

## **СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

### **SHIP POWER EQUIPMENT**

УДК 663.551

DOI: 10.37890/jwt.vi74.349

#### **Оценка возможности исключения потерь нефтепродуктов при их испарении в процессе транспортировки танкерами**

**А.М. Пичурин<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2885-3008>

**А.С. Дмитриев<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1559-0421>

<sup>1</sup>*Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия*

**Аннотация.** Значительное количество нефтепродуктов теряется при транспортировке. Основной причиной этих потерь следует считать их испарение. Это негативно отражается на качестве оставшегося груза и повышает пожароопасность на транспорте. В ходе исследования определено влияние теплового воздействия на испарение бензина. Выполнен численный эксперимент по оценке нестационарного прогрева груза при тепловом его взаимодействии с окружающей средой. Для решения этой задачи предложено теплоизолировать поверхность теплообмена, и незначительное количество пара, образующегося при испарении, для снижения давления в танках в период суточного повышения температуры, перегонять в специальный отсек, имеющий меньший объем и более прочный корпус. При суточном понижении температуры этот пар будет возвращен обратно в основные танки.

**Ключевые слова:** нефть, нефтепродукты, бензин, испаряемость, фракционный состав, нестационарный теплообмен, тепловой поток, танк, грузовой отсек, теплоизоляция.

#### **Evaluation of the possibility of eliminating the loss of oil products during their evaporation in the process of transportation by tankers**

**Aleksandr M. Pichurin<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2885-3008>

**Aleksandr S. Dmitriev<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1559-0421>

<sup>1</sup>*Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia*

**Abstract.** A significant amount of oil products is lost during transportation. Evaporation should be considered to be the main reason for these losses. This negatively affects the quality of the remaining cargo and increases flammability in the transport sector. In the course of the study, the influence of thermal exposure on the evaporation of gasoline has been determined. A numerical experiment has been carried out to assess the non-stationary heating of the load during its thermal interaction with the environment. For solving this problem it is proposed to implement thermal insulation for the heat exchange surface and a small amount of steam formed during evaporation, to reduce the pressure in the tanks, to distill into a special compartment, which has a smaller volume and a more durable body. When the temperature drops daily this steam will be returned to the main tanks.

**Keywords:** oil, oil products, gasoline, volatility, fractional composition, non-stationary heat transfer, heat flow, tank, cargo compartment, thermal insulation.

### **Введение**

При транспортировке нефти и нефтепродуктов, содержащих в своем составе большое количество легких фракций, наблюдаются значительные их потери [1,2].

По данным исследований, более 75% потерь бензинов (это один из основных продуктов переработки нефти) связано с испарением. [3].

На танкере при перевозке нефти и нефтепродуктов происходит газообмен между паровоздушной смесью, содержащейся в подпалубном пространстве и внешней атмосферой. Выброс этой паровоздушной смеси в атмосферу является крайне нежелательным явлением, так как, во-первых, это приводит к загрязнению окружающей среды [4], усилению парникового эффекта, загрязнению рабочей среды на судне и значительным потерям груза, а также создает пожарную опасность на судне и т. п. Во-вторых, при испарении теряются наиболее ценные фракции нефти [5]. При этом потери нефти за один рейс продолжительностью 3–4 недели могут превышать 0,7 % от общего количества груза. [6]. Анализ существующих методик расчета потерь от испарения не позволяет решить эту задачу [7-10].

Поэтому хорошо организованная последовательная и систематическая борьба с потерями нефтепродуктов и, в частности, бензинов от испарения на всех этапах транспортирования и хранения имеет большое значение [11].

Согласно изложенному, основной задачей является анализ этих проблем и поиск путей их решения.

### **Постановка проблемы**

Основные потери при транспортировке груза водным транспортом связаны с «малым дыханием» и, соответственно, потерями груза при суточных колебаниях температур [9,12-14]. Эти колебания приводят к периодическому изменению избыточного давления в танках нефтеналивных судов. Для поддержания давления в приемлемых границах, обеспечивающих прочность корпуса танка, возникает необходимость снижать его путем выброса в атмосферу части испарившегося груза. Основной задачей является установление наиболее значимых причин испаряемости и оценка возможности их исключения или минимизации.

