

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОСВАИ

В. С. Евдокимов, Г. И. Чернов, А. А. Гладенко, А. А. Исаев

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Статья посвящена экспериментальному исследованию эффективности работы термосваи. Актуальность работы обусловлена широким применением термосвай для стабилизации грунта в зонах вечной мерзлоты с целью предотвращения деформации и разрывов газо- и нефтепроводов. Целью работы является оценка влияния климатических условий и степени повреждения термостабилизатора грунта на эффективность его работы. Экспериментальное исследование показало, что с увеличением скорости обдува и снижением температуры воздуха тепловая мощность термосваи увеличивается. Также было установлено, что повреждение до 30 % рабочей поверхности термосваи приводит к незначительному (до 12 %) снижению её тепловой мощности.

Ключевые слова: термостабилизатор грунта, климатическая камера, тепловая мощность термосваи, эффективность термосваи.

Введение

Одной из основных проблем трубопроводной транспортировки нефти и газа является температурная стабилизация грунта возле опор свай нефте- и газопроводов. Одним из возможных способов решения этой проблемы является замораживание околосвайного грунта посредством термосвай.

Термосваи широко используются в климатических зонах, отличительной особенностью которых является наличие многолетних мерзлых грунтов, подверженных риску оттаивания летом, что может привести к повреждению или разрушению строительных конструкций на основе таких почв. Термосвая в течение длительного холодного периода года создает вокруг себя зональное замерзание, которое не успевает оттаять в течение периода потепления, что надежно сохраняет несущую способность почвы. В то же время случаи тестирования термосвай в лаборатории неизвестны, а эффективность термостабилизаторов определяется на основе аналитических или численных расчетов, практический же результат оценивается после завершения строительства и эксплуатации объекта. Таким образом, вопрос испытаний термосвай и дальнейшей разработки предложений по контролю и оценке их эффективности является актуальным.

Целью исследования является определение влияния метеоусловий и оценка эффективности работы термосвай.

Описание объекта исследования

Объектом исследования предоставляется термостабилизатор грунта (ТСГ), установленный в гильзу в полости металлической несущей сваи, представляющей из себя в сборе термосваю. Внешний вид термосваи показан на рис. 1.

Внутренняя полость термостабилизатора заполнена хладагентом — углекислым газом (CO_2). Масса заправленного хладагента — 800 г. Давление заправленного хладагента составляет 4 МПа.

Цель работы состоит в построении оценки эффективности термосваи от показателей работоспособности термостабилизатора.

В процессе работы проводились стендовые испытания, инженерные и численные расчеты термосваи при наличии повреждений конденсаторной части ТСГ и при их отсутствии.

Методика эксперимента

Для проведения испытаний термосваи был разработан и выполнен стенд (рис. 2). Режимы испытаний определялись: изменяемой скоростью обдува поверхности конденсатора со значениями 0 м/с, 1,5 м/с, 2,5 м/с; изменяемой температурой в климатической камере со значениями -11°C , -16°C , -21°C ; постоянной температурой в нижней камере 8°C .

Метод испытаний, измерительно-вычислительный комплекс испытательного стенда, обеспечивает контроль следующих параметров:

- скорости вращения вентилятора обдува конденсатора ТСГ;
- температуры воздуха на поверхности грунта и в нижней камере;
- температуры оребрения конденсатора ТСГ;
- температуры поверхности испарителя ТСГ, гильзы и термосваи;
- плотности теплового потока на поверхности испарителя ТСГ, гильзы и термосваи.

Контроль параметров осуществлялся при помощи следующих типов измерительных преобразователей и датчиков (табл. 1).

