

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-552-559

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF CONSTRUCTIVE ENERGY-EFFICIENT PERFORMANCE ON THE TANK TANKER

E. A. Gorbaneva

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

To reduce heat losses through the deck of a bulk vessel when transporting highly viscous liquid cargo requiring heating, the author proposes an energy-saving solution in the form of an easy horizontal partition located above the heaters. Energy-saving effect is achieved due to lower temperature of the upper layer of cargo in the tank. The flow of heated liquid from tubular heaters located in the lower part of the tank is limited to a horizontal partition. The addition of a new structural element leads to a decrease in the speed of convective fluid mixing in the tank, the ascending streams of the heated cargo do not reach the free surface of the cargo, as a result of which heat losses through the deck are reduced. For practical implementation of this technology, it is necessary to solve the following tasks: the development of a methodology for calculating the tank tank heating system in the conditions of dividing the cargo into zones by a horizontal partition, optimizing the height of the partition above the heaters from the condition of achieving a balance between the minimum liquid surface temperature and the highest average temperature of the cargo volume in Tank, the determination of the pressure gradient in the partition zone to determine the dynamic loads on the partition from the convection A different flow of cargo.

To solve the set tasks, a set of studies was carried out to determine the effect of the partition on the operation of the tank heating system, and the velocity, pressure, and temperature fields were obtained. A significant number of determining parameters determined the main method of investigation numerical simulation, supplemented by experimental studies. Experimental studies have made it possible to identify the main regularities of the behavior of liquid cargo in a tank, as well as to assess the adequacy of the numerical model. Studies have shown that the proposed technology allows to reduce energy consumption for the load of cargo up to 10 %. The processing and generalization of the results obtained are carried out using the similarity theory.

The main results of the study are the obtained criterial equations used to develop the methodology for designing a heating system for a tank with energy-saving performance.

Keywords: numerical simulation, energy-efficient performance of the tank tanker, transport of high loads.

For citations:

Gorbaneva, Eugenia A. "Experimental and numerical study of constructive energy-efficient performance on the tank tanker." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.3 (2017): 552–559. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-552-559.

УДК 661.21.002.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ТАНКА НАЛИВНОГО СУДНА

Е. А. Горбанева

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань,
Российская Федерация

Для снижения потерь тепла через палубу наливного судна при перевозке высоковязких жидких грузов, требующих подогрева, предложено энергосберегающее решение в виде лёгкой горизонтальной перегородки, расположенной над подогревателями. Энергосберегающий эффект достигается за счёт снижения температуры верхнего слоя груза в танке. Поток нагретой жидкости от трубчатых подогревателей,

расположенных в нижней части танка, ограничивается горизонтальной перегородкой. Введение нового конструктивного элемента приводит к снижению скорости конвективного перемешивания жидкости в танке, восходящие потоки нагретого груза не достигают свободной поверхности груза, в результате чего снижаются потери тепла через палубу. Для практического внедрения этой технологии необходимо решение следующих задач: разработка методики расчёта системы подогрева танка наливного судна в условиях деления груза на зоны горизонтальной перегородкой, оптимизация высоты расположения перегородки над нагревателями из условия достижения баланса между минимальной температурой поверхности жидкости и максимально высокой средней температуры объёма груза в танке, определение градиента давления в зоне перегородки для определения динамических нагрузок на перегородку от конвективного потока груза.

Для решения поставленных задач был выполнен комплекс исследований по определению влияния перегородки на работу системы подогрева танка, получены поля скоростей, давлений и температур. Значительное число определяющих параметров определило основным методом исследования численное моделирование, дополненное экспериментальными исследованиями. Экспериментальные исследования позволили выявить основные закономерности поведения жидкого груза в танке, а также оценить адекватность численной модели. Исследования показали, что предложенная технология позволяет снизить расход энергии на подогрев груза до 10 %. Обработка и обобщение полученных результатов выполнены с применением теории подобия.

Основными результатами исследования являются полученные критериальные уравнения, использованные для разработки методики проектирования системы подогрева танка энергосберегающего исполнения.

Ключевые слова: численное моделирование, энергоэффективное исполнение танка наливного судна, перевозка высоковязких грузов.

