

УДК 621.6.03
DOI: 10.37890/jwt.vi79.478

Эксперименты по термическому обезвреживанию судовых нефтесодержащих вод

В.А. Чернов¹

О.П. Шураев¹

А.Г. Чичурин¹

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

Аннотация. В процессе эксплуатации энергетической установки судна неизбежно образование нефтесодержащих вод. Многочисленные методы и технологии, применяемые на судах, не всегда обеспечивают очистку нефтесодержащих вод до величины нефтесодержания, регламентируемой национальными и международными стандартами и требованиями. В этой связи разработка установок нового типа, позволяющих обеспечить полную очистку нефтесодержащих вод от нефтепродуктов, а также уменьшить их энергетические и массогабаритные показатели является актуальной. В статье представлены первые результаты экспериментальных исследований способа термического обезвреживания нефтесодержащих вод, заключающегося в их распылении в газовыпускном тракте судового дизеля с последующим испарением воды и дожиганием нефтепродуктов из состава нефтесодержащих вод отработавшими газами дизеля.

Исследования выполнялись на специально разработанном лабораторном стенде. Горелка стенда позволяет получить выпускные газы идентичные по составу и температуре отработавшим газам в газоходе судового дизеля. Через форсунку в газоход может подаваться различная среда. В рамках описываемого периода исследований оценивалось влияние расхода и состава подаваемой в газоход среды, на температуру в различных точках газохода и получаемый при этом состав уходящих газов.

Основной задачей данного этапа исследования является определение влияния расхода и состава среды, подаваемой в газоход, на соответствие параметров газа на выходе установки, нормам, предъявляемым к содержанию вредных веществ в отработавших газах судовых дизелей.

Ключевые слова: термическое обезвреживание нефтесодержащих вод, отработавшие газы судовых дизелей, измерение температуры и газовый анализ.

Experiments on thermal neutralization of marine oily waters

Vladimir A. Chernov¹

Oleg P. Shurayev¹

Alexander G. Chichurin¹

¹Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. During the operation of the ship's power plant, the formation of oily waters is inevitable. Numerous methods and technologies used on ships do not always ensure the purification of oily waters to the amount of oil content regulated by national and international standards and requirements. In this regard, the development of a new type of installations that allow for the complete purification of oily waters from petroleum products, as well as to reduce their energy and weight and size indicators is relevant. The article presents the first results of experimental studies of the method of thermal neutralization of oily waters, consisting in their spraying in the gas outlet tract of a marine diesel engine, followed by evaporation of water and afterburning of petroleum products from the composition of oily waters with exhaust diesel gases.

The research was carried out on a specially designed laboratory stand. The burner of the stand allows to obtain exhaust gases identical in composition and temperature to the exhaust gases in the flue of a marine diesel engine. A gas or liquid medium can be supplied to the flue through the nozzle. Within the framework of the described research period, the influence of the flow rate and composition of the medium supplied to the flue on the temperature at various points of the flue and the resulting composition of the exhaust gases were evaluated.

The main task of this stage of the study is to determine the effect of the flow rate and composition of the medium supplied to the flue on the compliance of the gas parameters at the outlet of the installation with the standards for the content of harmful substances in the exhaust gases of marine diesel engines.

Keywords: thermal neutralization of oily waters, exhaust gases of marine diesel engines, temperature measurement and gas analysis.

Введение

Судоходство, несомненно, играет важную роль в мировой экономике, но оно также оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Одним из наиболее опасных факторов этого негативного воздействия является загрязнение водной среды нефтепродуктами [1-4]. В процессе эксплуатации энергетической установки судна неизбежно происходит взаимное проникновение воды и нефтепродуктов, что приводит к образованию нефтесодержащих вод (НСВ). Многочисленные методы и технологии, применяемые на судах для очистки НСВ, хотя и способны значительно снизить содержание нефтепродуктов в НСВ, но не обеспечивают полную утилизацию этих нефтепродуктов. Например, достижение в современных системах очистки остаточного содержания нефтепродуктов на уровне 1...10 ppm удовлетворяет существующим национальным и международным стандартам, но тем не менее, некоторое количество нефтепродуктов попадает в водную среду [5-10]. Разработка установок нового типа, позволяющих обеспечить полную очистку НСВ от нефтепродуктов, а также уменьшить энергетические и массогабаритные показатели является актуальной.

