

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООБМЕНА ВИТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА В ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЕ

А.А. Александров¹

rector@bmstu.ru

И.В. Бармин^{1,2}

barmin@bmstu.ru

С.К. Павлов¹

kafsm8@bmstu.ru

В.В. Чугунков¹

chvbmstu@bmstu.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

² ЦЭНКИ, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Применительно к операции охлаждения углеводородного горючего ракет-носителей рассмотрена технология эксперимента и приведены результаты исследований одного из основных параметров теплообменных устройств — коэффициента теплоотдачи для теплообменной поверхности. Представлена модель эффективной технологии охлаждения углеводородного горючего путем интенсификации теплообмена на наружной поверхности теплообменника за счет активного движения жидкости, вызванного барботажем азота в среде жидкого теплоносителя. Получены количественные данные о теплоотдаче на наружной поверхности витого теплообменника, находящегося в двухфазной среде антифриз–азот в температурном диапазоне 243...293 К. Выведено критериальное уравнение для расчета коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности теплообменника, необходимое при проведении расчетов теплопередачи от углеводородного горючего к двухфазной среде антифриз–азот, и нахождения площади теплообменной поверхности теплообменного аппарата

Ключевые слова

Теплообмен, витой теплообменник, антифриз, жидкий азот, барботаж, двухфазная среда, характеристики теплоотдачи

Поступила 15.11.2018

© Автор(ы), 2019

Введение. Операция охлаждения углеводородного топлива применяется в космических ракетных комплексах для увеличения плотности топлива и повышения эффективности двигательных установок ракет космического назначения. Во многих случаях операция охлаждения компонентов ракетного топлива (КРТ) проводится с применением жидкого азота [1–3], являющегося наиболее доступным хладагентом в условиях космодронов, где жидкий азот производится на азотно-кислородных заводах.

При этом в теплообменных аппаратах в качестве теплоносителя используется либо непосредственно жидкий азот [4, 5], либо антифриз, охлаждаемый в отдельном резервуаре при барботаже жидким азотом [1, 6, 7]. Процессы взаимодействия жидкого азота с жидкими средами рассмотрены в работах [8–10], а результаты исследования тепломассообмена при сбросе криогенных продуктов в воду в работе [11].

Проблемными вопросами охлаждения жидких сред в теплообменниках жидким азотом, претерпевающим фазовый переход жидкость–газ на весьма низком температурном уровне (77...80 К в зависимости от давления в полости теплообменника при кипении азота), являются возможность кристаллизации охлаждаемой жидкости на поверхностях теплообменника и недоиспользование охлаждающей способности испаряющегося азота вследствие ограничений скорости его течения в каналах теплообменника [4]. Это приводит к повышенному расходу жидкого азота на проведение операции охлаждения топлива.

Варианты охлаждения КРТ в теплообменнике при теплообмене с антифризом, охлаждаемым с помощью ввода в него в специальном резервуаре диспергированного жидкого азота, предусматривают применение двух контуров циркуляции через теплообменник топлива и антифриза при использовании двух насосов [1, 6, 7]. Однако при работе насосов происходит выделение теплоты, что также приводит к повышенным расходам жидкого азота на операцию охлаждения КРТ.

Построение одноконтурной системы охлаждения КРТ в теплообменнике [11, 12], размещенном в резервуаре с антифризом, охлаждаемым при барботаже жидким азотом, в которой используется только один насос, применимо для любых КРТ и обладает большей эффективностью по относительным затратам жидкого азота и времени операции подготовки в сравнении с существующими системами, в которых применяется охлаждение топлива с использованием жидкого азота и теплообменника.

Цель работы — повышение эффективности и исследование процессов тепломассообмена на поверхности витого теплообменника, находящегося в жидкой среде при барботаже жидким азотом, с использованием теплообменника для операции охлаждения жидкого углеводородного горючего.

