

Борис Владимирович ГРИГОРЬЕВ¹
Ульяна Юрьевна ШАСТУНОВА²
Юлия Фанилевна ЯНБИКОВА³

УДК 536.24.08

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНКИ СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА С ГОРЯЧИМ НЕФТЕПРОДУКТОМ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ*

¹ кандидат технических наук, заведующий
кафедрой экспериментальной физики и нанотехнологий,
Тюменский государственный университет
b.v.grigorev@utmn.ru

² старший преподаватель кафедры механики многофазных систем,
Тюменский государственный университет
u.y.shastunova@utmn.ru

³ инженер кафедры экспериментальной физики и нанотехнологий,
Тюменский государственный университет
y.f.yanbikova@utmn.ru

Аннотация

В статье изложены результаты экспериментального исследования изменения температуры внутренней стенки стального резервуара при разных режимах эксплуатации. Приведена схема экспериментальной установки и результаты измерений температуры стенки резервуара в области газового пространства и в области жидкости. Установка

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Благотворительного фонда В. Потанина (№ ГПК-86/17).

Цитирование: Григорьев Б. В. Экспериментальное исследование температуры стенки стального резервуара с горячим нефтепродуктом в зимнее время / Б. В. Григорьев, У. Ю. Шастунова, Ю. Ф. Янбикова // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2017. Том 3. № 3. С. 29-39.

DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-29-39

включает криокамеру, модель вертикального стального резервуара, датчики температуры, грунт и систему нагрева и перекачивания нефти.

Показано, что температура стенки резервуара в области газового пространства вблизи поверхности жидкости, после заполнения теплоносителем резервуара на 60% и выставления в течение 25 минут, близка к значению температуры газового пространства; на удалении от поверхности жидкости температура стенки ниже. Установлено, что в свободном пространстве резервуара наблюдается естественная конвекция газозвушной смеси. По этой причине происходит неравномерное прогревание внутренней поверхности стенки резервуара, из чего следует некорректность предположения о равенстве температуры внутренней стенки резервуара и температуры газового пространства.

Для описания тепловых режимов работы резервуара разработана физико-математическая модель и создана компьютерная программа для численного моделирования теплообмена между резервуаром и окружающей средой. В рамках модели приняты следующие допущения: в месте контакта грунта и металла задается граничное условие 1-го рода; за взаимодействие окружающей среды со стенкой отвечают граничные условия 2-го и 3-го рода; температура внешней стенки резервуара изменяется по косинусоидальному закону. Экспериментальные данные и результаты расчетов совпадают в пределах 0,7 °С, или 2%, что говорит о корректной постановке численного решения.

Ключевые слова

Стальной резервуар, мерзлый грунт, теплообмен, экспериментальная установка, экспериментальные исследования, численное решение, прочность металлоконструкций.

DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-29-39

Введение

Эксплуатируемые месторождения нефти на территории Западной Сибири расcредоточены от 58-го градуса северной широты до побережья Карского моря. По этой причине одни и те же металлоконструкции эксплуатируются в совершенно разных температурных условиях в течение года [1, 11]. Сезонные колебания температур окружающего воздуха, в зависимости от местности, достигают 40 °С и более; суточные колебания температуры, проходящие через 0 °С, могут продолжаться более двух месяцев в течение года. Перечисленные факторы отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики металлоконструкций, среди которых особое место занимают резервуары хранения нефти. Обладая расчетным запасом прочности, они требуют постоянного мониторинга технического состояния, так как испытывают непрерывное двухстороннее термобарическое воздействие на стенки, а также нелинейно возрастающую степень коррозионного износа поверхностей. Нарушение герметичности стенки резервуара приводит к масштабным экологическим проблемам и финансовым потерям. Все перечисленное актуализирует экспериментальные исследования в этой области для корректного построения физических моделей описания процессов взаимодействия резервуара с внешней и внутренней средой.

Стальная стенка резервуара с одной стороны подвергается термическому воздействию закачиваемого теплоносителя — нефти, а с другой стороны — влиянию низких отрицательных температур и движения воздушных потоков. В связи с высоким коэффициентом теплопроводности стали стенка резервуара вынуждена то нагреваться, то резко остывать при разных статических (выстаивание) и динамических (закачка, выкачка) нагрузках. Все это оказывает большое влияние на износ сварных швов стальной стенки и ее быстрое разрушение. Знание температуры стенки резервуаров необходимо для установления температурного перепада в конструктивных элементах при расчете их на прочность и трещиностойкость.