### **Материалы и методы**

Для определения данного условия использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. В ходе исследования отслеживался расход этого вида топлива при различных температурах.

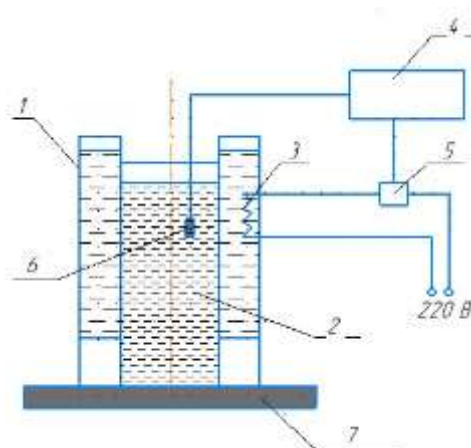


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Резервуар с испытуемым топливом 2 объемом 2000 мл. помещался внутри кольцевой водяной «бани» 1 (сосуда с водой объемом 3000 мл), который нагревался до температур, максимально близких к наибольшим температурам окружающей среды, характерным для летнего периода. В качестве нагревателя использовался ТЭН для водонагревателя мощностью 500 Вт и напряжением 220В. Температура фиксировалась посредством термопары 6, и потенциометра 4. Термопара устанавливалась в центре емкость с топливом на глубине 5 см. Встроенное в потенциометр температурное реле 5, с источником питания 12В поддерживало стабильную температуру в водяной «бани». Эта установка размещалась на электронных весах 7 с пределом взвешивания 6 кг и точностью измерения массы 1 гр. ТЭН устанавливался посередине кольцевой бани. При такой подводимой мощности скорость изменения температуры воды в объеме 3 литров составляла не более 2,5 град/мин. Это давало возможность обеспечить равномерный прогрев воды в кольцевом объеме «водяной бани». В ходе исследования было установлено, что наиболее интенсивно начинает уменьшаться масса при достижении температуры топлива 35 °С. Потери массы в течение двух часов составляли около 0,1%. При поддержании такого температурного режима на стационарном уровне происходило постепенное снижение потерь от испарения и через 4 часа активный процесс снижения массы практически остановился. Его невозможно было отслеживать при использовании весов с такой точностью. Дальнейший аналогичный рост испарения топлива в виде скачка наблюдался уже при подъеме температуры до 50 °С.

Реальные температуры окружающей среды 35–40 °С вполне достижимы в летний период даже в северных широтах России. Такой характер испаряемости можно объяснить только особенностью фракционного состава бензина. Испаряемость самых легких фракций (практически их кипение) наблюдается при температурах близких к 35 °С. В ходе транспортировки именно эта часть топлива оказывается потерянной при «малом дыхании».

### Результаты

Для подтверждения этой гипотезы был проведен численный эксперимент, характеризующий возможное реальное влияние внешней среды (ее температуры) на характер испаряемости и потери груза.

Рассматривалась задача нестационарного теплообмена между грузом и окружающей средой [15-18].

В качестве математической модели использовалось уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau},$$

где  $T$  – температура топлива °С;  
 $\lambda$  – теплопроводность топлива, Вт/м °С;  
 $c$  – теплоемкость топлива, Дж/кг °С;  
 $\rho$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>.

В ходе решения этой задачи теплопроводность, теплоемкость и плотность топлива принимались постоянными, соответствующими бензину АИ92.

В качестве геометрической модели был взят танк речного судна проекта №795 грузоподъемностью 150 тонн. Учитывалась только часть площади поверхности танка, находящаяся под тепловым воздействием внешней воздушной среды. Эта площадь принята равной 25 м<sup>2</sup>. Граничное условие, описывающее конвективный теплообмен с окружающей средой, определялось уравнением Ньютона-Рихмана.

Коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке был принят постоянным и равным 5 Вт/м<sup>2</sup>К. Передача теплоты конвекцией от внутренней стенки танка к топливу не учитывалась. Но если предположить, что вся теплота, подведенная к внешней стенке и прошедшая через стенку будет передана грузу путем теплопроводности в нестационарном режиме прогрева, что и хотелось определить в этой задаче, то данное допущение можно считать приемлемым. Начальная температура груза принималась равной 20 °С, температура окружающей среды принималась постоянной и равной 35 °С.

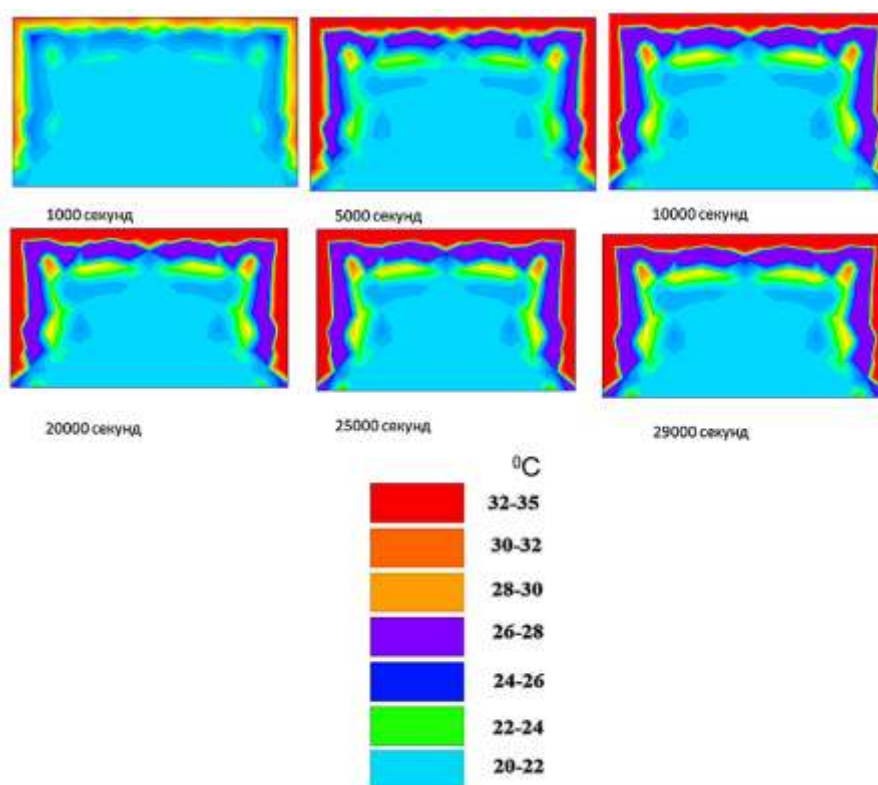


Рис. 2. Динамика прогрева бензина в танке

Здесь, на рисунке 2, красно-оранжево-желтые тона определяют высокие температуры. (Красный цвет соответствует температуре окружающей среды. Цвет голубой – начальной температуре топлива. Со временем интенсивность теплообмена

снижалась, что связано, видимо, с формированием топливного слоя вблизи стенки, имеющего температуру, близкую к температуре окружающей среды, и выполняющую роль изолятора для остальной массы груза, расположенной в центральной части танка.

Полученные численные результаты сведены в таблицу 1.

*Таблица 1*

**Изменение теплового потока передаваемого в перевозимый груз (бензин) во времени**

Время теплообмена, с	Тепловой поток, Вт	Время теплообмена, с	Тепловой поток, Вт	Время теплообмена, с	Тепловой поток, Вт
1000	3048	13000	711	25000	248
2000	2675	14000	639	26000	233
3000	2351	15000	576	27000	219
4000	2068	16000	520	28000	208
5000	1823	17000	472	44000	129
6000	1609	18000	430	45000	127
7000	1423	19000	393	46000	125
8000	1261	20000	360	47000	125
9000	1119	21000	331	48000	123
10000	995	22000	303	49000	121
11000	887	23000	283	50000	120
12000	793	24000	265		

Анализируя то, как меняется тепловой поток в течение представленного времени, была определена теплота, переданная грузу за отмеченный в таблице промежуток времени (это примерно 12–13 часов). В течение этого времени возможен суточный прогрев топлива и его потери от испарения.