Методика оценки тепловой мощности

При расчёте тепловой мощности работы конденсатора термосваи задаются следующие геометрические параметры оребренной части ТСГ [1–3]:

- длина оребренной части конденсатора ТСГ $L_{\text{оп}} = 1,18$ м;
- наружный диаметр трубы ТСГ $d_1 = 0,0337$ м;

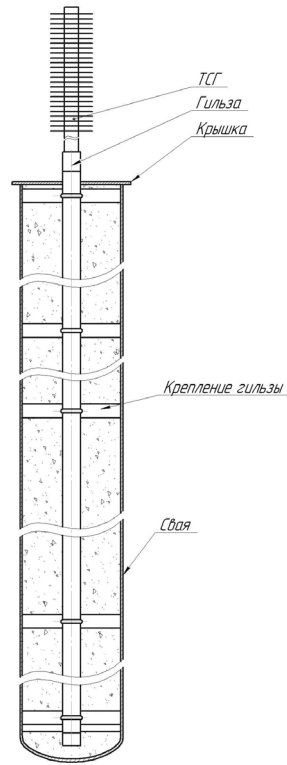


Рис. 1. Общий вид термосваи
 Fig. 1. General view of a thermal pile

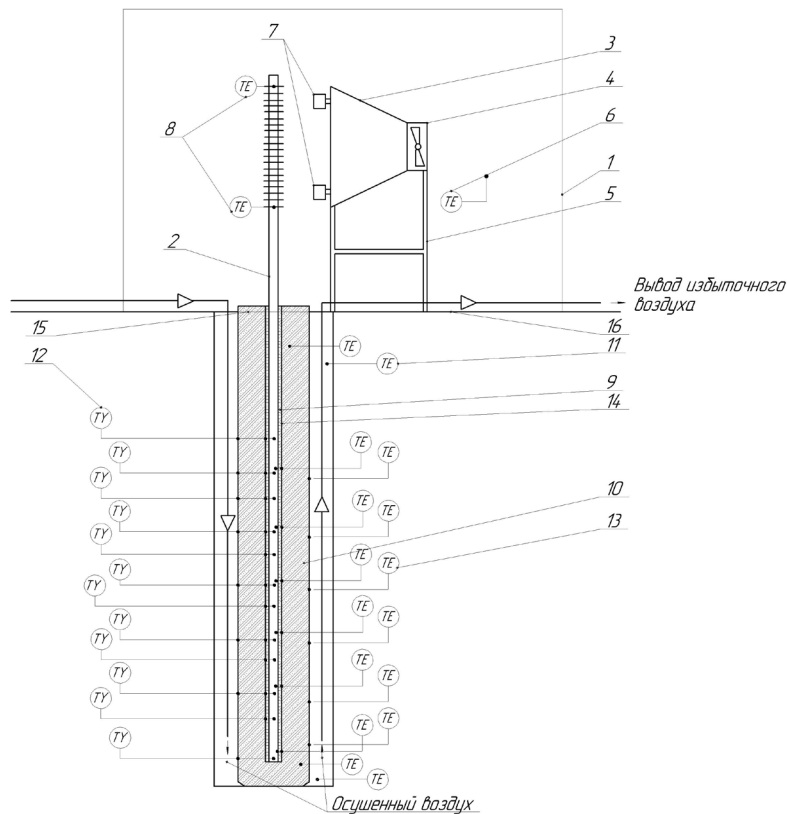


Рис. 2. Принципиальная схема стенда для испытания термосваи: 1 — климатическая камера; 2 — термостабилизатор грунта; 3 — диффузор; 4 — вентилятор; 5 — стойка; 6 — датчик температуры в климатической камере; 7 — анемометр; 8 — датчик температуры оребрения ТСГ; 9 — незамерзающая жидкость; 10 — полость несущей сваи, заполненная цементно-песчаной смесью; 11 — датчик температуры в нижней камере; 12 — датчик теплового потока на испарителе ТСГ и гильзе; 13 — датчик температуры на испарителе ТСГ и гильзе; 14 — гильза; 15 — заглушка; 16 — уровень пола; 17 — нижняя климатическая камера