Одним из перспективных способов, обеспечивающих полную утилизацию, является термическое (огневое) обезвреживание НСВ путем их распыления в газопускном тракте судового двигателя. Там происходит нагревание НСВ теплотой отработавших газов, испарение воды и последующее разложение и, возможно, дожигание нефтеостатка [10-12]. Для исследования указанных процессов разработан лабораторный стенд (рис. 1), состав и функциональные возможности которого достаточно подробно описаны в работе [13]. Первые настроечные запуски показали, что параметры продуктов сгорания на стенде при использовании в качестве топлива природного газа по большинству значений соответствуют параметрам продуктов сгорания судовых дизелей и газовых двигателей, следовательно, стенд вполне успешно имитирует условия в их газопускном тракте [13].

Лабораторный стенд позволяет устанавливать и регулировать температуру выпускных газов и массовый расход образцов НСВ. Контроль температуры осуществлялся с помощью 5 термодатчиков (Т02...Т06) установленных на газоходе с шагом 300 мм, так что нижняя точка гильзы термодатчика расположена на оси газохода. Еще один термодатчик (Т01) контролирует температуру НСВ в напорном баке. Все термодатчики подключены к блоку БРИЗ-АТ, задачей которого является регистрация измерений, их отображение на дисплее, архивация на карту памяти и передача на компьютер. Массовый расход НСВ зависит от давления в напорном баке, которое измеряется электронным датчиком давления и манометром. Форсунка с диаметром отверстия 0,5 мм для подачи образцов установлена между термодатчиками Т02 и Т03. Замер состава выпускных газов осуществляется газоанализатором ДАГ-510МВ, приемный зонд которого установлен между термодатчиками Т05 и Т06.

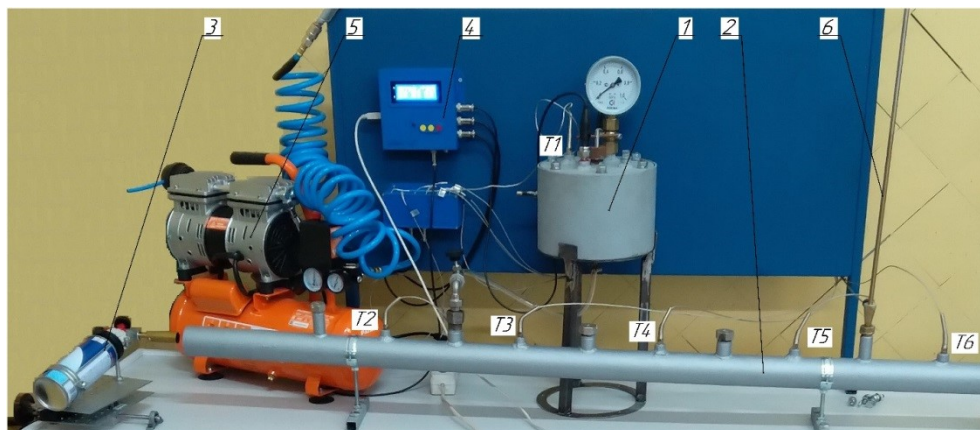


Рис. 1. Стенд для проведения экспериментального исследования: 1 - напорный бак, 2 - газоход, 3 - источник горячих газов, 4 - блок регистрации измерений, 5 - компрессор, 6 - зонд газоанализатора

Задачами данного этапа исследования являются:

- получение данных для определения границ работоспособности установки по составу уходящих газов;
- определение факторов, влияющих на критерии работоспособности.

Под работоспособностью установки прежде всего будем понимать соответствие параметров газа на выходе установки, нормам, предъявляемым к содержанию вредных веществ в отработавших газах судовых дизелей.

Методы

Эксперимент проводился в шесть этапов, отличающихся режимом работы элементов стенда. В качестве отклика на каждом этапе исследования рассматривалось распределение температуры по длине газохода и газовый состав на выходе из газохода.

На первом этапе работала только газовая горелка в качестве источника продуктов сгорания без подачи в газоход образцов НСВ. Данные по составу выпускных газов, полученные на данном этапе, будут являться эталонными для следующих этапов и позволят сопоставлять начальные условия в рамках предыдущих и последующих экспериментов.