Для цитирования:

Горбанева Е. А. Экспериментальное и численное исследование энергоэффективного конструктивного исполнения танка наливного судна / Е. А. Горбанева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 552–559. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-552-559.

Введение

В Правилах морской перевозки нефти и нефтепродуктов наливом на танкерах Министерством морского флота (РД 31.11.81.36-81) регламентируется контроль управления температурой перевозимого груза. Наибольшие сложности возникают при перевозке нефти и мазута, которые относятся к застывающим жидкостям, так как в своем составе имеют большое количество тяжелых углеводородов и большое количество парафинов. Вязкость данных жидкостей в процессе снижения температуры быстро увеличивается и при сравнительно высокой температуре они становятся маловязкими. При снижении температуры ниже температуры застывания в жидкости выделяются кристаллы парафина, количество которых растет за счет понижения температуры. Данное свойство накладывает существенные ограничения на процесс транспортировки данного рода грузов. В связи с этим для перевозки высоковязких жидкостей используются узкоспециализированные суда, оборудованные системами подогрева. Предназначенные для данного рода грузов суда, как и все танкеры, имеют особенности конструктивного исполнения, такие как деление на отсеки (танки в которых непосредственно размещен груз), двойной борт, днище, изолированная палуба, наличие перегородок и систем подогрева груза. Очевидно, подогрев груза во время рейса до средней температуры 60 – 70 °С приводит к потерям тепла в окружающую среду. Учитывая, что одним из приоритетов в развитии проектирования судов в настоящее время является «экологическое» конструктивное исполнение корпуса и всего внутреннего оборудования, важным становится осуществление работ в соответствии с заданным технологическим режимом процесса транспортировки без загрязнения окружающей среды.

Значительный расход энергии на подогрев груза повышает себестоимость транспортировки [1]. Изменение конструкции танкера и установка теплоизоляции повышают стоимость судна, снижая расход энергии на подогрев. Учитывая, что танкеры могут перевозить не только высо-

ковязкие жидкости, добавленная стоимость повысит себестоимость перевозки других грузов. Отказ от энергосберегающих элементов в конструкции танкера снижает стоимость судна, но повышает затраты энергии на подогрев. Таким образом, важной задачей является выбор конструктивного исполнения танкера. Для низких температур окружающей среды и преимущественной транспортировки высоковязких грузов будет оправдано использование теплоизоляции, для тёплого климата и перевозок лёгких нефтепродуктов оправдано упрощение конструкции.

Значительные затраты на снижение потерь тепла не окупаются в том случае, когда танкер эксплуатируется в различных климатических зонах и перевозит широкий спектр нефтепродуктов, а также при реконструкции старых танкеров. Для судов, в которых использование теплоизоляции экономически нерентабельно, а затраты на подогрев груза велики, нами предложено техническое решение, основанное на повышении термического сопротивления со стороны самого груза, заключающееся в установке лёгких негерметичных перегородок в танке, предотвращающих прямой приток нагретого груза к стенкам танка и поверхности груза [2], [3].

Существующие методики расчёта потерь тепла от груза в окружающую среду и расчёта систем подогрева танка не учитывают особенности влияния добавленного конструктивного элемента на процессы теплообмена в танке. Это определяет актуальность проведения исследований для получения расчётных зависимостей и методики расчёта систем подогрева танка с делением жидкого груза в танке установкой облегчённых перегородок. Задача исследования заключается в теоретическом и экспериментальном исследовании работы систем подогрева в танке наливного судна при использовании энергосберегающих конструктивных элементов. Целью исследования является разработка методики расчёта систем подогрева наливного судна.

Методы и материалы

Исследование работы системы подогрева в танке является сложной научной задачей, так как зависит от значительного числа определяющих параметров. В связи с этим необходимость проведения большого числа экспериментов определило основным методом исследования численное моделирование, дополненное экспериментальными исследованиями. Разработанная численная модель танка, позволяющая оперативно варьировать определяющие параметры и получать информацию о поведении груза и работе систем подогрева, позволила выявить основные влияющие факторы и обобщить результаты исследований. Такие особенности численных моделей, как устойчивость решения и влияние используемого алгоритма на достоверность полученного результата [4] – [7], определяют необходимость многоуровневого контроля адекватности модели и полученных результатов сопоставлением с известными решениями и экспериментальной проверкой результатов. Полученные результаты не противоречат результатам известных исследований по транспорту и хранению нефтепродуктов [8] – [10]. Результаты расчёта работы систем подогрева, полученные автором, представлены в [11].