Принимая значение теплоты парообразования бензина, равную 250 кДж/кг, было установлено, что потери груза от испарения составили 0,1–0,6 % от всего его количества.

Таким образом, основной причиной потери груза от испарения можно считать теплообмен с окружающей средой, а также то, что подводимая теплота к грузу практически полностью расходуется на процесс испарения (выпаривания) легких фракций.

Для снижения теплообмена, с целью сокращения (и даже исключения) потерь груза от испарения предлагается нанести на поверхность танка теплоизоляционный слой из пеноуретана.

Решая аналогичную задачу по оценке теплообмена между грузом и внешней средой при наличии изоляционного слоя, толщиной 200 мм установили, что температура груза во всем объеме практически остается начальной. Изменения наблюдаются только вблизи пограничного пристеночного слоя.

Динамика теплового потока в этом случае представлена в таблице 2.

*Таблица 2*

**Изменение теплового потока передаваемого в перевозимый груз во времени при наличии изоляционного слоя**

Время теплообмена, с	Тепловой поток, Вт	Время теплообмена, с	Тепловой поток, Вт
1000	774	9000	30.6
2000	180	10000	30.6
3000	60	26000	30.6
4000	36	27000	30.6
5000	31	28000	30.6
6000	30.9	29000	30.6

Время теплообмена, с	Тепловой поток, Вт	Время теплообмена, с	Тепловой поток, Вт
7000	30.7		
8000	30.6		

Графически характер изменения тепловых потоков для двух представленных случаев приведен на рисунке 3.

При нанесении изоляции испаряемость груза снизилась более чем на порядок.

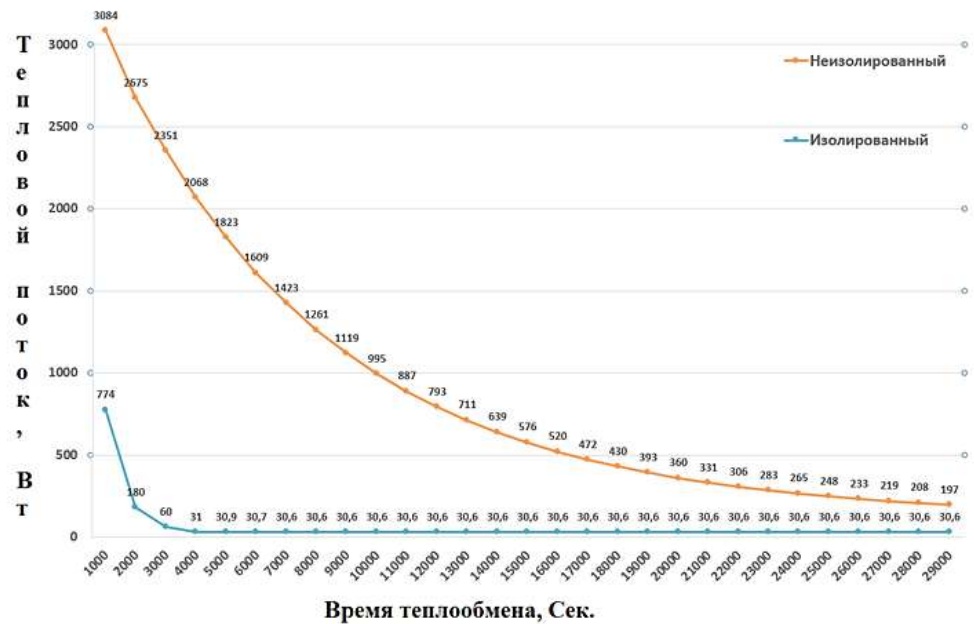


Рис. 3. Изменение теплового потока, передаваемого от окружающей среды в перевозимый груз при наличии изоляции на поверхности танка и при ее отсутствии

### Обсуждение

Для судов, которые эксплуатируются в относительно умеренных климатических условиях, достаточно на поверхности танков нанести теплозащитное покрытие. Это позволит убрать дыхательные клапаны и исключить потери перевозимого груза.