Для проектирования и эксплуатации одноконтурной системы охлаждения КРТ требуются данные о параметрах теплоотдачи на наружной поверхности теплообменника при активном движении жидкости, вызванном процессами взаимодействия диспергированного жидкого азота с жидкой средой, в которой находится теплообменник. Ввиду отсутствия таких данных разработана технология экспериментальных исследований,

на основе которой получены результаты о параметрах протекающих процессов, обобщенные в виде критериального уравнения для безразмерного коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности витого теплообменника, находящегося в двухфазной среде антифриз–азот в диапазоне значений температуры 243...293 К. Такие данные необходимы для проведения расчетов теплопередачи от топлива к двухфазной среде антифриз–азот и определения площади теплообменной поверхности.

Экспериментальная установка. Разработанная экспериментальная установка является физической моделью системы температурной подготовки КРТ и позволяет реализовать режимы охлаждения, нагрева и поддержания температуры КРТ в требуемом температурном диапазоне. Процесс охлаждения топлива осуществляется в витом теплообменнике, находящемся в резервуаре с антифризом, охлаждаемом при барботаже жидким азотом, а режим нагрева — трубчатый электрическим нагревателем (ТЭН), также размещенным в резервуаре с антифризом. Теплообменник выполнен из трубы с наружным диаметром 24 мм и толщиной стенки 1 мм. Материал трубы — коррозионно-стойкая сталь.

Экспериментальная установка (рис. 1) включает в себя теплоизолированные резервуары с КРТ 1 и антифризом 5, датчики 4 измерительной системы, запорно-регулирующую арматуру 18, вытеснительный стакан 15, соединительные, сливные и дренажные трубопроводы 2, 3 и 19 соответственно, витой теплообменник 14, ТЭН 12, барботер 13, два циркуляционных насоса основного и вспомогательного контуров 11 и 17, запорный штуцер 16, напорную магистраль подачи жидкого азота 6, соединительный металлорукав 7, криогенную емкость с жидким азотом 8, платформенные весы 10 с весоизмерительным терминалом 9.

Принцип работы установки следующий. Перед проведением экспериментов емкость 1 была заполнена топливом ТС-1 массой 100 кг, а резервуар 5 — антифризом А-65 с начальной массой 75 кг. Емкость с жидким азотом установлена на платформенные весы, с помощью которых измерялся ее вес до и после заполнения жидким азотом, а также в процессе проведения экспериментов. При открытии запорных вентилей на емкости с жидким азотом и дренажном трубопроводе резервуара с антифризом осуществлялась подача жидкого азота через барботер в нижнюю часть резервуара 5 в среду антифриза, что обеспечивало его охлаждение. Образующийся при этом газообразный азот, двигаясь к поверхности антифриза, приводил к активному движению антифриза в пространстве, где размещен витой теплообменник между внутренней поверхностью резервуара 5 и наружной поверхностью стакана. При включении насоса 11

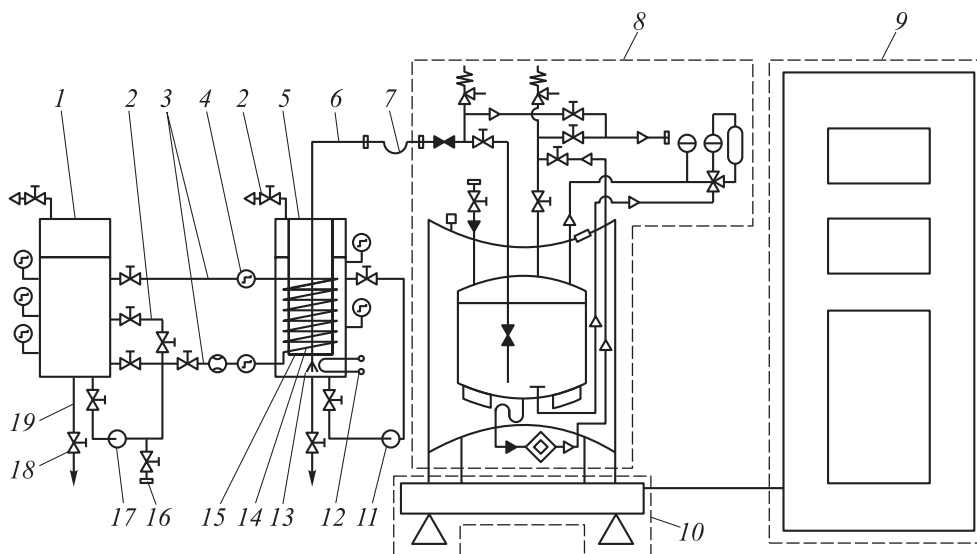


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования процессов теплообмена при температурной подготовке КРТ с использованием жидкого азота:

1 — резервуар с КРТ; 2, 3, 19 — соединительные, сливные и дренажные трубопроводы; 4 — датчики системы измерения температуры и расхода КРТ; 5 — резервуар с антифризом; 6 — магистраль подачи жидкого азота; 7 — металлорукав; 8 — емкость с жидким азотом; 9 — весоизмерительный терминал; 10 — платформенные весы; 11 — насос контура циркуляции антифриза; 12 — ТЭН; 13 — барботер; 14 — витой теплообменник; 15 — вытеснительный стакан; 16 — сливной штуцер; 17 — насос контура циркуляции КРТ; 18 — запорно-регулирующая арматура

контура циркуляции КРТ через теплообменник происходит охлаждение топлива от начальных значений температуры 293...296 К до конечных значений 243...260 К.

В процессе экспериментов проводилось измерение температуры среды антифриз–азот в резервуаре 5, КРТ на входе и выходе из теплообменника и в емкости 1, азота в дренажном трубопроводе, а также воздуха в лаборатории. Одновременно выполнялись измерения объемного расхода КРТ через теплообменник, который изменялся при проведении серий экспериментов в диапазоне значений 0,15...0,25 л/с, времени от начала эксперимента и изменяющегося веса криогенной емкости с жидким азотом, что требовалось для определения массового расхода азота, подаваемого в барботер. Массовый расход жидкого азота при подаче в резервуар с антифризом варьировался в пределах 0,007...0,011 кг/с. При проведении экспериментов проводилось измерение массы антифриза, выведенного в дренажную магистраль с газообразным азотом, что позволяло

определять значения массы антифриза, находящегося в резервуаре 5 в текущем эксперименте. Все измерения и их последующая обработка проводились с использованием информационно-измерительной системы экспериментальной установки с привязкой к единой временной шкале.

Средний по наружной поверхности теплообменника коэффициент теплоотдачи рассчитывался по отношению теплового потока, передаваемого от КРТ в теплообменнике к двухфазной среде антифриз–азот, к площади наружной поверхности теплообменника и разности средних значений температуры на поверхности теплообменника и температуры среды антифриз–азот. По проведенным оценкам среднеквадратичная погрешность определения характеристик теплоотдачи в экспериментальной установке не превышает 14,7 %.

После окончания эксперимента по охлаждению КРТ при включении ТЭН и насоса 17 проводился нагрев топлива до температуры воздуха в лаборатории, после чего повторялся процесс охлаждения при новых параметрах подачи КРТ в теплообменник и жидкого азота в резервуар с антифризом.

Результаты исследований. В процессе проведения экспериментальных исследований определялись значения среднего по поверхности теплообменника коэффициента теплоотдачи α в зависимости от температуры среды антифриз–азот (рис. 2), которые далее использовались для анализа и определения критериального уравнения в целях обобщения полученных экспериментальных данных.

