

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2020, №1, Том 7 / 2020, No 1, Vol 7 <https://t-s.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/16SATS120.pdf>

DOI: 10.15862/16SATS120 (<http://dx.doi.org/10.15862/16SATS120>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Жайсамбаев Е.А., Краев А.Н., Краев А.Н., Воронцов В.В. Экспериментальный стенд для исследования процессов промерзания-оттаивания грунтов основания в лабораторных условиях // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020 №1, <https://t-s.today/PDF/16SATS120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/16SATS120

**For citation:**

Zhaisambaev E.A., Kraev A.N., Kraev A.N., Vorontsov V.V. (2020). An experimental bench for studying the processes of freezing-thawing of soil in the laboratory. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(7). Available at: <https://t-s.today/PDF/16SATS120.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/16SATS120

**УДК 624.1**

**ГРНТИ 67.11.29**

**Жайсамбаев Еркин Аскерович**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

Магистрант

E-mail: zhaysambaeverkn@mail.ru

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1028545](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1028545)

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57202306280>

**Краев Андрей Николаевич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: kraev-an@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5679-2084>

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=761631](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=761631)

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57195595139>

**Краев Алексей Николаевич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: kraev\_aln@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2316-246X>

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=546741](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=546741)

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57190858254>

**Воронцов Вячеслав Викторович**

Департамент Образования Администрации г. Тюмени, Тюмень, Россия

Директор

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: VoroncovVV@tyumen-city.ru

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=546740](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=546740)

**Экспериментальный стенд для исследования  
процессов промерзания-оттаивания грунтов основания  
в лабораторных условиях**

**Аннотация.** В статье авторами рассматривается проблема строительства зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах, приведен краткий обзор способов сохранения мерзлого состояния грунтов основания. Приведен анализ научных работ, посвященных тепловому взаимодействию инженерного сооружения с многолетнемерзлыми грунтами. Проведение натурных экспериментов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов является трудоемким и дорогостоящим мероприятием, поэтому в рамках исследований был разработан экспериментальный стенд, позволяющий исследовать процессы промерзания-оттаивания грунтов в лабораторных условиях. Экспериментальный стенд представляет собой грунтовый лоток с жесткими стенками и дном с габаритными размерами в плане 1000x1000 мм и высотой 1000 мм. Открытая система моделировалась посредством размещения перфорированных труб на дне лотка с установленным внутри труб греющим кабелем, поддерживающим положительную температуру воды. Для обеспечения одностороннего и плоскопараллельного промерзания, боковые поверхности и дно лотка оклеивались утеплителем. Для фиксации температуры грунта в экспериментальном стенде и температуры воздуха в морозильной камере используется измерительный комплекс ТЕРЕМ 4-1 с датчиками температуры грунта ДТС 1-1. Для фиксации перемещений грунтового основания в экспериментальном стенде используются индикаторы часового типа ИЧ-50 с ценой деления 0,01 мм на телескопической магнитной стойке. Для изучения процессов промерзания-оттаивания грунтов авторами предлагается проведение серии экспериментальных работ на водонасыщенных суглинках в лабораторных условиях. Приводится описание экспериментального стенда с моделью термостабилизатора для исследования процессов промерзания-оттаивания грунтов основания в лабораторных условиях, описана методика проведения экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлый грунт; сезонно-действующее охлаждающее устройство; тепловое взаимодействие; промораживаемое основание-сооружение; термостабилизатор; экспериментальный стенд; грунтовый лоток

Активное освоение арктических пространств вызывает необходимость строительства зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах.

Для недопущения чрезмерного развития деформаций зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах вследствие растепления грунта в большинстве случаев применяется I принцип проектирования – многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения.

Существуют следующие способы сохранения мерзлого состояния грунтов основания:

1. Устройство проветриваемого (вентилируемого) подполья.
2. Устройство охлаждающей подсыпки по поверхности грунта.
3. Укладка охлаждающих труб и каналов.
4. Использование сезонно-действующих охлаждающих устройств (СОУ) и др.

В настоящее время для сохранения мерзлого состояния грунта активно применяют четыре вида сезонно-действующих охлаждающих устройств: индивидуальные термостабилизаторы, горизонтальные и вертикальные трубчатые системы (системы «ГЕТ» и «ВЕТ») и глубинные СОУ.