Для судов, которые эксплуатируются в климатических зонах с более высокими температурами, можно дополнительно предложить вместо дыхательных клапанов установить дополнительный набольших размеров грузовой отсек, отличающийся от основных танков более прочным корпусом. При повышении давления в основных танках из-за испаряемости груза, образующийся пар перекачивать компрессором в этот танк. В ночное время, когда теплообмен будет обратным, груз будет охлаждаться и, соответственно, будет падать давление; через редукционный клапан пар можно возвращать обратно в основные танки.

### Выводы

1. На основании опытных исследований и численного эксперимента установлена основная причина испаряемости груза – теплообмен.

2. Предложен способ полного исключения потерь бензина (и любых нефтепродуктов, содержащих в себе легкоиспаряющиеся фракции) путем теплоизоляции грузовых отсеков.
3. Предложен способ перекачивания испаряющегося груза в свободный более прочный танк при подводе теплоты и обратный возврат при охлаждении танка.

#### Список литературы

1. Макушев Ю.П. Хранение нефтепродуктов и снижение их потерь / Ю.П. Макушев, В.В. Рындин // Наука и техника Казахстана. 2011. №3-4. Павлодар: Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова. С. 49-60.
2. Козачок О.В. Применение полимерных защитных покрытий при хранении нефти и нефтепродуктов // Записки горного института. Санкт-Петербург: 2009. С.132-134.
3. Никольский Б.П. Справочник химика. Москва-Ленинград: Госхимиздат, 1968. 1071 с.
4. Савельев А.В. Технические аспекты сокращения естественной убыли нефтепродуктов при хранении в резервуарном парке / А.В. Савельев, В.Ф. Данилов, Р.И. Кюннап // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. Москва: Обракадемнаука. 2013. №3. С. 36-39.
5. Тирон Д.В. Исследование процесса испарения фаз в буровых растворах на углеводородной основе / Тирон Д.В., Уляшева Н.М. // Известия Томского политехнического университета. Томск: 2016. №4. С. 97-107.
6. Бобырь В. А. Судовая эргатическая функция сокращения потерь нефти от испарения // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2014. №4 (26). С. 115-120.
7. Берёзина И. С. Анализ методик расчета процесса испарения светлых нефтепродуктов при перевозке, хранении и сливно-наливных операций / И.С. Берёзина, С.Н. Головчун // Вестник АГТУ. 2008. №6 (47) С. 188-191. – ISSN 1812-9498
8. Дьяков К. В. Сверхнормативные потери топлива от испарения при хранении в резервуарах / К.В. Дьяков, Р.Е. Левитин, Ю.Д. Земенков // ГИАБ. 2014. №S4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sverhnormativnyye-poteri-topлива-ot-ispareniya-pri-hranenii-v-rezervuarah> (дата обращения: 26.12.2022).
9. Любин Е.А. Прогнозирование потерь нефти из вертикальных цилиндрических резервуаров // Записки горного института. Санкт-Петербург: 2009. Т.181. С.132-134.
10. Кузнецов Е.В. Методы сокращения потерь светлых нефтепродуктов при проведении технологических операций на нефтебазах. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: 2008. № S10 С. 316-322.
11. Нурман А.Д. Снижение потерь легких углеводородов в резервуарных парках. / А.Д. Нурман, Э.В. Осипов // Вестник технологического университета. Казань: 2015. №9. С. 157-159.
12. Кириллов Н.Г. Новая технология хранения нефтепродуктов. Энергетика и промышленность России: электронный журнал. 2003. №2 (30). URL: <https://www.eprussia.ru/epr/30/2000.htm/> (дата обращения: 26.12.2022).
13. Сафонова Е.В. Современные методы улавливания углеводородов при хранении и транспортировке / Е.В. Сафонова, А.В. Спиридонов, Т.В. Голубев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2021. №11. С. 79-85.
14. Габдинуров Р.Р. Применение мягких оболочек внутри резервуара для предотвращения потерь от испарения нефти и нефтепродуктов / Р.Р. Габдинуров, М.М. Гареев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет. 2021. №4. С. 39-44.
15. Туснина О.А. Теплотехнический расчет конструкций численными методами // Вестник МГСУ. 2013. №11. С. 91-98.
16. Кузин А.Я. Математическое моделирование нестационарного двухмерного теплопереноса в неоднородных деревянных наружных ограждениях / А.Я. Кузин, А.Н. Хуторной, Н.А. Цветков, С.В. Хон, Т.А. Мирошниченко // Известия ТПУ. 2006. №1. С.138-142.