Fig. 2. Schematic diagram of the stand for testing thermal piles: 1 — climatic chamber; 2 — soil thermal stabilizer; 3 — diffuser; 4 — fan; 5 — rack; 6 — temperature sensor in the climatic chamber; 7 — anemometer; 8 — TSS ribbing temperature sensor; 9 — non-freezing liquid; 10 — cavity of the bearing pile filled with a cement-sandy mixture; 11 — temperature sensor in the lower chamber; 12 — heat flow sensor on the TSG evaporator and sleeve; 13 — temperature sensor on the TSG evaporator and sleeve; 14 — sleeve; 15 — plug; 16 — floor level; 17 — lower climatic chamber

Таблица 1. Измерительные преобразователи и вторичные приборы измерительного комплекса
Table 1. Measuring converters and secondary devices of the measuring complex

№	Тип прибора	Кол-во
1	2	3
1. Измерение скорости обдува оребрения конденсатора		
1.1	Измеритель скорости и температуры воздушного потока, термоанемометр с USB MS6252B	2
2. Измерение температуры в верхней климатической камере		
2.1	Термометр сопротивления платиновый типа ЭЧП-24	2
3. Измерение температуры в нижней климатической камере		
3.1	Термометр сопротивления платиновый типа ЭЧП-24	2
4. Измерение температуры конденсатора в климатической камере		
4.1	Термометр сопротивления платиновый типа ЭЧП-24	2
5. Измерение температуры поверхности испарителя термостабилизатора		
5.1	Термопреобразователи сопротивления ТСМ9703-08	6
6. Измерение плотности теплового потока с поверхности термостабилизатора		
6.1	Датчик плотности теплового потока ДТП-0924-Р-П-100-0	12
7. Измерение температуры поверхности гильзы термостабилизатора		
7.1	Термопреобразователи сопротивления ТСМ9703-08	6
8. Измерение плотности теплового потока с поверхности гильзы термостабилизатора		
8.1	Датчик плотности теплового потока ДТП-0924-Р-П-100-0	12
9. Измерение температуры поверхности термосваи		
9.1	Термопреобразователи сопротивления ТСМ9703-08	6
10. Измерение плотности теплового потока с поверхности термосваи		
10.1	Датчик плотности теплового потока ДТП-0924-Р-П-100-0	12
11. Вторичные приборы измерения температуры		
11.1	Многоканальный измеритель температуры МИТ-12-ТС-11	2
12. Вторичный измерительный прибор измерения плотности теплового потока		
12.1	Измеритель температуры и плотности теплового потока многоканальный МИТ-16	2

- диаметр ребра $D = 0,067$ м;
- шаг ребер $s_p = 0,0028$ м;
- толщина ребра $\delta_p = 0,0008$ м.

По заданным геометрическим параметрам оребренной части конденсатора определяются:

- высота ребра, м

$$h = \frac{D - d_1}{2}; \quad (1)$$

- число ребер, шт.

$$N = \frac{L_{оп}}{s_p}; \quad (2)$$

- площадь поверхности конденсатора, м² [4, 5]

$$F = N \cdot \left[2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_1^2) + \pi \cdot D \cdot \delta_p + \pi \cdot d_1 \cdot (s_p - \delta_p) \right]. \quad (3)$$

Площадь конденсатора определяется как площадь одной секции с ребром, умноженная на число ребер. Площадь одной секции складывается из площади боковой поверхности ребра (двойной площади кольца $2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_1^2)$), площади торца ребра $\pi \cdot d_1 \cdot (s_p - \delta_p)$ и площади межреберного участка $\pi \cdot d_1 \cdot (s_p - \delta_p)$ [6].

Также задаются следующие температуры:

- средняя температура конденсатора $t_{кон,ср}$, °С;
- температура воздуха в климатической камере t_b , °С;

По температуре воздуха определяются теплофизические свойства воздуха:

- коэффициент объемного расширения [7]

$$\beta_b = \frac{1}{t_b + 273}; \quad (4)$$

- коэффициент теплопроводности λ_b , Вт/(м·К);
- коэффициент кинематической вязкости ν_b , м²/с;
- критерий Прандтля Pr_b .