Вопросами теплового взаимодействия инженерного сооружения с многолетнемерзлыми грунтами посвящены работы Коновалова А.А., Павлова А.В., Порхаева Г.В., Горелика Я.Б.,

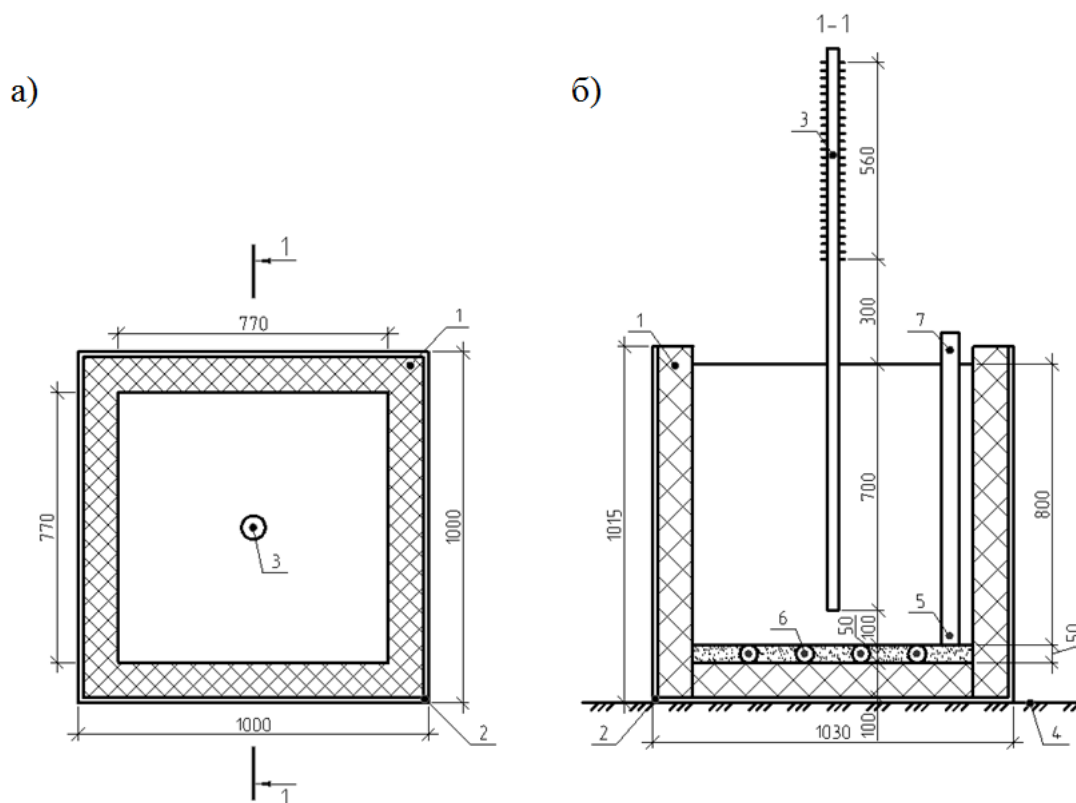
Цытовича Н.А. [1–5]. Изучением системы «мерзлый грунт – термостабилизатор – окружающий воздух» занимались Горелик Я.Б., Аникин Г.В., Поденко Л.С., Феклистов В.Н., Вялов С.С., Александров Ю.А., Миренбург Ю.С., Федосеев Ю.Г., Long E.L., Пиоро И.Л., Антоненко В.А., Пиоро Л.С. [6–10]. Анализ работ этих авторов указывает на актуальность дальнейших исследований в системе «промораживаемое основание-сооружение».

Так как проведение натуральных экспериментов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов является трудоемким и дорогостоящим мероприятием предложено разработать экспериментальный стенд, позволяющий исследовать процессы промерзания-оттаивания грунтов в лабораторных условиях.

**Таблица 1**

**Основные технические характеристики термостабилизатора**

№ п/п	Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметров
1.	Общая длина термостабилизатора	м	1,6
2.	Длина подземной части	м	1,0
3.	Диаметр корпуса	мм	33,7*3,5
4.	Диаметр оребрения	мм	67,0
5.	Поверхность надземной части, не менее	м <sup>2</sup>	1,15
6.	Поверхность подземной части, не менее	м <sup>2</sup>	0,106
7.	Материал оребрения		алюминий
8.	Материал подземной части	-	сталь 09Г2С
9.	Рабочее давление в термостабилизаторе, не более	МПа	0,4
10.	Масса термостабилизатора, не более	кг	5,5
11.	Хладагент		аммиак
12.	Масса хладагента	кг	0,05±0,01
13.	Защитное покрытие: ТНЦ 80-1 ГОСТ 9.304-87		



На схеме: 1 – утеплитель пенополистирол Экстрол,  $t = 100$  мм; 2 – каркас бака; 3 – термостабилизатор; 4 – пол морозильной камеры; 5 – датчик температуры воды; 6 – греющий кабель; 7 – полипропиленовые трубы

**Рисунок 1.** Схема экспериментального стенда (выполнено авторами)

Для проведения экспериментальных лабораторных исследований процессов промерзания-оттаивания грунтов в центральной научно-исследовательской лаборатории «Строительство на вечной мерзлоте» ФГБОУ ВО «ТИУ» авторами статьи разработан экспериментальный стенд, схема которого представлена на рисунке 1. Для изучения процессов промерзания грунтового основания с сезонно-действующим охлаждающим устройством в лабораторных условиях используется термостабилизатор производства ООО НПО «Фундаментстройаркос». Технические характеристики термостабилизатора приведены в таблице 1.