Экспериментальное исследование направлено на получение достоверной информации о температуре внутренней стенки резервуара для численного моделирования процессов устойчивости резервуаров в условиях хранения жидкостей разных температур (воды, нефти и нефтепродуктов и т. д.) [8].

Изменение средней температуры среды со стороны внутренней стенки резервуара описывается в источниках [3, 6, 7] следующим образом: температура «горячего» продукта в начале режима закачки в зимнее время резко падает, так как все тепло уходит на нагрев большой массы стали: масса резервуара РВС — 20 000 составляет 432,74 т [5]. После того, как дно и стенка 1-го пояса резервуара нагреваются до температуры, равной входящей температуре теплоносителя, температура жидкой среды остается постоянной.

В режиме выстаивания «горячего» теплоносителя в резервуарах температура среды уменьшается по экспоненциальной зависимости [9].

Изменение температуры «горячего» теплоносителя внутри резервуара со временем при разных режимах эксплуатации резервуаров можно подробно рассмотреть в источниках [6, 7].

Что касается температуры газового пространства, то здесь температура в режиме закачки быстро увеличивается, однако, когда температура нефти достигает максимального значения, температура газового пространства продолжает увеличиваться в течение 15-20 минут, и лишь затем начинает постепенно уменьшаться, что объясняется сложной картиной конвективных потоков газа внутри резервуара [8]. Поэтому при численных расчетах температурного поля мерзлого грунта под резервуарами и иными инженерными сооружениями в точке соприкосновения грунта и конструкции можно задавать граничное условие 1-го рода, а не рассматривать тепловой поток, уходящий в мерзлый грунт, и взаимодействие окружающей среды со стенкой (граничные условия 2-го и 3-го рода). При этом температура внешней стенки резервуара изменяется по известному косинусоидальному закону [4].

Экспериментальная часть

Для получения экспериментальных данных о температуре внутренней стенки стального резервуара была создана экспериментальная установка (рис. 1), включающая в себя следующие элементы: климатическую камеру (2), деревянный лоток (11) с теплоизоляцией (10), модель резервуара вертикального стального

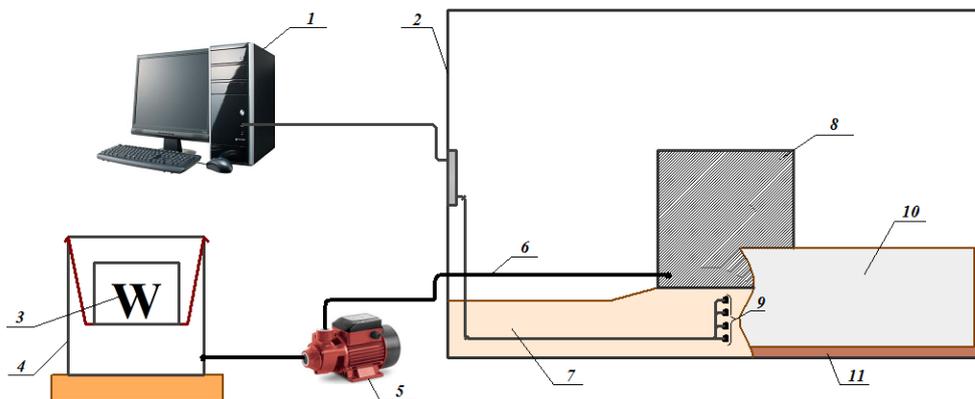


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — персональный компьютер; 2 — климатическая камера; 3 — нагревательный элемент; 4 — емкость для нагрева нефти; 5 — насос; 6 — шланг для перекачки нефти; 7 — грунт; 8 — модель резервуара вертикального стального; 9 — датчики измерения температуры; 10 — теплоизоляция рабочей области; 11 — деревянный лоток

Fig. 1. The scheme of the experimental setup: 1 — personal computer; 2 — climate chamber; 3 — heating element; 4 — tank for oil heating; 5 — pump; 6 — hose for oil pumping; 7 — soil; 8 — model of steel vertical tank; 9 — temperature sensors; 10 — insulation of the working space; 11 — wooden tray

(РВС) (8), насос (5), систему нагрева (3, 4) и автоматизированную систему измерения температуры в грунте и резервуаре (1, 9).

Модель резервуара представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд диаметром 520 мм и высотой 400 мм, выполненный из нержавеющей стали, толщина стенки 3 мм [10].