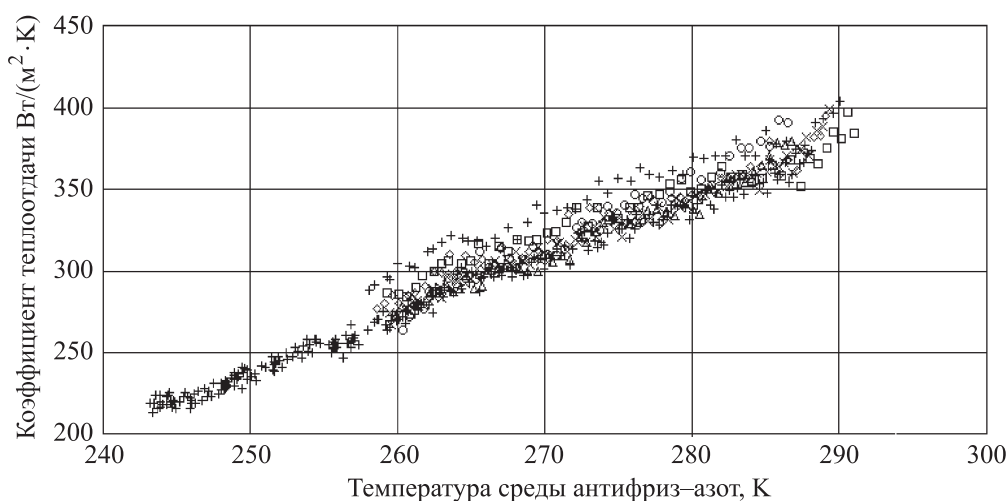


Рис. 2. Экспериментальные данные по определению среднего коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности теплообменника, находящегося в среде антифриз–азот

Теплообмен между внешней поверхностью теплообменника и двухфазной средой антифриз–азот при барботаже антифриза жидким азотом реализуется за счет конвекции. Для описания характеристик конвективной теплоотдачи при обобщении результатов экспериментов использован критерий Нуссельта $Nu = \alpha d / \lambda_a$, при определении которого за характерный размер принят наружный диаметр d трубы витого теплообменника, а коэффициент теплопроводности λ_a определялся по теплопроводности антифриза при соответствующей температуре среды антифриз–азот T_a , измеряемой в экспериментах.

Анализ результатов экспериментов выявил зависимость числа Нуссельта Nu от двух безразмерных параметров, одним из которых является число Рэлея

$$Ra = g\beta_a (T_{ст} - T_a) d^3 / (v_a a_a),$$

где g — ускорение свободного падения; β_a , v_a , a_a — температурный коэффициент объемного расширения, коэффициенты кинематической вязкости и температуропроводности антифриза соответственно; $T_{ст}$ — средняя температура стенки теплообменника, измеряемая в экспериментах. Диапазон изменения числа Рэлея при проведении экспериментов $1,42 \cdot 10^4 - 2,25 \cdot 10^5$.

Другим безразмерным параметром, влияющим на значения числа Нуссельта Nu , является отношение объема антифриза к объему газообразного азота в резервуаре с теплообменником V_a / V_r . Отношение объемов в экспериментах изменялось в пределах 1,74–2,37.

Следует отметить, что для рассмотренных в экспериментах диапазонов изменения чисел Ra и отношения V_a / V_r изменение экспериментальных значений числа Nu происходит практически в равной степени от данных параметров. Это обстоятельство позволило искать критериальное уравнение для определения числа Нуссельта в виде функции, зависящей от произведения числа Ra и отношения V_a / V_r . Зависимость среднего числа Nu от безразмерного параметра $Ra(V_a / V_r)$, полученная в результате обработки экспериментальных данных по теплоотдаче к двухфазной среде антифриз–азот на поверхности витого теплообменника при барботаже антифриза жидким азотом, приведена на рис. 3.

В результате проведенного анализа экспериментальных данных по теплоотдаче получено критериальное уравнение для расчета числа Нуссельта:

$$Nu = 2,2 \left(Ra (V_a / V_r) \right)^{0,2}.$$

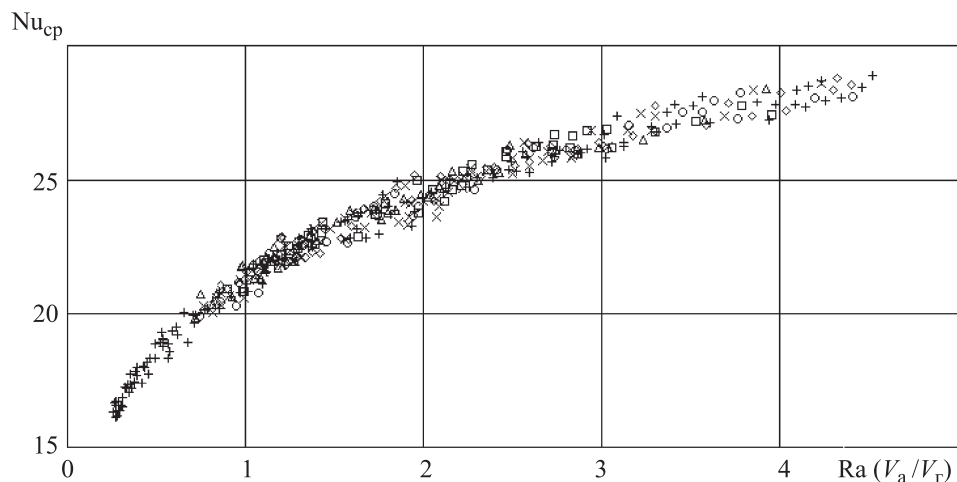


Рис. 3. Зависимость среднего числа Nu от безразмерного параметра $Ra (V_a / V_r)$, полученная в результате обработки экспериментальных данных по теплоотдаче к двухфазной среде антифриз–азот на поверхности витого теплообменника при барботаже антифриза жидким азотом

Это уравнение описывает результаты экспериментов в диапазоне определяющего параметра $2,5 \cdot 10^4 \leq Ra(V_a / V_r) \leq 4,6 \cdot 10^5$ с доверительным интервалом $\pm 6\%$ и позволяет определять данные по теплоотдаче к двухфазной среде антифриз–азот на поверхности витого теплообменника при барботаже антифриза жидким азотом, что является необходимым для проведения инженерных расчетов теплообменного аппарата и процессов охлаждения КРТ на стартовом оборудовании с использованием жидкого азота [13].

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования позволили определить средние значения характеристик теплоотдачи на наружной поверхности витого теплообменника к двухфазной среде антифриз–азот в условиях барботажа антифриза жидким азотом, установить определяющие безразмерные параметры, влияющие на характеристики теплоотдачи. Получено критериальное уравнение, необходимое для проведения оптимизационных расчетов теплопередачи в конструкции витого теплообменника и расчетов процессов охлаждения КРТ с использованием эффективной технологии температурной подготовки ракетного топлива, основанной на применении жидкого азота в емкостях запорочных систем стартовых комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Комлев Д.Е., Соловьев В.И. Охлаждение нефтила методом криогенного барботажа. *Новости техники*. М., КБТМ, 2004, с. 137–141.

- [2] Александров А.А., Денисов О.Е., Золин А.В. и др. Охлаждение ракетного топлива стартовым оборудованием с применением жидкого азота. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2013, № 4, с. 24–29.
DOI: 10.18698/0536-1044-2013-4-24-29
- [3] Денисов О.Е., Золин А.В., Денисова К.И. Методика проектирования базы хранения и подготовки высококипящих компонентов ракетного топлива космодрома «Восточный». *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 11. DOI: 10.7463/1114.0732218
- [4] Александров А.А., Гончаров Р.А., Игрицкий В.А. и др. Методика выбора рациональных режимов охлаждения углеводородного горючего стартовым оборудованием перед заправкой топливных баков ракеты-носителя. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2011, № 1, с. 40–46.
- [5] Александров А.А., Бармин И.В., Кунис И.Д. и др. Особенности создания и развития криогенных систем ракетно-космических стартовых комплексов «Союз». *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2016, № 2, с. 7–27.
DOI: 10.18698/0236-3941-2016-2-7-27
- [6] Денисов О.Е., Золин А.В., Чугунков В.В. Методика моделирования охлаждения компонентов ракетного топлива с применением жидкого азота и промежуточного теплоносителя. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 3. DOI: 10.7463/0314.0699941
- [7] Павлов С.К., Чугунков В.В. Математическая модель процесса температурной подготовки компонентов жидкого ракетного топлива с использованием теплообменника и теплоносителя, охлаждаемого жидким азотом. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 12.
DOI: 10.7463/1214.0744330
- [8] Wen D.S., Chen H.S., Ding Y.L., et al. Liquid nitrogen injection into water: pressure build-up and heat transfer. *Cryogenics*, 2006, vol. 46, iss. 10, pp. 740–748.
DOI: 10.1016/j.cryogenics.2006.06.007
- [9] Домашенко А.М., Блинова И.Д. Исследования тепломассообмена при сбросе криогенных продуктов в воду. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2007, № 12, с. 17–19.
- [10] Накоряков В.Е., Цой А.Н., Мезенцев И.В. и др. Вскипание струи жидкого азота, инжектированного в воду. *Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии*, 2013, № 1 (12), с. 260–264.
- [11] Накоряков В.Е., Цой А.Н., Мезенцев И.В. и др. Экспериментальные исследования процесса инъекции жидкого азота в воду. *Теплофизика и аэромеханика*, 2014, № 3, с. 293–298.
- [12] Павлов С.К., Чугунков В.В. Повышение эффективности системы охлаждения ракетного топлива с использованием теплообменника и антифриза, охлаждаемого жидким азотом. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, № 1 (49).
DOI: 10.18698/2308-6033-2016-1-1461