На втором этапе при работающей горелке через форсунку для подачи НСВ в пространство газохода подавался воздух при давлении 0,6 МПа. Такой режим работы установки соответствует ситуации, когда НСВ в баке закончилась.

Третий и четвертый этапы состояли в подаче через форсунку чистой воды при давлении 0.6 и 0.2 МПа соответственно. Понижение давления было предпринято для уменьшения расхода воды через форсунку, так как в ходе третьего этапа выяснилось, что подача существенно превышает количество воды, которое может быть прогрето и испарено (см. в работе [11]) в потоке продуктов сгорания от горелки.

На пятом и шестом этапах в газоход подавалась НСВ, которая представляла собой смесь воды и дизельного топлива ДТ-Л-62-К5 ГОСТ 305-2013 в соотношении 245 г воды и 5 г топлива (нефтесодержание 2%) в первом случае, и 200 г + 50 г (нефтесодержание 20%) во втором. Давление в баке в обоих случаях поддерживалось 0,2 МПа.

Исследования проводились в помещении при температуре $21,5 \pm 1,2$ °С, давлении $996,7 \pm 0,2$ гПа, и относительной влажности 69 ± 3 %.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлены следующие стадии процесса обезвреживания НСВ: испарение влаги и нефтепродуктов, термическое разложение нефтепродуктов, выход летучих компонентов, формирование парогазовой смеси и появление локальной зоны окисления горючих компонентов.

В ходе первого этапа исследований достигнута температура продуктов сгорания газа в горелке 572 °С по данным термопары T02. Далее по длине трубы наблюдается закон распределения температуры, близкий к экспоненциальному (рис. 2).

Как ранее отмечалось, результаты первого этапа исследования будут служить эталоном при сравнении с ним результатов, полученных в ходе следующих этапов.

Так, в частности, подача воздуха через форсунку на втором этапе приводит к снижению температуры не только в направлении течения газа в газоходе (термопары T03, T04 и далее), но и в направлении к горелке (термопара T02). Это свидетельствует о наличии возвратного течения и схему движения воздуха и продуктов сгорания (ПСГ) можно представить как на рисунке 3. Вследствие перемешивания ПСГ и воздуха температура в всех точках газохода оказывается существенно ниже относительно результатов этапа 1.

При подаче через форсунку воды (этап 3) под достаточно высоким давлением и в относительно большом количестве, часть капель воды испаряется в полете, и пар движется аналогично потоку воздуха, понижая тем самым температуру термопары T02. Другая часть воды достигает нижней поверхности трубы, и испаряется с этой поверхности по всей длине трубы. При чрезмерно большой подаче часть воды не испаряется вовсе. Неиспарившаяся вода не оказывает значимого влияния на температуру газовой среды в трубе, стекая тонкой струйкой в нижней части трубы.

Для снижения расхода воды на четвертом этапе было понижено давление в баке до 0,2 МПа. Это привело к прекращению возвратного течения в нижней части трубы, что сказалось на температуре термопары T02. Эта температура вернулась к значению, характерному для этапа 1. Вместе с тем, температура термопары T03 практически совпадает с результатами предыдущего этапа, что свидетельствует о затратах теплоты на нагрев и испарение подаваемой воды. То есть можно сделать вывод о том, что нет необходимости поддерживать давление в баке выше 0,2 МПа. От давления в баке зависит подача НСВ. Ранее было показано [11], что максимальная подача НСВ в газоход должна примерно соответствовать расходу топлива двигателем. Снижение требуемого давления упрощает проведение эксперимента и сокращает энергетические затраты на утилизацию НСВ.

Выскажем предположение, что количество теплоты, затраченной на нагрев и испарение воды на этапах 3 и 4 примерно одинаково, что приводит к совпадению температуры на участке от термопары T03 и далее.

Введение НСВ (этап 5) приводит к снижению температуры T03 относительно результатов этапа 1, но к повышению температуры относительно результатов 3-го и 4-го этапов. По нашему мнению, такое возможно только в том случае, если в районе установки форсунки происходят экзотермические реакции разложения и окисления нефтепродуктов из состава НСВ. Причем, судя по графикам на рисунке 2, эти реакции практически заканчиваются возле точки установки термопары T04. Учитывая расстояния между термопарами, можно сказать, что при внутреннем диаметре трубы 50 мм, зона реакции составляет приблизительно 0,5 м, или 10 диаметров трубы.