Расчет конденсатора сводится к определению его тепловой мощности $Q_{кон}$ по измеренному температурному напору $(t_{кон} - t_b)$. Тепловая мощность (Вт) находится по уравнению Ньютона – Рихмана [8]:

$$Q_{кон} = \alpha \cdot (t_{кон} - t_b) \cdot F. \quad (5)$$

Средний по поверхности конденсатора коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м²·К), определяется через критерий Нуссельта [9]:

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda_b}{D}. \quad (6)$$

Поскольку в рассматриваемом случае имеет место обдув конденсатора, теплоотдача между ним и окружающим воздухом осуществляется посредством вынужденной конвекции. В этом случае значение критерия Нуссельта определяется по критериальному уравнению, описывающему вынужденную конвекцию при поперечном обтекании вертикальной оребренной трубы [10]

Таблица 2. Результаты экспериментального исследования ТСГ и определения тепловой мощности ТСГ
Table 2. Results of the experimental study of TSS and determination of the thermal capacity of TSS

№ эксперимента п/п	Скорость обдува, м/с	Температура воздуха в климатической камере, °С	Средняя температура поверхности испарителя ТСГ, °С	Средняя температура конденсатора ТСГ, °С	Тепловая мощность работы испарителя ТСГ, Вт
	V				
1	2	3	4	5	6
1	0	-20,74	0,62	-1,64	26,9
2	0,5	-20,89	-2,24	-4,24	47,9
3	1,5	-20,61	-5,36	-6,87	72,7
4	2,5	-20,14	-13,36	-14,59	84,1
5	0	-15,37	2,99	1,17	22,1
6	0,5	-15,74	1,27	-1,49	38,3
7	1,5	-15,34	-2,18	-3,61	60,5
8	2,5	-15,21	-10,04	-10,72	71,3
9	0	-10,21	3,97	2,43	14,3
10	0,5	-10,74	1,53	0,23	26,5
11	1,5	-10,54	-0,34	-1,59	42,7
12	2,5	-10,69	-6,20	-6,85	54,7

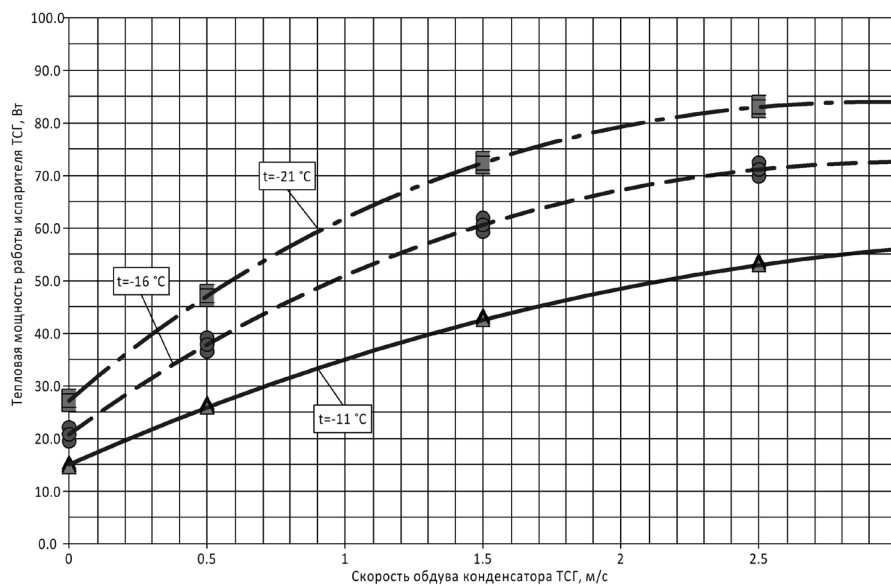


Рис. 3. Зависимость тепловой мощности работы испарителя ТСГ от скорости обдува конденсатора ТСГ при различных температурах в климатической камере (ТСГ в гильзе и термосае)
Fig. 3. Dependence of the thermal power of the evaporator TSG on the blowing speed of the TSS condenser at different temperatures in the climatic chamber (TSS in the sleeve and thermopile)

