mail: kii55@bk.ru

Стариков Александр Петрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-06-23.

E-mail: StarikovAP@omgups.ru

Ведрученко Виктор Родионович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-06-23.

E-mail: VedruchenkoVR@omgups.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Кадцын, И. И. Исследование теплофизических характеристик грунтов города Омска для проектирования геотермальных зондов / И. И. Кадцын, А. П. Стариков, В. Р. Ведрученко. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2020. – № 3 (43). – С. 128 – 139.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kadtcyn Ivan Ilyich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx St., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Post-graduate student of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: 8-913-963-20-13.

E-mail: kii55@bk.ru

Starikov Alexander Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx St., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Engineering, Associate Professor, head of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-06-23.

E-mail: StarikovAP@omgups.ru

Vedruchenko Victor Rodionovich

Omsk state University of railway transport (OSTU).

Marx St., 35, Omsk, 644046, Russian Federation.

Doctor of Science in Engineering, Professor of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-06-23.

E-mail: VedruchenkoVR@omgups.ru

BIBLIOGRAPHIC DESCRIPTION

Kadtcyn I. I., Starikov A. P., Vedruchenko V. R. Research of thermophysical characteristics of soils of the city of Omsk for designing geothermal probes. Journal of Transsib Railway Studies, 2020, no. 3 (43), pp. 128 – 139 (In Russian).

УДК 519.876.5:629.4.083

Т. Б. Брылова¹, А. В. Кутышкин²

¹Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация;

²Югорский государственный университет (ЮГУ), г. Ханты-Мансийск, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕИНЖИНИРИНГЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Аннотация. В работе рассматривается применение имитационного моделирования при реинжиниринге технологических процессов ремонта узлов подвижного состава на примере ремонта тележки модели 18-578 полувагона. В качестве объекта реинжиниринга рассматривался наиболее трудоемкий подпроцесс ремонта надрессорной балки этой тележки. Рассматривались три варианта реинжиниринга данного подпроцесса, предполагающие полную замену используемого в настоящее время на ремонтных операциях (позициях) технологического оборудования на более производительное, организацию дублирующей ремонтной позиции для «узкого места» данного подпроцесса с использованием имеющегося технологического оборудования и реорганизацию технологи-