Экспериментальные исследования, проведённые на первом этапе исследования, позволили выявить основные закономерности поведения жидкого груза в танке при установке перегородок и определить влияющие на него параметры. Адекватность результатов, полученных на численной модели, проверена сопоставлением с имеющимися результатами натурных замеров и с данными, полученными при проведении экспериментов. Обработка и обобщение полученных результатов выполнены с применением теории подобия.

Экспериментальная установка моделирует танк наливного судна с системой подогрева, дополненный энергосберегающей горизонтальной перегородкой, размещённой над нагревателями. Для визуализации наблюдений установка выполнена из стекла.

Результаты

Экспериментальная установка представляет собой модель танка наливного судна с облегчённой горизонтальной перегородкой, расположенной над подогревателями, которая позволяет сократить потери тепла от зеркала свободной поверхности жидкости.

Модель (рис. 1) включает в себя корпус танка 1, нагревательные элементы 2, горизонтальную легкую перегородку 3, которая устанавливается в объеме жидкости с зазором относительно зеркала свободной поверхности, горячий объем жидкости 4, холодный слой 5 между зеркалом свободной поверхности жидкости и перегородкой. Предлагаемый конструктивный элемент в виде легкой горизонтальной проницаемой перегородки 3 (см. рис. 1) устанавливают параллельно оси подогревателей 2 в объеме жидкости танка 1, ниже зеркала свободной поверхности жидкости [3].

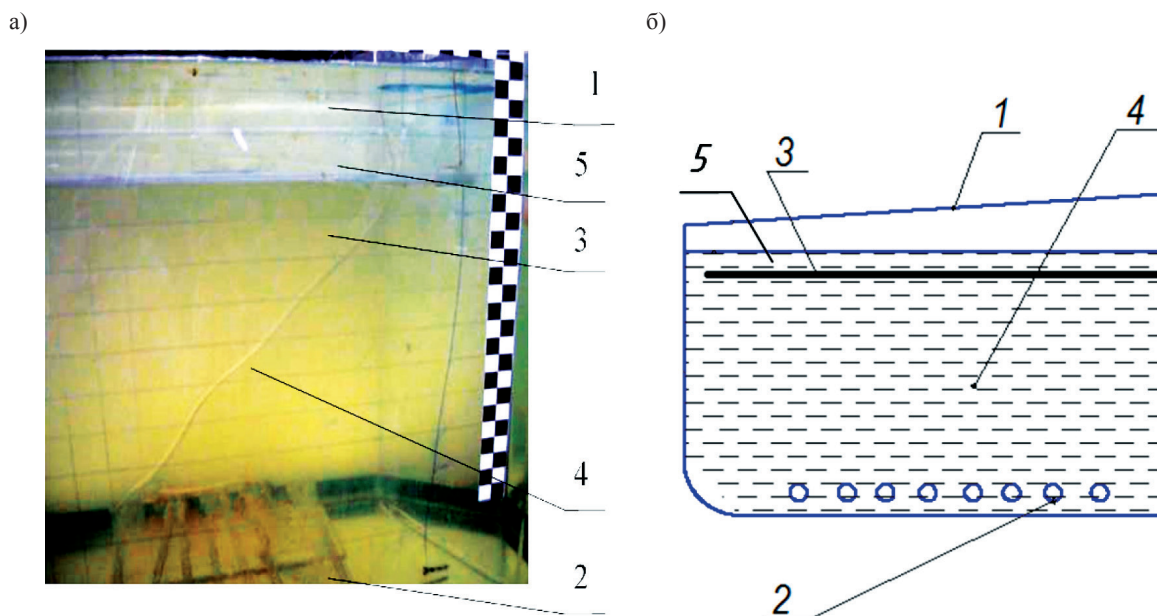


Рис. 1. Модель танка: а — общий вид экспериментальной установки;
б — принципиальная схема экспериментальной установки