$$Nu = 0,104 \cdot Re^{0,72} \cdot \left(\frac{d_1}{s_p}\right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h}{s_p}\right)^{-0,14} \cdot 0,85, \quad (7)$$

где Re — критерий Рейнольдса, который определяется выражением [11],

$$Re = \frac{V_{cp} \cdot s_p}{\nu_b}. \quad (8)$$

где V_{cp} — средняя скорость обдува конденсатора ТСГ.

Множитель 0,85 в формуле, определяющей критерий Нуссельта, характеризует эффективность ребра.

При вычислении критериев Нуссельта и Рейнольдса в качестве характерного размера берётся шаг ребра s_p .

Передача тепла между внутренней поверхностью гильзы с диаметром d_2 и наружной поверхностью ТСГ через слой жидкости осуществляется свободной конвекцией, т.е. речь идёт о свободной конвекции в ограниченном объёме внутри вертикального кольца. Критерий Грасгофа определяется выражением [12]

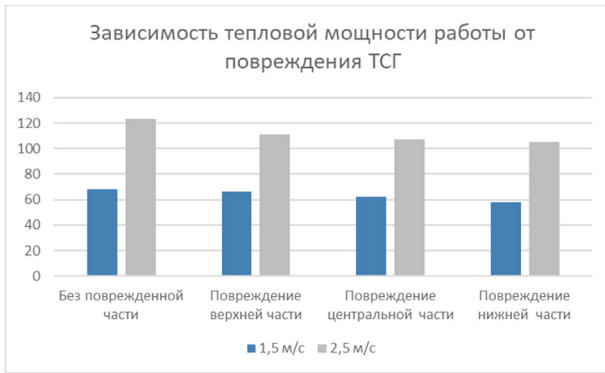


Рис. 4. Зависимость тепловой мощности работы термосваи от поврежденной части конденсатора при -16°C в камере (имитация повреждения конденсатора 30%)
Fig.4. Dependence of the thermal power of the thermal pile operation on the damaged part of the condenser at -16°C in the chamber (imitation of the condenser damage 30%)

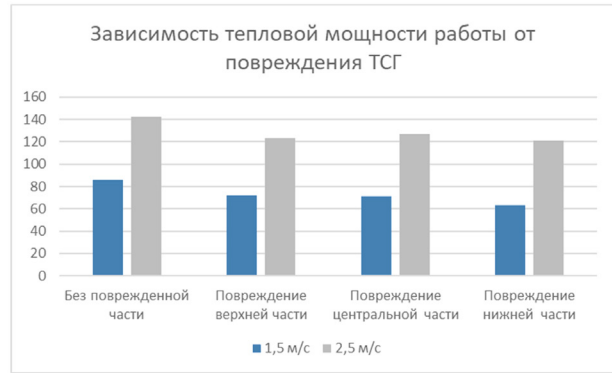


Рис. 5. Зависимость тепловой мощности работы термосваи от поврежденной части конденсатора при -21°C в камере (имитация повреждения конденсатора 30%)
Fig. 5. Dependence of the thermal power of the thermal pile operation on the damaged part of the condenser at -21°C in the chamber (simulation of the condenser damage 30%)

$$Gr = \frac{9,81 \cdot \beta_{ж} \cdot (t_2 - t_1) \cdot \delta_3^3}{\nu_{ж}^2} \quad (9)$$

Средняя температура на внутренней поверхности гильзы t_2 считается известной и равной средней температуре на наружной поверхности гильзы t_3 , так как теплопроводность стенки гильзы высока и её термическим сопротивлением можно пренебречь.