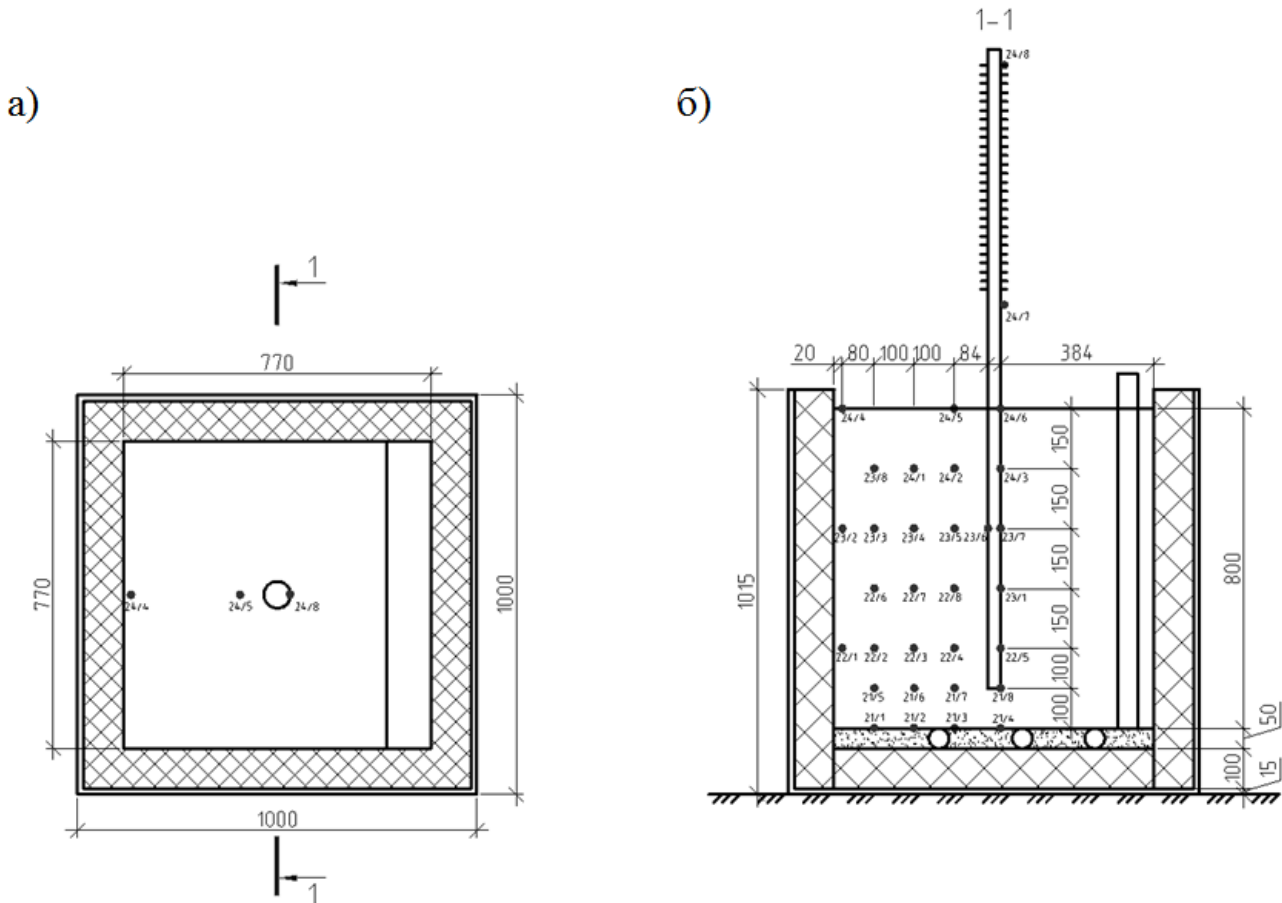
Экспериментальный стенд представляет собой грунтовый лоток с жесткими стенками и дном с габаритными размерами в плане 1000x1000 мм и высотой 1000 мм. Открытая система моделировалась посредством размещения перфорированных труб на дне лотка с установленным внутри труб греющим кабелем, поддерживающим положительную температуру воды. Для обеспечения одностороннего и плоскопараллельного промерзания, боковые поверхности и дно лотка оклеивались утеплителем Экстрол 35 толщиной 100 мм. Плотность и теплопроводность утеплителя соответственно равны  $\rho = 35 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,029 \text{ Вт/(м*К)}$ . Для исключения оттока грунтовой влаги на дно и боковые стенки лотка укладывался слой полиэтиленовой пленки. Общий вид экспериментального стенда до выполнения эксперимента в лабораторных условиях представлен на рисунке 2.