Увеличение подачи НСВ на 6-м этапе привело к выходу температуры на значения, полученные на этапе 1. То есть тепловой эффект реакций разложения нефтепродуктов сопоставим с затратами теплоты на нагрев и испарение воды в составе НСВ.

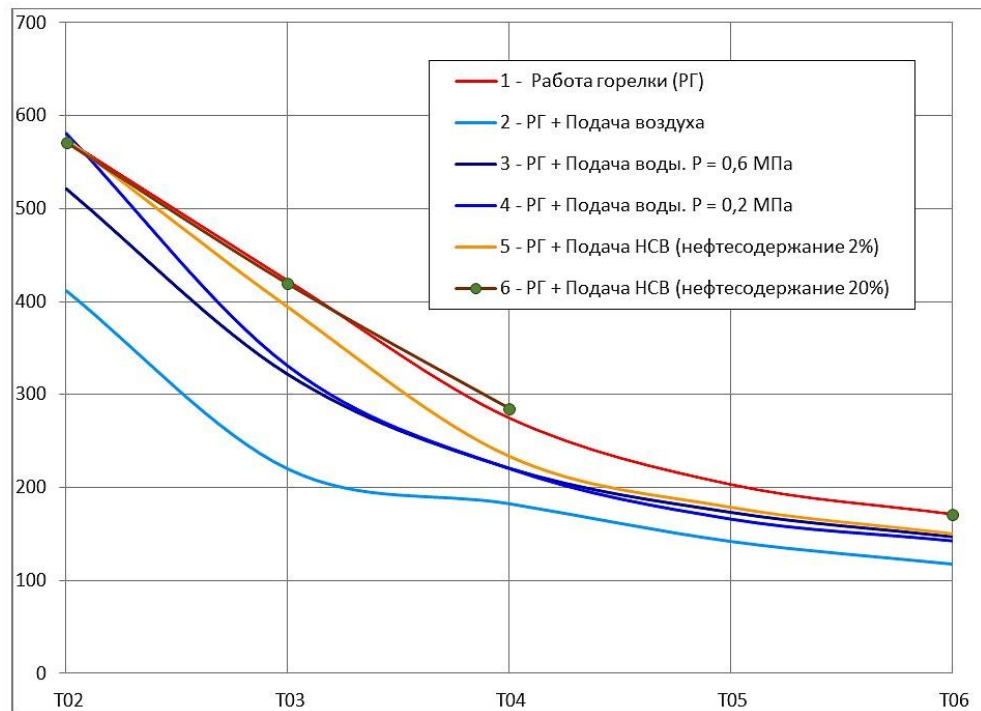


Рис. 2. Изменение температуры по длине газохода (средние по времени значения для каждой термопары)

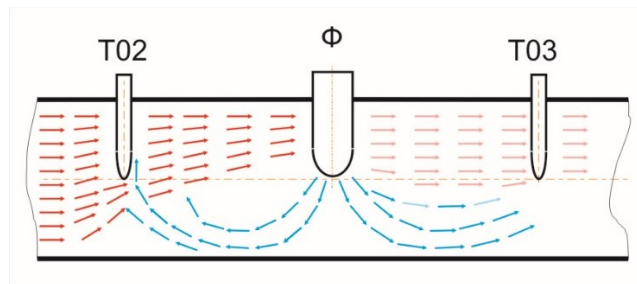


Рис. 3. Схема движения продуктов сгорания и воздуха

Согласно ГОСТ 31967-2012 в Российской Федерации нормируются в составе отработавших газов двигателей выбросы угарного газа CO , оксидов азота NO и NO_2 (в приведении к NO_2), углеводородов CH (в приведении к $\text{CH}_{1,85}$). При рассмотрении процессов огневого обезвреживания следует контролировать выбросы именно этих веществ (рис. 4).

При горении газа образуется небольшое количество монооксида азота NO . Это количество сохраняется и на всех прочих этапах, за исключением шестого, когда подается значительное количество нефтепродукта в составе НСВ. Окисление большого количества молекул топлива приводит к появлению диоксида азота NO_2 при снижении до нуля содержания монооксида азота NO .