Теплофизические свойства незамерзающей жидкости определяются по средней температуре жидкости

$$t_{ср.ж} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (10)$$

где t_1 — температура на поверхности ТСГ.

На основе значения критерия Грасгофа вычисляется коэффициент конвекции εk , учитывающий поправку на относительную высоту кольцевого зазора δ_3/L .

$$\varepsilon k = 0,18 \cdot (Gr \cdot Pr_{ж})^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{\delta_3}{L}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (11)$$

Коэффициент конвекции входит в состав эквивалентного коэффициента теплопроводности $\lambda_{экв}$, который учитывает перенос тепла от гильзы к ТСГ через кольцевой зазор как теплопроводностью, так и конвекцией

$$\lambda_{экв} = \lambda_{экв} \cdot \varepsilon k \quad (12)$$

Тепловая мощность работы испарителя ТСГ определяется по формуле

$$Q_{ТСГ} = \frac{\lambda_{ж} \cdot \varepsilon k}{\delta_3} \cdot (t_2 - t_1) \cdot \pi \cdot d_1 \cdot L \quad (13)$$

Результаты экспериментального определения тепловой мощности ТСГ представлены в табл. 2 и на рис. 3.

С понижением температуры от -11 до -21°C в климатической камере и с увеличением скорости обдува конденсатора ТСГ от 0 м/с до 2,5 м/с тепловая мощность работы испарителя ТСГ, гильзы, термосваи возрастает на 701, 502 и 286% соответственно. Рост эффективности ТСГ, гильзы, термосваи связан с увеличением коэффициента теплоотдачи на конденсаторе при увеличении скорости обдува до 2,5 м/с.

На рис. 4 и рис. 5 зависимости тепловой мощности термосваи от повреждения различных участков конденсаторной части ТСГ и при разных скоростях обдува для различных температур в климатической камере.

Из этих диаграмм видно, что повреждение различных участков оказывают различное воздействие на тепловую мощность термосваи. Наибольшее воздействие оказывает повреждение нижней части конденсатора. Механическое повреждение 10% поверхности конденсаторной части ТСГ привело к изменению мощности теплового потока от термосваи на величину от 0,6 до 12,6% относительно отсутствия повреждения.

Вывод

В результате проведенного исследования были получены экспериментальные зависимости тепловой мощности работы термосваи от скорости обдува конденсаторной части 0; 1,5; и 2,5 м/с, температуры воздуха в климатической камере -11 , -16 и -21°C и температуры воздуха в нижней камере 8°C . Результаты исследования показали, что с увеличением скорости обдува и снижением температуры обдуваемого воздуха тепловая мощность термосваи возрастает, при этом рост достигает 400% (от 15 Вт до 85 Вт).

Имитация повреждений различных участков конденсатора показала, что в этом случае снижение тепловой нагрузки не превышает 12,6%.

Полученные результаты могут быть использованы для оценки эффективности термостабилизатора грунта в части определения достаточности принятых проектных технических решений по термостабилизации грунта от фактических показателей работоспособности термостабилизатора грунта и свойств грунта в месте его установки.