Для измерения температуры внутренней стенки модельного резервуара были установлены температурные датчики на разной высоте: 10 мм (датчик DS28_055), 100 мм (датчик DS28_049), 210 мм (датчик DS28_053), 335 мм (датчик DS28_054). Также температурные датчики измеряли температуру на входе в резервуар, температуру газового пространства и воздуха в климатической камере. Температурный датчик, который измерял температуру свободного газового пространства, располагался по центру резервуара на расстоянии 20 мм от поверхности крышки.

Максимальное отклонение показаний датчиков в пределах проводимого эксперимента составляло менее 0,5 °С.

Нагрев нефти осуществлялся в системе коаксиальных сосудов: внутри емкости с нефтью располагалась емкость с водой, в которой находился нагревательный элемент.

Последовательность проведения эксперимента:

1. Внутри климатической камеры устанавливается необходимый температурный режим. Камера охлаждает воздух вокруг резервуара до необходимого значения. При проведении эксперимента средняя температура воздуха внутри камеры равна $-7,36$ °С.

2. Включается нагревательный прибор, и нефть разогревается до заданной температуры. Объем разогреваемой нефти составляет 60% от объема резервуара (около 50 л). Средняя температура горячего теплоносителя равна 33 °С (датчик DS28_036 установлен во входном патрубке резервуара).

3. Когда температуры нефти и окружающей среды достигают заданных значений ($30 \div 35$ °С и $-7,0 \div -7,5$ °С соответственно), начинается закачка нефти в резервуар со скоростью 6 м/с. Открывается задвижка, включается насос, и резервуар заполняется до 1-й отметки (60% от высоты резервуара).

4. После заполнения до необходимой высоты насос отключается и перекрывается задвижка.

5. Наблюдается этап выстаивания резервуара (показания снимаются в течение 25 минут).

Результаты эксперимента

При проведении серии экспериментов были получены следующие результаты. Согласно данным эксперимента, спустя 3 минуты три первых датчика (DS28_055, DS28_049, DS28_053) были скрыты горячим теплоносителем и показывали температуру стенки в области жидкости, а датчик DS28_054 показывал температуру стенки в области газового пространства.

При анализе данных по этим датчикам можно сделать вывод о том, что температура стенки в области жидкости равна температуре горячего теплоносителя (с учетом погрешности температурного датчика 0,5 °С). Данные в таблицах 1, 2 выборочные.

Что касается сравнения значений датчиков температуры газового пространства и стенки на высоте 335 мм, то можно сделать вывод о том, что температура стенки в области газового пространства меньше температуры среды в резервуаре в области свободного пространства. Разность температур представлена в таблице 3 (данные в таблице выборочные).

Из полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что в области газового пространства вблизи поверхности жидкости температура стенок близка к значению температуры газового пространства и даже может его превысить. Вдали от поверхности жидкости температура стенок ниже.

Это говорит о том, что в свободном пространстве резервуара происходит свободное движение газовой смеси (наблюдается естественная конвекция). Благодаря этому происходит разное прогревание поверхности внутренней стенки резервуара, следовательно, нельзя при тепловых расчетах руководствоваться общим представлением о том, что температура внутренней стенки резервуара равна температуре газового пространства и тем более температуре окружающей среды.

Расчетная часть

Для сопоставления полученных экспериментальных данных была создана компьютерная программа, которая описывает возможные тепловые режимы работы резервуара. Система уравнений, лежащая в основе этой программы, подробно описана в статье [8].

Таблица 1

Экспериментальные значения температуры внутренней стенки резервуара в области жидкости при режиме закачки, °С

Table 1

The experimental values of the temperature variation of the inner wall of a steel tank in the liquid region under filling conditions, °С

Время проведения эксперимента, мин	Экспериментальные значения температуры внутренней стенки резервуара в области жидкости				Расчетные данные температуры на высоте		
	Вход в резервуар	h = 10 мм	h = 100 мм	h = 210 мм	h = 10 мм	h = 100 мм	h = 210 мм
1	(36,63±0,5)	(36,8±0,5)	(36,9±0,5)	(36,4±0,5)	(36,3±0,5)	(36,8±0,5)	(37,0±0,5)
2	(36,50±0,5)	(36,4±0,5)	(36,6±0,5)	(36,1±0,5)	(37,0±0,5)	(36,1±0,5)	(36,1±0,5)
3	(36,31±0,5)	(36,3±0,5)	(36,4±0,5)	(36,1±0,5)	(36,1±0,5)	(35,8±0,5)	(36,8±0,5)

Таблица 2

Экспериментальные значения температуры внутренней стенки резервуара в области жидкости при режиме выстаивания, °С