Принцип работы модели следующий: в процессе работы нагревательных элементов 2, расположенных в донной части корпуса танка 1, горячая жидкость за счет разности температур поднимается вверх, смешиваясь с холодными слоями, формируя устойчивое поле течения и повышая температуру ядра 4. Установка горизонтальной перегородки 3 позволяет отделить холодный слой жидкости 5 у свободной поверхности от высокотемпературного ядра 4. Выполненные в перегородке перфорации позволяют произвести процесс отгрузки с минимальным мертвым остатком.

Движения жидкости в экспериментальной установке снималось на видео, которое впоследствии обрабатывалось для получения траекторий и скорости движения груза в различных точках установки. Визуализация обеспечивалась добавкой в жидкость порций красителя. Данная методика позволяет измерить векторы скоростей по величине и направлению. Применяя счетчик кадров и наблюдая движение красителя относительно линий разметки, определяли время прохождения красителем контрольных отрезков. Полученные данные по траекториям и скорости движения были сопоставлены с результатами расчёта на численной модели. Проведенные эксперименты и полученные данные подтвердили наличие зон, определяющих особенности процесса теплообмена в танке при оборудовании его дополнительным конструктивным элементом в виде горизонтальной перегородки.

Обсуждение

В процессе исследования были выявлены следующие характерные зоны, определяющие особенности свободно- конвективного теплообмена в танке.

I зона — восходящий след от подогревателей (рис. 2, а).

II зона — смешение с основным объемом и, как следствие, перемещение к вертикальной стенке вблизи горизонтальной перегородки (рис. 2, б). Нагретая жидкость от подогревателей поднимается вверх, смешиваясь с основным объемом жидкости, повышает температуру ядра, а затем за счет свободно-конвективного течения перемещается к боковой вертикальной холодной стенке и остывая, опускается вниз. При этом в связи формируется устойчивое циркуляционное течение в объеме жидкости. Движущей силой данного процесса является разность температур. За счет высокой скорости и достаточной разности температуры, так как плотность нагретой жидкости вихря меньше плотности ядра, происходит циркуляция жидкости и наблюдается нагретый след, который по мере перемещения через перегородку к свободной поверхности остывает. В результате увеличения плотности при понижении температуры жидкости этот слой жидкости начинает опускаться вниз, стекая вдоль горизонтальной поверхности к вертикальной стенке и движется к подогревателям.

III зона — возникновение ячеистого движения жидкости над перегородкой в центре емкости показана на рис. 2, в. В центральной части, в зазоре между верхней поверхностью перегородки и зеркалом свободной поверхности жидкости, можно выделить небольшую *застойную зону*. Как отмечалось ранее, энергосберегающий эффект достигается снижением градиента температур вблизи поверхности. Малость температурного напора в сочетании с относительно малым зазором затрудняет формирование циркуляционных ячеек у свободной поверхности груза. Вдоль борта в угловой зоне потери тепла растут за счёт взаимного влияния холодной поверхности и холодного борта. Это приводит к формированию в угловых зонах устойчивых циркуляционных ячеек.

IV зона — ячеистое течение жидкости от нижней поверхности перегородки к ядру груза (рис. 2, г). В отличие от известных закономерностей движения груза в танке с формированием одного вихря от нагревателей к свободной поверхности и вдоль борта вниз, перегородка привела к образованию ряда вихрей при малых градиентах температур между ядром груза и нижней поверхностью перегородки.

V зона. Формирование этой зоны (рис. 2, д) происходит только при наличии зазора между горизонтальной перегородкой и бортом. Значительная разность плотностей жидкости, из-за переохлаждения жидкости над перегородкой, приводит к интенсивному ее «подтягиванию» из зазора между перегородкой и зеркалом свободной поверхности в зазор между перегородкой и вертикальной стенкой с образованием двух вихрей: в сторону свободной поверхности и в сторону зазора. Очевидно, что подобное перемещение груза из высокотемпературного ядра к свободной поверхности приведёт к росту потерь тепла через палубу. Проведенные исследования показали целесообразность обеспечения условия проницаемости горизонтальной перегородки только на время погрузки / выгрузки нефтепродукта из танка. Во время рейса зазоры целесообразно минимизировать.