Список источников

1. Теория теплообмена / под ред. А. И. Леонтьева. 3-е изд. М.: Изд-во МГТУ, 2018. 463 с. ISBN 978-5-7038-4527-1.
2. Справочник по теплообменникам. В 2 т. / под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова. М.: Энергоатомиздат, 1987. Т. 1. 559 с.
3. Богданов С. Н., Бучко Н. А., Гуйго Э. И. [и др.] Теоретические основы хладотехники. Теплообмен / под ред. Э. И. Гуйго. М.: Агропромиздат, 1986. 319 с.
4. Pate A. Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions. Oxford: Woodhead Publishing, 2019. 209 p. ISBN 9780128170489.
5. Zhou Y., Guoqing Z. Approximate solution for the temperature field of 1-D soil freezing process in a semi-Infinite region // Heat and Mass Transfer. 2013. Vol. 49, Issue 1. P. 75–84.
6. Petry T. M., Little D. N. Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavement and Lightly Loaded Structures — History, Practice and Future // Journal of Materials in Civil Engineering. 2002. Vol. 14, Issue 6. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:6(447).
7. Mitchell J. K. Fundamentals of Soil Behavior. 2nd ed. NY: John Wiley & Sons Inc., 1993.
8. Shao Y., Wang S.-C., Guan Y. Numerical simulation of soil squeezing effects of a jacked pipe pile in soft foundation soil and in foundation soil with an underlying gravel layer // Geotechnical and Geological Engineering. 2016. Vol. 34 (2). P. 493–499. DOI: 10.1007/s10706-015-9960-y.
9. Liang X.-C., Chen S., Xie X.-M. Comparative analysis of soil classifications based on CPT in ground improvement // Port & Waterway Engineering. 2015. Issue 3. P. 41–46.
10. Maksimenko V. A., Evdokimov V. S. Ground heat stabilizer work research in year-round operation mode // Procedia Engineering. 2015. Vol. 113. P. 282–286. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.266.
11. Evdokimov V. S., Maksimenko V. A. The experimental research of season-acting cooling device operation in climatic soil zone of South-Western Siberia // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. 2014. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005651.

12. Evdokimov V. S., Yusha V. L., Kapelukhovskaya A. A. [et al.]. Testing of temperature pile to obtain actual cooling performance // AIP Conference Proceedings. 2019. Vol. 2141, Issue 1. 030047. DOI: 10.1063/1.5122097.

ЕВДОКИМОВ Владимир Сергеевич, ассистент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология».

Адрес для переписки: omgtu_evdokimov@mail.ru

ЧЕРНОВ Герман Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология».

SPIN-код: 2144-5462

AuthorID (РИНЦ): 176943

Адрес для переписки: gj_chernov2002@mail.ru

ГЛАДЕНКО Алексей Анатольевич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология».

SPIN-код: 5725-1730

AuthorID (РИНЦ): 108388

ORCID: 0000-0002-2484-8685

AuthorID (SCOPUS): 57190854254

ResearcherID: B-4257-2017

Адрес для переписки: hngss@rambler.ru

ИСАЕВ Антон Андреевич, магистрант группы Хм-191 факультета элитного образования и магистратуры.

Адрес для переписки: kzisaevkz@gmail.com

Для цитирования

Евдокимов В. С., Чернов Г. И., Гладенко А. А., Исаев А. А. Экспериментальное исследование характеристик термосвай // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2020. Т. 4, № 3. С. 56–62. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-3-56-62.

Статья поступила в редакцию 11.05.2020 г.

© В. С. Евдокимов, Г. И. Чернов, А. А. Гладенко, А. А. Исаев

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL PILE CHARACTERISTICS

V. S. Evdokimov, G. I. Chernov, A. A. Gladenko, A. A. Isaev

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

The article is devoted to an experimental study of the efficiency of a heat pump. The relevance of this work is due to the widespread use of thermal piles for soil stabilization in permafrost zones in order to prevent deformation and ruptures of gas and oil pipelines. The purpose of this work is to assess the impact of climatic conditions and the degree of damage to the soil heat stabilizer on its performance. An experimental study showed that with an increase in the blowing speed and a decrease in the air temperature, the heat capacity of the heat pump increases. It was also found that damage to up to 30 % of the working surface of the heat pump leads to a slight (up to 12 %) decrease in its thermal capacity.

Keywords: thermal stabilizer, climate chamber, heat capacity of the heat pump, efficiency of the heat pump.