[13] Александров А.А., Бармин И.В., Павлов С.К. и др. Аналитическая модель эффективной технологии температурной подготовки ракетного топлива в емкостях заправочных систем наземных комплексов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2017, № 4, с. 86–95.

DOI: 10.18698/0536-1044-2017-4-86-95

Александров Анатолий Александрович — д-р техн. наук, ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана, профессор кафедры «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Бармин Игорь Владимирович — д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, профессор, заведующий кафедрой «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), советник по науке генерального директора ЦЭНКИ (Российская Федерация, 107996, Москва, ул. Щепкина, д. 42).

Павлов Семен Константинович — аспирант кафедры «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Чугунков Владимир Васильевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Александров А.А., Бармин И.В., Павлов С.К. и др. Исследование параметров теплообмена витого теплообменника в двухфазной среде. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2019, № 3, с. 22–33.

DOI: 10.18698/1812-3368-2019-3-22-33

**INVESTIGATION HEAT TRANSFER PARAMETERS
FOR A HELICAL-COIL HEAT EXCHANGER IN A TWO-PHASE
MEDIUM**

A.A. Aleksandrov¹

rector@bmstu.ru

I.V. Barmin^{1,2}

barmin@bmstu.ru

S.K. Pavlov¹

kafsm8@bmstu.ru

V.V. Chugunkov¹

chvbmstu@bmstu.ru

¹ **Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

² **Center for Operation of Space Ground Based Infrastructure,
Moscow, Russian Federation**

Abstract

The paper focuses on hydrocarbon fuel cooling in launch vehicles, specifically considering experimental technique and results obtained during investigation of one of the primary heat exchanger parameters, that is, heat transfer coefficient of the heat exchanger surface. We present a model of efficient hydrocarbon fuel cooling by means of intensifying heat transfer on the external heat exchanger surface due to nitrogen sparging causing active motion in the liquid heat carrier. We obtained quantitative data regarding heat transfer on the external surface of a helical-coil heat exchanger located in a two-phase medium consisting of antifreeze and nitrogen, in the temperature range of 243–293 K. We derived a similarity equation for calculating heat transfer coefficient on the external heat exchanger surface, which is required to determine the heat exchanger surface area and to compute heat transfer from hydrocarbon fuel to the two-phase medium consisting of antifreeze and nitrogen

Keywords

Heat transfer, helical-coil heat exchanger, antifreeze, liquid nitrogen, sparging, two-phase medium, heat transfer properties

Received 15.11.2018

© Author(s), 2019

REFERENCES

- [1] Komlev D.E., Solov'yev V.I. Okhlazhdenie naftila metodom kriogenного barbotazha [Refrigerating naftil with cryogenic sparging]. *Novosti tekhniki* [Engineering news]. Moscow, KBTM Publ., 2004, pp. 137–141 (in Russ.).
- [2] Aleksandrov A.A., Denisov O.E., Zolin A.V., et al. Refrigerating rocket fuel by launching equipment with the use of liquid nitrogen. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2013, no. 4, pp. 24–29 (in Russ.). DOI: 10.18698/0536-1044-2013-4-24-29
- [3] Denisov O.E., Zolin A.V., Denisova K.I. Design technique for the high-boiling propellant storage and preparation facility at the cosmodrome “Vostochny”. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication], 2014, no. 11 (in Russ.). DOI: 10.7463/1114.0732218
- [4] Aleksandrov A.A., Goncharov R.A., Igritskiy V.A., et al. Methodology of selection of rational regimes for cooling the hydrocarbon fuel by launch equipment before filling of fuel tanks of launch vehicle. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2011, no. 1, pp. 40–46 (in Russ.).
- [5] Aleksandrov A.A., Barmin I.V., Kunis I.D., et al. Characteristic features of creating and developing cryogenic systems of space-rocket launch complex “Soyuz”. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2016, no. 2, pp. 7–27 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2016-2-7-27