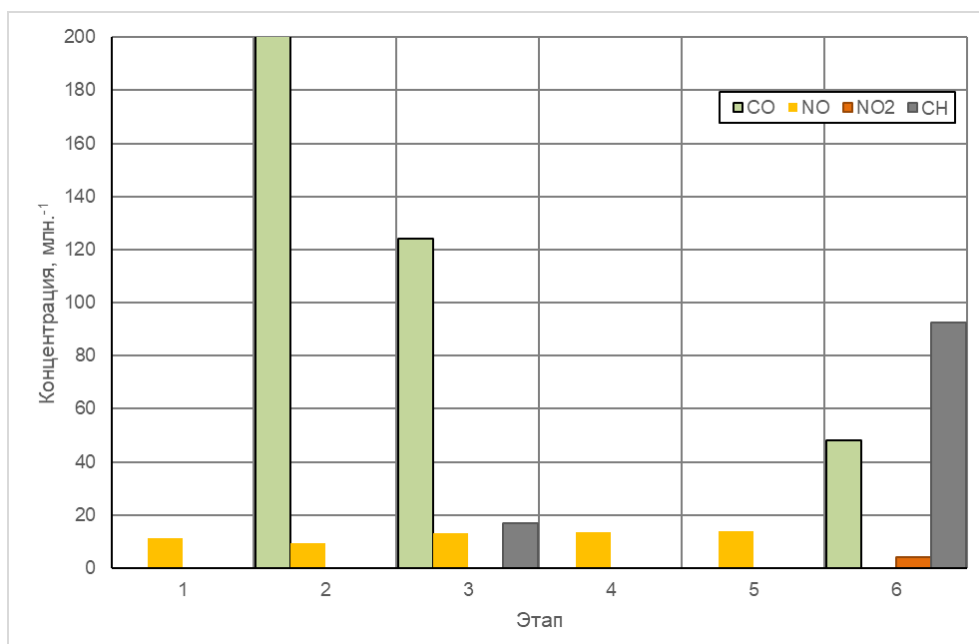


Рис. 4. Концентрация вредных веществ на выходе из газохода (средние значения на этапах)

Поступление воздуха, учитывая встречное движение, запирает газоход и затрудняет горение газа. Это приводит к существенному увеличению эмиссии угарного газа CO. Примерно такая же картина, но в меньшем масштабе наблюдается при избыточной подаче воды (этап 3). Снижение подачи воды (этап 4) возвращает эмиссию всех вредных веществ на уровень 1-го этапа.

Углеводороды CH наблюдались только на 3-м и 6-м этапах. Если при подаче воды (этап 3) их появление можно объяснить запираем газохода паровой фазой и ухудшением условий горения газа, то концентрация CH порядка 90...100 ppm при подаче НСВ с 20% содержанием нефтепродукта и отсутствие CH при подаче НСВ с 2% концентрацией, говорит о существовании некоторого предела, до которого происходит полное обезвреживание НСВ. Учитывая, что НСВ с высоким содержанием нефтепродукта может быть утилизирована в инсинераторе [14] или использована для получения водотопливной эмульсии [15], то областью применения данного способа огневого обезвреживания являются НСВ с содержанием нефтепродукта существенно меньше 20%. Точные границы области работоспособности установки предстоит установить в последующих экспериментах.

Выводы

Выполненные экспериментальные исследования термического метода термического обезвреживания нефтесодержащих вод показали, что

1. Температура продуктов сгорания при их движении от горелки к выходу убывает по длине трубы по закономерности, близкой к экспоненциальной.
2. Подача воздуха через форсунку может считаться штатным неисправным режимом работы установки утилизации НСВ. Такой режим диагностируется по резкому снижению температуры термопар T03 и T04, и особенно термопары T02.
3. Подача дистиллированной воды в ходе 3-го и 4-го этапов приводит к снижению температуры в рассматриваемых точках газохода вследствие затрат теплоты на ее испарение.

4. Подача НСВ с разным нефтесодержанием в ходе 5-го и 6-го этапов (2 и 20% соответственно) приводит к увеличению температуры в зоне реакции. Такое увеличение температуры можно объяснить исключительно подводом теплоты, и единственным возможным источником теплоты на этом участке газохода являются химические процессы, связанные с окислением молекул дизельного топлива в составе НСВ. Зона реакции обезвреживания НСВ сосредоточена на локальном участке от середины интервала между термопарами Т02 и Т03 до места установки термопары Т04. Это свидетельствует о том, что именно в этой области происходят ключевые химические реакции, приводящие к обезвреживанию нефтепродуктов. Таким образом, подача НСВ не только повышает температуру, но и активизирует химические процессы обезвреживания НСВ в этой зоне.