VI зона (рис. 2, е) демонстрирует формирование вихревого движения жидкости и движение к зеркалу свободной поверхности с дальнейшим торможением за счет остывания в угловой зоне между бортом и нижней поверхностью перегородки. Вторичное воздействие вихря на жидкость приводит к образованию второго вихря, который движется вдоль вертикальной стенки.

VII зона (рис. 2, ж) демонстрирует ячеистое движение остывающих слоев жидкости в придонной области с образованием двух вихрей. Течение в зоне 1 определяется вихреобразованием в области высокотемпературного ядра, формируемым двумя течениями: восходящие потоки от нагревателей и нисходящее движение груза вдоль борта. Течение в зоне 2 формируется под влиянием работы подогревателей, в результате работы которых слои жидкости опускаются в застойную угловую область и «подтягиваются» вдоль донной части танка в зазоре между дном и подогревателями. В результате работы подогревателей формирующееся циркуляционное свободно-конвективное движение общего объема жидкости танка образует вихри, которые способствуют смешению холодных оседающих слоев с нагретыми над подогревателями, за счет чего происходит подъем слоя груза вверх к центральной части емкости.

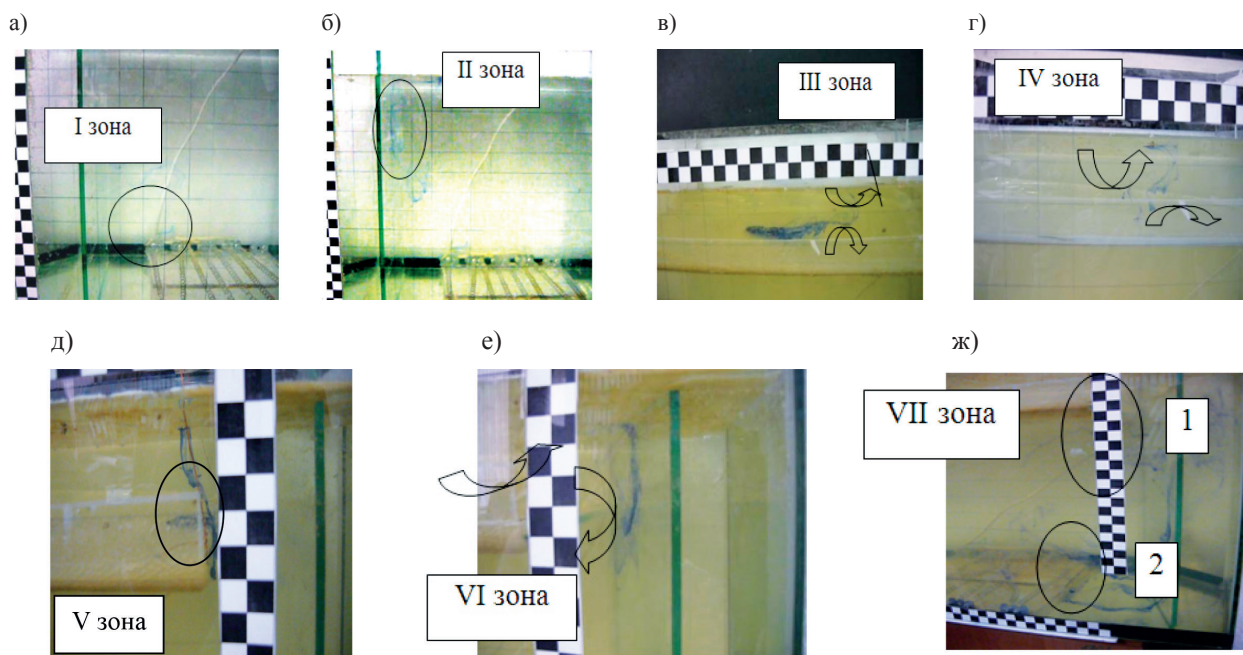


Рис. 2. Основные зоны, определяющие особенности свободно-конвективного теплообмена в танке:

- a* — I зона — восходящий поток (тепловой след нагревателей);
- б* — II зона — движение жидкости вдоль вертикальной стенки около перегородки;
- в* — III зона — центр емкости над горизонтальной поверхностью;
- г* — IV зона — движение потоков вблизи вертикальной стенки над горизонтальной поверхностью;
- д* — V зона — сток жидкости непосредственно в угловой зоне; *е* — VI зона — угловая;
- ж* — VII зона — стекание слоя жидкости с горизонтальной перегородки вдоль вертикальной

Таким образом, анализируя ранее изложенное, можно сделать вывод о сложном характере теплообмена и взаимосвязи конструктивных особенностей танка с учетом добавленных новых элементов в работе теплоэнергетического оборудования судна и свойств жидкости.

Заключение

На основании результатов проведенных экспериментов выявлены основные закономерности и выделены характерные зоны движения груза, полей скоростей и температур, используемых в дальнейших исследованиях для проверки адекватности используемой численной модели.

Эксперименты подтвердили полученные ранее результаты расчетов [11]. Для расчета потерь тепла через палубу в диапазоне изменения числа Рэлея $1 \cdot 10^{11} \leq Ra \leq 12 \cdot 10^{11}$ предложено критериальное уравнение [11]:

$$Nu = 2Ra^{0,6014} \cdot (-0,05H_{\text{перг}}^3 + 0,4 \cdot H_{\text{перг}}^2 - 0,7H + 1,4).$$

Установка в танке горизонтальной перегородки над нагревателями позволяет снизить расход энергии на подогрев нефтепродукта на 7 – 11 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бердина М. Ю. Морской транспорт в системе международных бизнес-операций / М. Ю. Бердина, Е. К. Торосян // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1-1. — С. 558.
- Пат. 104542 Российская Федерация, МПК В 65 D 88/74. Устройство для снижения теплотерь от разогретой жидкости в танках судна / П. В. Яковлев, Е. А. Горбанева, Ю. А. Аляутдинова, Н. Б. Ачилова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО АГТУ. — № 2010150226/12; заявл. 07.12.2010; опублик. 20.05.2011, Бюл. № 14. — 3 с.

3. Пат. № 154604 Российская Федерация, МПК В 65D 88/74. Устройство для снижения теплотерь от разогретой жидкости в танках судна / П. В. Яковлев, Е. А. Горбанева; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО АГТУ. — № 2015105857/12; Заявлено 19.02.2015; Опубл. 27.08.2015, Бюл. № 24. — 3 с.
4. Мартюшев С. Г. Численный анализ сопряженной термогравитационной конвекции и теплового поверхностного излучения в замкнутом кубе, заполненном диатермичной средой / С. Г. Мартюшев, И. В. Мирошниченко, М. А. Шеремет // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. — 2014. — № 2. — С. 111–120.
5. Макаров С. С. Математическая модель охлаждения высокотемпературных металлических заготовок квазистационарным потоком воды с пузырьками воздуха / С. С. Макаров, К. Э. Чекмышев, Е. В. Макарова // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. — 2015. — № 4 (68). — С. 5–9.
6. Липанов А. М. Численное исследование охлаждения высокотемпературного металлического цилиндра потоком газожидкостной среды / А. М. Липанов, С. С. Макаров, А. И. Карпов, Е. В. Макарова // Теплофизика и аэромеханика. — 2017. — Т. 24. — № 1 (103). — С. 53–60.
7. Липанов А. М. Численные решения задач охлаждения высокотемпературных металлических тел потоками жидкости / А. М. Липанов, С. С. Макаров // Труды Института механики УрО РАН «Проблемы механики и материаловедения». — Ижевск: Ин-т механики Уральского отд. РАН, 2015. — С. 180–192.
8. Головчун С. Н. Моделирование тепломассопереноса в судовых системах подогрева высоковязких топлив и жидких грузов: дис. ... канд. техн. наук / С. Н. Головчун. — Астрахань, 2010. — 135 с.
9. Моисеев В. И. Теория и модели процессов тепломассопереноса при транспортных операциях с застывающими наливными грузами: дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Моисеев. — СПб., 2012. — 463 с.
10. Моисеев В. И. Естественная конвекция горячих нефтепродуктов при перевозках в условиях низких температур / В. И. Моисеев // «Математика в вузе»: тр. XXII Междунар. науч.-практ. конф. — СПб.: ПГУПС, 2010. — С. 132–136.
11. Яковлев П. В. Моделирование процессов тепломассообмена при перевозке высокозастывающих грузов водным транспортом / П. В. Яковлев, Ю. А. Аляутдинова, Е. А. Горбанева // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2009. — № 2. — С. 104–109.