*Рисунок 2. Общий вид экспериментального стенда до выполнения эксперимента в лабораторных условиях (фото выполнено авторами)*

Для фиксации температуры грунта в экспериментальном стенде и температуры воздуха в морозильной камере используется измерительный комплекс ТЕРЕМ 4-1 с датчиками температуры грунта ДТС 1-1. Схема расстановки датчиков температуры в экспериментальном стенде представлена на рисунке 3.

Для фиксации перемещений грунтового основания в экспериментальном стенде используются индикаторы часового типа ИЧ-50 с ценой деления 0,01 мм на телескопической магнитной стойке.



На схеме: 21/1-24/8 – датчики температуры

**Рисунок 3.** Схема расстановки датчиков температуры: а – в плане, б – в разрезе (выполнено авторами)

При проведении эксперимента в качестве грунтового основания используется водонасыщенный суглинок нарушенной структуры со следующими физическими характеристиками: плотность сухого грунта  $\rho_d = 1508,7-1550,3 \text{ кг/м}^3$  и влажность  $W = 28-31 \%$ . Водонасыщенный суглинок послойно с уплотнением укладывался в лоток. Теплофизические характеристики грунта моделируемого основания приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

**Теплофизические характеристики грунта моделируемого основания**

$\lambda_f, \text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$	$\lambda_{th}, \text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$	$C_f, \text{кДж/(м}^3\text{}^\circ\text{C)}$	$C_{th}, \text{кДж/(м}^3\text{}^\circ\text{C)}$	$L_v, \text{МДж/м}^3$
1,80	1,59	2805,58	3332,68	84,83

Примечание:  $\lambda_f$  – теплопроводность грунта в мерзлом состоянии;  $\lambda_{th}$  – теплопроводность грунта в талом состоянии;  $C_f$  – удельная теплоемкость грунта в мерзлом состоянии;  $C_{th}$  – удельная теплоемкость грунта в талом состоянии;  $L_v$  – теплота таяния (замерзания) грунта (выполнена авторами)

Общий вид экспериментального стенда при проведении эксперимента в лабораторных условиях представлен на рисунке 4.





*Рисунок 4. Общий вид экспериментального стенда во время выполнения эксперимента в лабораторных условиях (фото выполнено авторами)*

Выводы:

1. Для проведения лабораторных экспериментальных исследований разработан универсальный экспериментальный стенд, позволяющий изучать процессы промерзания-оттаивания грунтов в лабораторных условиях.
2. Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях позволяет при минимальных затратах изучать процессы промерзания-оттаивания грунтового основания с устройством различных систем термостабилизации грунтов, а также совместную работу грунтового основания с конструкцией фундамента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов А.А. Охлаждение мерзлых оснований для повышения их прочности. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1989. – 201 с.
2. Павлов А.В. Расчет и регулирование мерзлотного режима почвы. – Новосибирск: Наука, 1980. – 240 с.
3. Теплофизика промерзающих и протаивающих грунтов / Под ред. Г.В. Порхаева. – М: Наука, 1964. – 197 с.
4. Горелик Я.Б., Колунин В.С. Физика и моделирование криогенных процессов в литосфере / Отв. ред. акад. В.П. Мальников. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2002. – 317 с.
5. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 448 с.
6. Горелик Я.Б. Расчет температурного поля грунта вокруг парожидкостной термосваи. Науч. техн. сб. «Проблемы нефти и газа Тюмени», вып. 47, 1980. с. 58–61.
7. Аникин Г.В., Поденко Л.С., Феклистов В.Н. Тепломассоперенос в вертикальном парожидкостном термосифоне. Криосфера земли, 2009, т. XIII, №3 с. 54–58.
8. Вялов С.С., Александров Ю.А., Миренбург Ю.С., Федосеев Ю.Г. Искусственное охлаждение грунтов с помощью термосвай. – В сб.: «Инженерное мерзлотоведение», Москва, 1979.
9. Long E.L. The Long thermopile. – Proc. Intern. Permafrost Conf. USA, 1965, p. 487–491.
10. Пиоро И.Л., Антоненко В.А., Пиоро Л.С. Эффективные теплообменники с двухфазными термосифонами. Киев, Наук. думка, 1991, 370 с.