5. Углеводороды СН в уходящих газах были обнаружены только при подаче чистой воды под высоким давлением и при подаче НСВ с большим содержанием нефтепродуктов. При подаче НСВ с высоким содержанием нефтепродукта (20%) наблюдается высокая концентрация СН, в то время как при 2% концентрации НСВ их отсутствие указывает на существование предела полного обезвреживания НСВ.

6. Давление порядка 2 бар обеспечивает удовлетворительные условия для термической нейтрализации НСВ в газоходе. При этом от перепада давления зависит подача НСВ. Важно отметить, что масса НСВ, подаваемой в устройство обезвреживания, должна быть примерно равна массе сгоревшего топлива. Соблюдение этой пропорции является ключевым фактором для обеспечения эффективности процесса обезвреживания НСВ.

Список литературы

1. Зубрилов С.П. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов. Л., «Судостроение», 1989, 256 с.
2. Истомин В.И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод. Севастополь, Изд. СевНТУ, 2004, 202 с.
3. Решняк В.И. Основы очистки и утилизации нефтесодержащей воды в судовых энергетических установках: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.08.05. СПб, Изд. СПбГУВК, 1997, 47 с.
4. Истомин, В. И. Разработка и анализ экологической модели судовой энергетической установки и методика расчета оптимальной производительности систем очистки нефтесодержащих вод / В. И. Истомин, В. М. Цалоев, В. В. Хлебникова // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1-1(47). – С. 72-78. – DOI 10.37220/MIT.2020.47.1.005. – EDN DPGQSE.
5. Ходжаев, С. С. Современные процессы и установки для очистки судовых нефтесодержащих вод / С. С. Ходжаев, Н. А. Страхова // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 4(93). – С. 91-99. – DOI 10.34046/aumsnomt93/16. – EDN IJNPS.
6. Тихомиров Г.И. Технологии обработки воды на морских судах. Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2013. 159 с.
7. Методы утилизации нефтяных шламов / И. Ш. Хуснутдинов, А. Г. Сафиулина, Р. Р. Заббаров, С. И. Хуснутдинов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58. – № 10. – С. 3-20. – EDN UQCSGR.
8. Ксенофонтов, Б. С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
9. Писарев, А. О. Актуальные проблемы очистки судовых нефтесодержащих вод / А. О. Писарев, А. С. Курников // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2009. – № 27. – С. 97-108. – EDN ROBTXF.
10. Чернов В.А., Бевза Д.И., Шураев О.П., Чичурин А.А. Методы очистки нефтесодержащих вод // Вестник Астраханского государственного технического

- университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. №. 3. С. 50-59. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-50-59>.
11. Чичурин А.Г., Шураев О.П. Утилизация нефтесодержащих вод теплотой отработавших газов судовых дизелей. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2016. №47. С. 201-206.
 12. Пат. на полезную модель №151927 Россия, МПК F01N 3/029. Дизельная установка / А.Г. Чичурин, О.П. Шураев, М.Х. Садеков, В.Н. Власов – № 2014 121199/06. Заявл. 26.05.2014; Оpubл. 20.04.2015, Бюл. № 11.
 13. Чернов В.А., Шураев О.П., Чичурин А.Г. (2022). Стенд для исследования термического обезвреживания нефтесодержащих вод. // Научные проблемы водного транспорта, (73), 79-87. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.314>
 14. Калинина, Е. В. Анализ методов обезвреживания нефтесодержащих отходов / Е.В. Калинина, А.Г. Кочкина // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2013. – Т. 1. – С. 85-99. – EDN SNNOSD.
 15. Иванов, В.П. Использование нефтесодержащих отходов в качестве добавки к топливу, сжигаемому в паровом котле / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 16. – С. 178-183. – EDN YKQPLN.