REFERENCES

1. Berdina, M. Yu., and E. K. Torosyan. "Maritime transport in international business operations." *Modern problems of science and education* 1-1 (2015): 558.
2. Jakovlev, P. V., E. A. Gorbaneva, Ju. A. Aljautdinova, and N. B. Achilova. RU 104 542 U1, IPC B 65 D 88/74. Ustrojstvo dlja snizhenija teplopoter' ot razogretoj zhidkosti v tankah sudna. Russian Federation, assignee. Publ. 20 May 2011.
3. Jakovlev, P. V., and E. A. Gorbaneva. RU 154 604 U1, IPC B 65 D 88/74. Ustrojstvo dlja snizhenija teplopoter' ot razogretoj zhidkosti v tankah sudna. Russian Federation, assignee. Publ. 27 Aug. 2015.
4. Martyushev, Semen Grigor'evich, Igor' Valer'evich Miroshnichenko, and Mikhail Aleksandrovich Sheremet. "Numerical analysis of conjugate natural convection and thermal surface radiation in a cube filled with diathermanous medium." *The Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science* 2 (2014): 111–120.
5. Makarov, S. S., K. E. Chekmyshev, and E. V. Makarova. "Mathematical Model of High-Temperature Metal Blanks Cooling by Quasi-stationary Stream of Water with Air Bubbles." *Bulletin of Kalashnikov ISTU* 4(68) (2015): 5–9.
6. Lipanov, A. M., S. S. Makarov, A. I. Karpov, and E. V. Makarova. "Chislennoe issledovanie okhlazhdeniya vysokotemperaturnogo metallichesкого tsilindra potokom gazozhidkostnoi sredy." *Teplofizika i aeromekhanika* 24.1(103) (2017): 53–60.
7. Lipanov, A. M., and S. S. Makarov. "Chislennye resheniya zadach okhlazhdeniya vysokotemperaturnykh metallicheskich tel potokami zhidkosti." *Trudy Instituta mekhaniki UrO RAN «Problemy mekhaniki i materialovedeniya»*. Izhevsk: Institut mekhaniki Ural'skogo otdeleniya RAN, 2015: 180–192.
8. Golovchun, S. N. Modelirovanie teplomassoperenosa v sudovykh sistemakh podogreva vysokovязких топлив i zhidkikh грузов. PhD diss. Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2010.
9. Moiseev, V. I. Teorija i modeli processov teplomassoperenosa pri transportnyh operacijah s zastyvajushimi naliveymi грузами. Dr. diss. SPb., 2012.

10. Moiseev, V. I. "Estestvennaja konvekcija gorjachih nefteproduktov pri perevozkah v uslovijah nizkih temperature." *«Matematika v vuze»: tr. XXII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. SPb.: PGUPS, 2010. 132–136.

11. Yakovlev, Pavel Viktorovich, Yulia Amirovna Alyautdinova, and Evgeniya Aleksandrovna Gorbaneva. "Design of processes of heat-mass transfer while transportation of high-viscosity loads by water." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies 2* (2009): 104–109.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горбанева Евгения Александровна —
аспирант
Научный руководитель:
Яковлев Павел Викторович
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
414056, Российская Федерация, г. Астрахань,
ул. Татищева, 16
e-mail: eugine-astra@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gorbaneva, Eugenia A. —
Postgraduate
Supervisor:
Yakovlev, Pavel V.
Astrakhan State Technical University
16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: eugine-astra@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 26 декабря 2016 г.
Received: December 26, 2016.