**Zhaisambaev Erkn Askerovich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: zhaysambaeverkn@mail.ru

**Kraev Andrey Nikolaevich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: kraev-an@mail.ru

**Kraev Aleksey Nikolaevich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: kraev\_aln@mail.ru

**Vorontsov Vyacheslav Viktorovich**

Department of education of the administration of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: VoroncovVV@tyumen-city.ru

## **An experimental bench for studying the processes of freezing-thawing of soil in the laboratory**

**Abstract.** In the article, the authors consider the problem of building buildings and structures on permafrost soils, provides a brief overview of ways to preserve the frozen state of base soils. The analysis of scientific works devoted to the thermal interaction of an engineering structure with permafrost soils is given. Conducting full-scale experiments in the conditions of the spread of permafrost soils is a laborious and expensive undertaking, therefore, as part of the research, an experimental stand was developed that allows one to study the processes of freezing and thawing soils in laboratory conditions. The experimental stand is a soil tray with rigid walls and a bottom with overall dimensions in the plan of 1000x1000 mm and a height of 1000 mm. The open system was modeled by placing perforated pipes at the bottom of the tray with a heating cable installed inside the pipes, maintaining a positive water temperature. To ensure one-sided and plane-parallel freezing, the side surfaces and the bottom of the tray were glued with a heater. To fix the temperature of the soil in the experimental bench and the air temperature in the freezer, the TEREM 4-1 measuring complex with DTS 1-1 soil temperature sensors is used. To fix the movements of the soil base in the experimental bench, ICH-50 dial indicators with a division price of 0.01 mm on a telescopic magnetic stand are used. To study the processes of freezing thawing of soils, the authors propose a series of experimental studies on water-saturated loams in laboratory conditions. A description is given of an experimental bench with a model of a thermostabilizer for studying the processes of freezing-thawing of base soils in laboratory conditions, and a methodology for conducting experimental studies is described.

**Keywords:** perennially frozen soil; a seasonal-acting cooling device; thermal interaction; a freezing base-structure; a heat stabilizer; an experimental stand; a soil tray



## REFERENCES

1. Konovalov A.A. (1989). Okhlazhdenie merzlykh osnovaniy dlya povysheniya ikh prochnosti. [*Cooling frozen substrates to increase their strength.*] Krasnoyarsk: Publishing House of Krasnoyarsk University, p. 201.
2. Pavlov A.V. (1980). Raschet i regulirovanie merzlotnogo rezhima pochvy. [*Calculation and regulation of permafrost regime of soil.*] Novosibirsk: Science, p. 240.
3. Ed. by G.V. Porkhaev (1964). Teplofizika promerzayushchikh i protaivayushchikh gruntov. [*Thermophysics of freezing and thawing soils.*] Moscow: Science, p. 197.
4. Gorelik YA.B., Kolunin V.S. (2002). Fizika i modelirovanie kriogennykh protsessov v litosfere. Ed. by V.P. Mal'nikov. [*Physics and modeling of cryogenic processes in the lithosphere.*] Novosibirsk: Publishing House Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Branch "Geo", p. 317.
5. Tsytovich N.A. (1973). Mekhanika merzlykh gruntov. [*Frozen Mechanics.*] Moscow: Higher school, p. 448.
6. Gorelik Ya.B. (1980). Raschet temperaturnogo polya grunta vokrug parozhidkostnoy termosvai. [*Calculation of the temperature field of the soil around a vapor-liquid thermos pile.*] pp. 58–61.
7. Anikin G.V., Podenko L.S., Feklistov V.N. (2009). Heat and mass transfer in a vertical vapor-liquid thermosiphon. *Earth cryosphere*, 3(13), pp. 54–58 (in Russian).
8. Vyalov S.S., Aleksandrov Yu.A., Mirenburg Yu.S., Fedoseev Yu.G. (1979). Iskusstvennoe okhlazhdenie gruntov s pomoshch'yu termosvay. [*Artificial soil cooling with thermal piles.*] Moscow.
9. Long E.L. (1965). *The Long thermopile*. USA, pp. 487–491.
10. Pioro I.L., Antonenko V.A., Pioro L.S. (1991). Ehffektivnye teploobmenniki s dvukhfaznymi termosifonami. [*Efficient heat exchangers with two-phase thermosiphons.*] Kiev: Naukova Dumka, p. 370.