References

1. Teoriya teplomassoobmena [Theory of heat and mass transfer] / Ed. A. I. Leontyev. 3d ed. Moscow, 2018. 463 p. ISBN 978-5-7038-4527-1. (In Russ.).
2. Spravochnik po teploobmennikam [Handbook on heat exchangers]. In 2 vols. / Eds.: B. S. Petukhov, V. K. Shikov. Moscow, 1987. Vol. 1. 559 p. (In Russ.).
3. Bogdanov S. N., Buchko N. A., Guygo E. I. [et al.] Teoreticheskiye osnovy khladotekhniki. Teplomassoobmen [Theoretical foundations of refrigeration. Heat and mass transfer] / Ed. E. I. Guygo. Moscow, 1986. 319 p. (In Russ.).
4. Pate A. Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions. Oxford: Woodhead Publishing, 2019. 209 p. ISBN 9780128170489. (In Engl.).
5. Zhou Y., Guoqing Z. Approximate solution for the temperature field of 1-D soil freezing process in a semi-Infinite region // Heat and Mass Transfer. 2013. Vol. 49, Issue 1. P. 75–84. (In Engl.).
6. Petry T. M., Little D. N. Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavement and Lightly Loaded Structures — History, Practice and Future // Journal of Materials in Civil Engineering. 2002. Vol. 14, Issue 6. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:6(447). (In Engl.).
7. Mitchell J. K. Fundamentals of Soil Behavior. 2nd ed. NY: John Wiley & Sons Inc., 1993. (In Engl.).
8. Shao Y., Wang S.-C., Guan Y. Numerical simulation of soil squeezing effects of a jacked pipe pile in soft foundation soil and in foundation soil with an underlying gravel layer // Geotechnical and Geological Engineering. 2016. Vol. 34 (2). P. 493–499. DOI: 10.1007/s10706-015-9960-y. (In Engl.).
9. Liang X.-C., Chen S., Xie X.-M. Comparative analysis of soil classifications based on CPT in ground improvement // Port & Waterway Engineering. 2015. Issue 3. P. 41–46. (In Engl.).
10. Maksimenko V. A., Evdokimov V. S. Ground heat stabilizer work research in year-round operation mode // Procedia Engineering. 2015. Vol. 113. P. 282–286. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.266. (In Engl.).
11. Evdokimov V. S., Maximenko V. A. The experimental research of season-acting cooling device operation in climatic soil zone of South-Western Siberia // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. 2014. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005651. (In Engl.).

12. Evdokimov V. S., Yusha V. L., Kapelukhovskaya A. A. [et al.]. Testing of temperature pile to obtain actual cooling performance // AIP Conference Proceedings. 2019. Vol. 2141, Issue 1. 030047. DOI: 10.1063/1.5122097. (In Engl.).

EVDOKIMOV Vladimir Sergeevich, Assistant of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology Department.

Address for correspondence:

omgtu_evdokimov@mail.ru

CHERNOV German Igorevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology Department. SPIN-code: 2144-5462

AuthorID (RSCI): 176943

Address for correspondence: gj_chernov2002@mail.ru

GLADENKO Alexey Anatolevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Transport, Oil and Gas Storage, Standardization and Certification Department.

SPIN-code: 5725-1730

AuthorID (RSCI): 108388

ORCID: 0000-0002-2484-8685

AuthorID (SCOPUS): 57190854254

ResearcherID: B-4257-2017

Address for correspondence: hngss@rambler.ru

ISAEV Anton Andreevich, Undergraduate gr. Khm-191, Elite Education and Magistracy Department.

Address for correspondence: kzisaevkz@gmail.com

For citations

Evdokimov V. S., Chernov G. I., Gladenko A. A., Isaev A. A. Experimental study of thermal pile characteristics // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2020. Vol. 4, no. 3. P. 56–62. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-3-56-62.

Received May 11, 2020.

© V. S. Evdokimov, G. I. Chernov, A. A. Gladenko, A. A. Isaev