Table 2

The experimental values of the temperature variation of the inner wall of a steel tank in the liquid region under standing conditions, °С

Время проведения эксперимента, мин	Экспериментальные значения температуры внутренней стенки резервуара в области жидкости				Расчетные данные температуры на высоте		
	Вход в резервуар	h = 10 мм	h = 100 мм	h = 210 мм	h = 10 мм	h = 100 мм	h = 210 мм
0	(31,6±0,5)	(31,6±0,5)	(32,4±0,5)	(30,0±0,5)	(31,2±0,5)	(33,0±0,5)	(30,1±0,5)
20	(30,9±0,5)	(30,7±0,5)	(32,4±0,5)	(27,9±0,5)	(30,2±0,5)	(32,4±0,5)	(28,5±0,5)
35	(30,1±0,5)	(30,1±0,5)	(32,3±0,5)	(26,8±0,5)	(28,8±0,5)	(32,4±0,5)	(26,8±0,5)

Таблица 3

Экспериментальные значения температуры внутренней стенки резервуара в области газового пространства во время режима выстаивания, °С

Table 3

The experimental values of the temperature variation of the inner wall of a steel tank in the region of gas space under standing conditions, °С

DS28_034	DS28_054	Разность показаний
Газовое пространство	h = 335 мм	$\Delta t = t_{\text{в.п.}} - t_{\text{ст}}$
(29,2±0,5)	(17,7±0,5)	(11,5±0,5)
(28,4±0,5)	(18,6±0,5)	(9,8±0,5)
(27,6±0,5)	(18,0±0,5)	(9,6±0,5)
(22,4±0,5)	(12,6±0,5)	(9,8±0,5)
(19,7±0,5)	(9,4±0,5)	(10,3±0,5)

Для расчетов температуры внутренней стенки резервуара в области жидкости воспользуемся следующими соображениями: зная количество теплоты, которое приходит с горячим теплоносителем, и значение температуры среды, изменяющееся со временем, можно найти более точное значение температуры стенки стального резервуара. На основе этого можно записать следующее уравнение теплового баланса:

$$Q = C_l \cdot m_l \cdot (T_{in} - T_l) \cdot \tau = \alpha \cdot S \cdot (T_l - T_w) \quad (1)$$

где C_l — теплоемкость «горячего» теплоносителя, Дж/(кг·град); m_l — масса «горячего» теплоносителя, кг; T_{in} — температура «горячего» теплоносителя на входе в резервуар, °С; T_l — температура «горячего» теплоносителя через время эксплуатации резервуара τ [сек], °С; α — коэффициент теплообмена, Вт/(м²·град); S — площадь поверхности, м²; T_w — температура стенки, °С.

Из уравнения теплового баланса следует выражение для определения температуры стенки резервуара:

$$T_w = T_l - \frac{C_l \cdot m_l \cdot (T_{in} - T_l)}{\alpha \cdot S} \quad (2)$$

Методика определения коэффициента теплообмена приведена в статье [2]. Составлена программа численного моделирования для данной задачи и выполнены предварительные расчеты, результаты которых находятся в удовлетворительном согласии с результатами эксперимента (таблицы 1, 2).

Выводы

1. Экспериментально установлено, что в результате естественной конвекции температура газового пространства внутри резервуара может существенно (на 10 °С и более) отличаться от температуры внутренней поверхности стенки резервуара.