- [6] Denisov O.E., Zolin A.V., Chugunkov V.V. Simulation methods of rocket fuel refrigerating with liquid nitrogen and intermediate heat carrier. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication], 2014, no. 3 (in Russ.). DOI: 10.7463/0314.0699941
- [7] Pavlov S.K., Chugunkov V.V. Mathematical model-based temperature preparation of liquid-propellant components cooled by liquid nitrogen in the heat exchanger with a coolant. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication], 2014, no. 12 (in Russ.). DOI: 10.7463/1214.0744330
- [8] Wen D.S., Chen H.S., Ding Y.L., et al. Liquid nitrogen injection into water: pressure build-up and heat transfer. *Cryogenics*, 2006, vol. 46, iss. 10, pp. 740–748. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2006.06.007
- [9] Domashenko A.M., Blinova I.D. Study of heat exchange during discharge of cryogenic products into water. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*, 2007, no. 12, pp. 17–19 (in Russ.).
- [10] Nakoryakov V.E., Tsoy A.N., Mezentsev I.V., et al. Boiling-up of liquid nitrogen injected into water. *Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezul'taty, tekhnologii* [Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies], 2013, no. 1 (12), pp. 260–264 (in Russ.).
- [11] Nakoryakov V.E., Tsoy A.N., Mezentsev I.V., et al. Boiling-up of liquid nitrogen jet in water. *Thermophys. Aeromech.*, 2014, vol. 21, iss. 3, pp. 279–284. DOI: 10.1134/S0869864314030020
- [12] Pavlov S.K., Chugunkov V.V. Enhancing the efficiency of the propellant cooling system using a heat exchanger and antifreeze being cooled by liquid nitrogen. *Inzhernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2016, no. 1 (49) (in Russ.). DOI: 10.18698/2308-6033-2016-1-1461
- [13] Aleksandrov A.A., Barmin I.V., Pavlov S.K., et al. An analytical model of the effective technology for thermal preparation of rocket propellant in tanks of filling systems of ground-based complexes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2017, no. 4, pp. 86–95 (in Russ.). DOI: 10.18698/0536-1044-2017-4-86-95

Aleksandrov A.A. — Dr. Sc. (Eng.), rector of the Bauman Moscow State Technical University, Professor, Department of Launch Rocket Complexes, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).


Barmin I.V. — Dr. Sc. (Eng.), correspondent member of Russian Academy of Sciences, Head of Department of Launch Rocket Complexes, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation); scientific adviser to the Director, Center for Operation of Space Ground Based Infrastructure (Shchepkina ul. 42, Moscow, 107996 Russian Federation).

Pavlov S.K. — Post-Graduate Student, Department of Launch Rocket Complexes, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Chugunkov V.V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Launch Rocket Complexes, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Aleksandrov A.A., Barmin I.V., Pavlov S.K., et al. Investigation heat transfer parameters for a helical-coil heat exchanger in a two-phase medium. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2019, no. 3, pp. 22–33 (in Russ.). DOI: 10.18698/1812-3368-2019-3-22-33

	<p>В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышла в свет монография авторов И.В. Фомина, С.В. Червона, А.Н. Морозова</p> <p>«Гравитационные волны ранней Вселенной»</p> <p>Рассмотрены применение скалярных полей в космологии и методы построения моделей ранней Вселенной на основе их динамики. Выполнен анализ динамики Вселенной на различных стадиях ее эволюции. Проведен расчет параметров космологических возмущений. Представлены методы верификации инфляционных моделей и новые методы детектирования гравитационных волн. Для специалистов, интересующихся проблемами нелинейной теории поля, теории гравитации, космологии и гравитационно-волновыми исследованиями, а также студентов старших курсов, магистров и аспирантов.</p> <p>По вопросам приобретения обращайтесь: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1 +7 (499) 263-60-45 press@bmstu.ru http://baumanpress.ru</p>