References

1. Zubrilov S.P. Okhrana okruzhayushchei sredy pri ehkspluatatsii sudov. L., «Sudostroenie», 1989, 256 p.
2. Istomin V.I. Kompleksnaya ochestka sudovykh neftesoderzhashchikh vod. Sevastopol', Izd. SeVNTU, 2004, 202 p.
3. Reshnyak V.I. Osnovy ochestki i utilizatsii neftesoderzhashchei vody v sudovykh ehnergeticheskikh ustanovkakh: Avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.08.05. SPb, Izd. SPBGUVK, 1997, 47 p.
4. Istomin, V. I. Razrabotka i analiz ehkologicheskoi modeli sudovoi ehnergeticheskoi ustanovki i metodika rascheta optimal'noi proizvoditel'nosti sistem ochestki neftesoderzhashchikh vod / V. I. Istomin, V. M. Tsaloev, V. V. Khlebnikova // Morskoe intellektual'nye tekhnologii. – 2020. – № 1-1(47). – pp. 72-78. – DOI 10.37220/MIT.2020.47.1.005. – EDN DPGQSE.
5. Khodzhaev, S. S. Sovremennyye protsessy i ustanovki dlya ochestki sudovykh neftesoderzhashchikh vod / S. S. Khodzhaev, N. A. Strakhova // Ehkspluatatsiya morskogo transporta. – 2019. – № 4(93). – pp. 91-99. – DOI 10.34046/aumsnomt 93/16. – EDN IHJNPS.
6. Tikhomirov G.I. Tekhnologii obrabotki vody na morskikh sudakh. Vladivostok, Mor. gos. un-t, 2013. 159 p.
7. Metody utilizatsii neftyanykh shlamov / I. SH. Khusnutdinov, A. G. Safiulina, R. R. Zabbarov, S. I. Khusnutdinov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2015. – Т. 58. – № 10. – pp. 3-20. – EDN UQCSGR.
8. Ksenofontov, B. S. Flotatsionnaya obrabotka vody, otkhodov i pochvy. M.: Novye tekhnologii, 2010. 272 p.
9. Pisarev, A. O. Aktual'nye problemy ochestki sudovykh neftesoderzhashchikh vod / A. O. Pisarev, A. S. Kurnikov // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. – 2009. – № 27. – pp. 97-108. – EDN ROBTXF.
10. Chernov V.A., Bevza D.I., Shurayev O.P., Chichurin A.A. Metody ochestki neftesoderzhashchikh vod // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2022. №. 3. pp. 50-59. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-50-59>.
11. Chichurin A.G., Shurayev O.P. Utilizatsiya neftesoderzhashchikh vod teplotoi otrabotavshikh gazov sudovykh dizelei. // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. 2016. №47. pp. 201-206.
12. Pat. na poleznuyu model' №151927 Rossiya, МПК F01N 3/029. Dizel'naya ustanovka / A.G. Chichurin, O.P. Shurayev, M.Kh. Sadekov, V.N. Vlasov – № 2014 121199/06. Zayavl. 26.05.2014; Opubl. 20.04.2015, Byul. № 11.

13. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.G. (2022). Stend dlya issledovaniya termicheskogo obezvrezhivaniya neftesoderzhashchikh vod. // Nauchnye problemy vodnogo transporta, (73), 79-87. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.314>
14. Kalinina, E. V. Analiz metodov obezvrezhivaniya neftesoderzhashchikh otkhodov / E.V. Kalinina, A.G. Kochkina // Ekhologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika. – 2013. – Т. 1. – pp. 85-99. – EDN SNNOSD.
15. Ivanov, V.P. Ispol'zovanie neftesoderzhashchikh otkhodov v kachestve dobavki k toplivu, szhigaemomu v parovom kotle / V.P. Ivanov, V.A. Dronchenko // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2016. – № 16. – pp. 178-183. – EDN YKQPLN.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чернов Владимир Александрович, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: vov777@bk.ru

Vladimir A. Chernov, postgraduate, Volga state university of water transport, 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, Russia

Шураев Олег Петрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭСЭУ (Эксплуатации судовых энергетических установок) Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: solwrk@inbox.ru

Oleg P. Shurayev, Candidate of Technical Science, Assistant Professor, The Department «Operation of Ship Power Plants», Volga state university of water transport, 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, Russia

Чичурин Александр Геннадьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭСЭУ (Эксплуатации судовых энергетических установок) Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: alex1.chich@yandex.ru

Alexander G. Chichurin, Candidate of Technical Science, Assistant Professor, The Department «Operation of Ship Power Plants», Volga state university of water transport, 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, Russia

Статья поступила в редакцию 12.02.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.
Received 12.02.2024; published online 20.06.2024.