- ра, поэтому при расчетах тепловых режимов работы резервуара некорректно использовать предположение о равенстве этих температур.
2. Для моделирования процесса теплообмена следует в месте контакта грунта и металла задавать граничное условие 1-го рода; взаимодействие окружающей среды со стенкой описывать граничными условиями 2-го и 3-го рода; переменную температуру внешней стенки резервуара задавать косинусоидальным законом.
 3. Результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными в пределах 2%, что говорит о корректной постановке численного решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникин Г. В. Вычисление распределений температуры в грунте, охлаждаемом системой «ГЕТ», методом стохастического прогнозирования / Г. В. Аникин, К. А. Спасенникова, С. Н. Плотников, Б. В. Григорьев, П. Ю. Михайлов // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. № 4. С. 23-28.
2. Бахмат Г. В. Методика расчета теплового режима резервуара типа РВС в зимнее время во время эксплуатации / Г. В. Бахмат, А. А. Кислицын, У. Ю. Шастунова // Материалы Международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной 20-летию создания ООО НПО «Фундаментстрой-аркос». Тюмень: Сити-Пресс, 2011. С. 301-306.
3. Бахмат Г. В. Тепловой режим гидравлических испытаний резервуара вертикального стального объемом 20 000 м³ / Г. В. Бахмат, А. А. Кислицын, У. Ю. Шастунова // Вестник Тюменского государственного университета. 2011. № 7. С. 64-72.
4. Кислицын А. А. Основы теплофизики / А. А. Кислицын. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2002. 152 с.
5. РВС — 20 000 м³ (резервуар вертикальный стальной). URL: http://gazovik-neft.ru/catalogue/04/pjc_20000
6. Тугунов П. И. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов / П. И. Тугунов, В. Ф. Новоселов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. 658 с.
7. Хранение нефти и нефтепродуктов: учебное пособие / под общ. ред. Ю. Д. Земенкова. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. нефтегазового ун-та, 2002. 550 с.
8. Шастунова У. Ю. Физико-математическое моделирование теплового режима резервуара в зимнее время / У. Ю. Шастунова, Д. А. Дмитриевская // Материалы IX Школы-семинара молодых ученых «Теплофизика, теплотехника, гидрогазодинамика. Инновационные технологии». Тюмень, 2016. С. 236-242.
9. Шастунова У. Ю. Методика расчета теплового воздействия горячего резервуара на мерзлый грунт / У. Ю. Шастунова, Ю. Ф. Янбикова // Наука сегодня: в 4 ч. Вологда: Маркер, 2015. Ч. 1. С. 80-83.
10. Шастунова У. Ю. Расчетно-экспериментальное исследование процессов протаивания и систем термостабилизации мерзлого грунта под резервуаром для отстаивания нефти / У. Ю. Шастунова, Ю. Ф. Янбикова // Теплофизика, теплотехника, гидрогазодинамика. Инновационные технологии. 2016. С. 191-199.
11. Anikin G. V. The Calculation of Temperature Field in Soils under the Base of Oil Reservoir at Varandey Oil Field / G. V. Anikin, B. V. Grigoriev, K. A. Spasennikova, Y. F. Yanbikova // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106. 02005.

Boris V. GRIGORIEV¹
Ulyana Yu. SHASTUNOVA²
Uylya F. YANBIKOVA³

EXPERIMENTAL RESEARCH OF TEMPERATURE OF STEEL TANK'S WALL WITH HOT OIL IN WINTER*

¹ Cand. Sci. (Tech.), Head of Experimental Physics
and Nanotechnology Department, University of Tyumen
b.v.grigorev@utmn.ru

² Senior Lecturer, Department of Mechanic Multiphase Systems,
University of Tyumen
u.y.shastunova@utmn.ru

³ Engineer, Department of Experimental Physics and Nanotechnology,
University of Tyumen
y.f.yanbikova@utmn.ru

Abstract

This article presents the results of an experimental study of the temperature variation of the inner wall of a steel tank under different operating conditions. The authors provide the scheme of the experimental setup and the results of measurements of the wall temperature of the reservoir in the gas and liquid regions. The setup includes a cryocamera, a model of a vertical steel tank, soil temperature sensors and a system for heating and pumping oil.

It has been shown that the temperature of the reservoir wall in the region of the gas space near the surface of the liquid, after filling with the coolant of the reservoir by 60% and standing for 25 minutes, is close to the value of the gas space temperature; at a distance from the surface of the liquid the wall temperature is lower. It has been established that natural convection of the gas-air mixture is observed in the free space of the reservoir. For this reason, the internal surface of the tank wall is unevenly heated, which implies that the assumption of the equality of temperature of the inner wall of the reservoir and the temperature of the gas space is incorrect.

* The research was supported by the Vladimir Potanin Foundation's grant (no GPK-86/17).

Citation: Grigoriev B. V., Shastunova U. Yu., Yanbikova U. F. 2017. "Experimental Research of Temperature of Steel Tank's Wall with Hot Oil in Winter". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 3, no 3, pp. 29-39.
DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-29-39

To describe the thermal operating conditions of the reservoir, a physical-mathematical model has been developed and a computer program has been created to simulate the heat exchange between the reservoir and the environment numerically. Within the framework of the model, the following assumptions are made: a boundary condition of the first kind is given at the point of contact between the soil and the metal; for the interaction of the environment with the wall there correspond boundary conditions of the 2nd and 3rd kinds; the temperature of the outer wall of the reservoir varies according to the cosine law.