17. Садыков Р.А. Численный расчет процессов теплопереноса в отдельных узлах многослойных ограждающих конструкций / Р.А.Садыков, Л.А. Халиуллина, Я. Э. Ломоносов // Известия КГАСУ. Казань: 2014. №2 (28). С. 136-143.
18. Кузнецов Е.В. Математическая модель и методика расчета тепло- и массообменных процессов в нефтяных резервуарах. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: 2010. № S5. С. 121-136.

#### References

1. Makushev YU.P. Khranenie nefteproduktov i snizhenie ikh poter' [Storage of petroleum products and reduction of their losses] / YU.P. Makushev, V.V. Ryndin // Nauka i tekhnika Kazakhstana, 2011, №3-4, Pavlodar: Pavlodarskii gosudarstvennyi universitet im. S. Toraigyrova. pp. 49-60.
2. Kozachok O.V. Primenenie polimernykh zashchitnykh pokrytii pri khranении нефти i nefteproduktov [The use of polymeric protective coatings in the storage of oil and oil products] // Zapiski gornogo instituta, Sankt-Peterburg: 2009, pp.132-134.
3. Nikol'skii B.P. Spravochnik khimika [Chemist's Handbook]. Moskva-Leningrad: Goskhimizdat Publ, 1968, 1071 p.
4. Savel'ev A.V. Tekhnicheskie aspekty sokrashcheniya estestvennoi ubyli nefteproduktov pri khranении v rezervuarnom parke [Technical aspects of reducing the natural loss of petroleum products during storage in a tank farm] / A.V. Savel'ev, V.F. Danilov, R.I. Kyunnop // Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya, Moskva: Obrakademnauka Publ, 2013, №3, pp. 36-39.
5. Tiron D.V. Issledovanie protsessa ispareniya faz v burovnykh rastvorakh na uglevodorodnoi osnove [Investigation of the process of phase evaporation in oil-based drilling fluids] / D.V. Tiron, N.M. Ulyasheva // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, Tomsk: 2016, №4, pp. 97-107.
6. Bobyr V. A. Sudovaya ehrgaticheskaya funktsiya sokrashcheniya poter' нефти ot ispareniya [Ship ergatic function to reduce oil loss from evaporation] // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova, 2014 – №4 (26), Sankt-Peterburg pp. 115-120.
7. Berezina I. S. Analiz metodik rascheta protsessa ispareniya svetlykh nefteproduktov pri perevozke, khranении i slivno-nalivnykh operatsii [Analysis of methods for calculating the process of evaporation of light petroleum products during transportation, storage and loading and unloading operations] / I.S. Berezina, S.N. Golovchun // Vestnik AGTU, 2008, №6 (47) pp. 188-191, – ISSN 1812-9498.
8. D'yakov K. V. Sverkhnormativnye poteri topliva ot ispareniya pri khranении v rezervuarakh [Excess losses of fuel from evaporation during storage in tanks] / K.V. D'yakov, R.E. Levitin, YU.D. Zemenkov // GIAB, 2014, №S4, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sverhnormativnye-poteri-topliva-ot-ispareniya-pri-khranении-v-rezervuarakh> (accessed 26.12.2022).
9. Lyubin E.A. Prognozirovaniye poter' нефти iz vertikal'nykh tsilindricheskikh rezervuarov [Prediction of Oil Losses from Vertical Cylindrical Tanks] // Zapiski gornogo instituta. Sankt-Peterburg: 2009, T.181, pp.132-134.
10. Kuznetsov E.V. Metody sokrashcheniya poter' svetlykh nefteproduktov pri provedении tekhnologicheskikh operatsii na neftebazakh [Methods for reducing losses of light oil products during technological operations at oil depots] // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal), M.: 2008, № S10, pp. 316-322.
11. Nurman A.D. Snizhenie poter' legkikh uglevodorodov v rezervuarnykh parkakh [Reducing losses of light hydrocarbons in tank farms] / A.D. Nurman, E.H.V. Osipov // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta, Kazan': 2015, №9. pp. 157-159.
12. Kirillov N.G. Novaya tekhnologiya khraneniya nefteproduktov [New technology for storage of petroleum products]. Ehnergetika i promyshlennost' Rossii: ehlektronnyi zhurnal, 2003, №2 (30), URL: <https://www.eprussia.ru/epr/30/2000.htm> (accessed 26.12.2022).
13. Safonova E.V. Sovremennyye metody ulavlivaniya uglevodorodov pri khranении i transportirovke [Modern methods of capturing hydrocarbons during storage and transportation] / E.V. Safonova, A.V. Spiridonov, T.V. Golubev // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye nauki 2021, №11. pp. 79-85.



14. Gabdinurov R.R. Primenenie myagkikh obolochek vnutri rezervuara dlya predotvrashcheniya poter' ot ispareniya nefii i nefteproduktov [The use of soft shells inside the tank to prevent losses from the evaporation of oil and oil products] / R.R. Gabdinurov, M.M. Gareev // Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. Ufimskii gosudarstvennyi neftyanoi tekhnicheskii universitet, Ufa: 2021, №4. pp. 39-44.
15. Tusnina O.A. Teplotekhnicheskii raschet konstruktii chislennymi metodami [Thermal engineering calculation of structures by numerical methods] // Vestnik MGSU, 2013, №11, pp. 91-98.
16. Kuzin A.YA. Matematicheskoe modelirovanie nestatsionarnogo dvukhmernogo teploperenosa v neodnorodnykh derevyannykh naruzhnykh ograzhdeniyakh [Mathematical modeling of non-stationary two-dimensional heat transfer in non-uniform wooden external fences] / A.YA. Kuzin, A.N. Khutornoi, N.A. Tsvetkov, S.V. Khon, T.A. Miroshnichenko // Izvestiya TPU, 2006, №1, pp.138-142
17. Sadykov R.A. Chislennyi raschet protsessov teploperenosa v ot-del'nykh uzlakh mnogoslouinykh ograzhdayushchikh konstruktii [Numerical calculation of heat transfer processes in separate nodes of multilayer enclosing structures] / R.A.Sadykov, L.A. Khaliullina, YA. EH. Lomonosov // Izvestiya KGASU, Kazan': 2014, №2 (28), pp. 136-143.
18. Kuznetsov E.V. Matematicheskaya model' i metodika rascheta teplo- i massoobmennykh protsessov v neftyanykh rezervuarakh [Mathematical model and methodology for calculating heat and mass transfer processes in oil reservoirs] // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal), M.: 2010, № S5, pp. 121-136.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Пичурин Александр Михайлович**, доцент, к.т.н., доцент кафедры судовых энергетических установок, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: pichurinam64@mail.ru

**Alexander M. Pichurin**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Ship Power Plants Department, Siberian State University of Water Transport, 33, Shchetinkina st, Novosibirsk, 630099

**Дмитриев Александр Сергеевич**, к.т.н., доцент кафедры судовых энергетических установок, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: a.s.dmitriev@nsawt.ru

**Alexander S. Dmitriev**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Ship Power Plants Department, Siberian State University of Water Transport, 33, Shchetinkina st, Novosibirsk, 630099

Статья поступила в редакцию 11.01.2023; опубликована онлайн 20.03.2023.  
Received 11.01.2023; published online 20.03.2023.