Based on the results of the performed research, the comparison of the experimental and calculated data is within 0.7 °C or 2%, which indicates a correct formulation of the numerical solution.

Keywords

Steel tank, frozen soil, heat exchange, experimental setup, experimental investigations, numerical solution, durability of metal structures.

DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-29-39

REFERENCES

1. Anikin G. V., Spasennikova K. A., Plotnikov S. N., Grigoriev B. V., Mihaylov P. Yu. 2017. "Vyichislenie raspredeleniy temperatury v grunte, ohlazhdaemom sistemoy 'GET', metodom stohasticheskogo prognozirovaniya" [Calculation of Temperature Distributions in a Soil Cooled by the "GET" System Using the Stochastic Prediction Method]. *Kriosfera Zemli*, vol. 21, no 4, pp. 23-28.
2. Bahmat G. V., Kislitsyin A. A., Shastunova U. Yu. 2011. "Metodika rascheta teplovogo rezhima rezervuara tipa RVS v zimnee vremya vo vremya ekspluatatsii" [Method for Calculating the Thermal Regime of a Reservoir of the RVS Type in Winter during Operation]. Proceedings of the international Research Conference on Engineering Permafrost, dedicated to the 20th Anniversary of "Fundamentstroyarkos" foundation, pp. 301-306. Tyumen: Siti-Press.
3. Bahmat G. V., Kislitsyin A. A., Shastunova U. Yu. 2011. "Teplovoy rezhim gidravlicheskih ispytaniy rezervuara vertikalnogo stalnogo ob'emom 20 000 m³" [The Thermal Regime of Hydraulic Tests of a Vertical Steel Tank with a Volume of 20,000 m³]. *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*, no 7, pp. 64-72.
4. Kislitsyin A. A. 2002. *Osnovy teplofiziki* [Foundations of Thermal Physics]. Tyumen: Tyumen State University Publishing House.
5. RVS — 20 000 m³ (rezervuar vertikalnyiy stalnoy) [RVS — 20,000 m³ (Steel Vertical Tank)].: http://gazovik-neft.ru/catalogue/04/pjc_20000
6. Tugunov P. I., Novoselov V. F., Korshak A. A., Shammazov A. M. 2002. *Tipovyye raschety pri proektirovani i ekspluatatsii neftebaz i nefteprovodov* [Typical Calculations for the Design and Operation of Oil Depots and Oil Pipelines]. Ufa: DizaynPoligrafServis.
7. Zemenkov Yu. D. (ed.). 2002. *Hranenie nefi i nefteproduktov: Uchebnoe posobie* [Manual for Storing of Oil and Petroleum Products]. Tyumen: Tyumen State University Publishing House.

8. Shastunova U. Yu., Dmitrievskaya D. A. 2016. "Fiziko-matematicheskoe modelirovanie teplovogo rezhima rezervuara v zimnee vremya" [Physical and Mathematical Modeling of the Thermal Regime of the Reservoir in Winter]. Proceedings of the 9th Workshop for young Researchers "Teplofizika, teplotekhnika, gidrogazodinamika. Innovatsionnyie tehnologii" [Thermophysics, Heat Engineering, Hydro-Gas Dynamics. Innovative Technologies], pp. 236-242. Tyumen.
9. Shastunova U. Yu., Yanbikova Yu. F. 2015. "Metodika rascheta teplovogo vozdeystviya goryachego rezervuara na merzlyiy grunt" [Calculation of the Thermal Effect of a Hot Reservoir on Frozen Soil]. In: Nauka segodnya [Science today] in 4 vols. Vol. 1, pp. 80-83. Vologda: Marker.
10. Shastunova U. Yu., Yanbikova Yu. F. 2016. "Raschetno-eksperimentalnoe issledovanie protsessov protaivaniya i sistem termostabilizatsii merzlogo grunta pod rezervurom dlya otstaivaniya nefi" [Computational and Experimental Study of Thawing Processes and Systems of Thermal Stabilization of Frozen Ground under a Reservoir for Oil Upholding]. Proceedings of the 9th Workshop for young Researchers "Teplofizika, teplotekhnika, gidrogazodinamika. Innovatsionnyie tehnologii" [Thermophysics, Heat Engineering, Hydro-Gas Dynamics. Innovative Technologies], pp. 191-199.
11. Anikin G. V., Grigoriev B. V., Spasennikova K. A., Yanbikova Yu. F. 2017. "The Calculation of Temperature Field in Soils under the Base of Oil Reservoir at Varandey Oil Field". MATEC Web of Conferences, no 106. 02005.