ISBN 978-5-901722-00-8

УДК 621.6

ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ СУДОВЫХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД: ТЕКУЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Чернов Владимир Александрович[1], аспирант
e-mail: vov7777@bk.ru

[1] Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Статья посвящена экспериментальному исследованию термического способа обезвреживания нефтесодержащих вод, образующихся при эксплуатации судовых энергетических установок. Способ основан на распылении нефтесодержащей воды в газоходе судового дизеля, где при высоких температурах происходит испарение, термическое разложение и полное сгорание органических компонентов. Эксперименты, выполненные на лабораторном стенде, моделирующем реальные параметры газового тракта, позволили выявить наиболее значимые факторы, влияющие на протекание процесса.

Ключевые слова: термическое обезвреживание нефтесодержащих вод, лабораторный стенд, нефтесодержащие воды.

THERMAL NEUTRALIZATION OF SHIPBOARD OILY WASTEWATER: CURRENT RESULTS

Vladimir A. Chernov[1], Doctoral Student
e-mail: vov7777@bk.ru

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

Abstract. The article is devoted to the experimental investigation of a thermal method for the treatment of oily wastewater generated during the operation of marine power plants. The method is based on spraying the oily water into the exhaust duct of a marine diesel engine, where, under high temperatures, evaporation, thermal decomposition, and complete combustion of organic components occur. Experiments conducted on a laboratory stand simulating the actual parameters of the exhaust system made it possible to identify the most significant factors affecting the efficiency of the process.

Keywords: Thermal treatment of oily wastewater, Laboratory test bench, Oily wastewater.

Способ термического обезвреживания нефтесодержащих вод представляет собой технологический процесс обработки загрязнённой водной среды путём воздействия на неё высоких температур. В результате такого воздействия происходят термическое разложение

(пиролиз), интенсивное испарение воды и полное окисление органических примесей, содержащихся в составе нефтесодержащих вод. Это особенно важно, поскольку на практике ни один из применяемых на судах методов очистки не обеспечивает полного удаления нефтепродуктов [2–7], тогда как даже незначительные остаточные концентрации (например, 1 мг/л) способны оказывать негативное воздействие на водные экосистемы. Это делает актуальным развитие способов полной нейтрализации, одним из которых является термическое обезвреживание.

Рассматриваемый способ основан на распылении НСВ в газовыпускной тракт судового двигателя. Под действием высокой температуры происходит последовательное испарение воды, термическое разложение и дожигание нефтепродуктов [7-8].

Для изучения способа термического обезвреживания нефтесодержащих вод в условиях, приближённых к реальным, был разработан лабораторный стенд (рис. 1), воспроизводящий температурные и газодинамические параметры газохода судового дизеля [9].

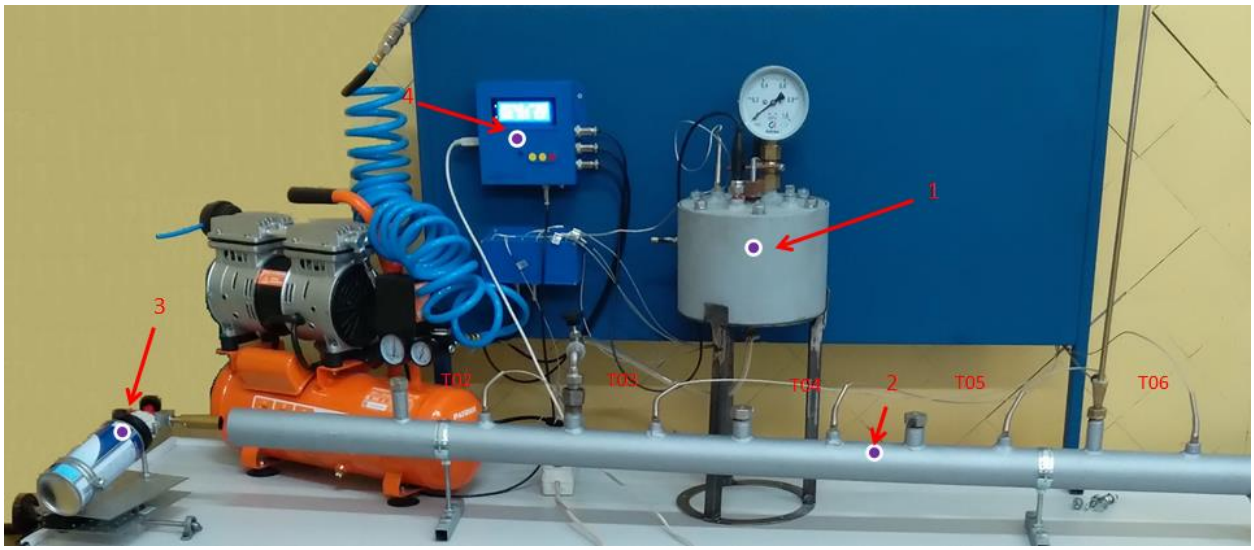

Рисунок 1 – Стенд для термического обезвреживания нефтесодержащих вод:
1 – напорный бак, 2 – газоход, 3 – Источник горячих газов, 4 – Блок регистрации измерений

Настроечные эксперименты подтвердили, что стенд точно имитирует характеристики газовыпуска, включая температуру, состав отработавших газов [9]. Установлено, что подача НСВ вызывает рост температуры в зоне реакции за счёт окисления дизельных фракций, что способствует их обезвреживанию.

На основании проведённых исследований [10] становится очевидно, что протекание процесса термического обезвреживания НСВ зависит от целого ряда факторов, включая температуру продуктов сгорания, концентрацию нефтепродуктов и давление подачи НСВ. Для количественной оценки каждого из этих параметров был проведён отсеивающий эксперимент.

Стенд, включающий в себя ряд функциональных узлов, позволяет варьировать температуру газового потока, давление подачи НСВ и концентрацию нефтепродуктов, тем самым обеспечивая широкий диапазон экспериментальных режимов. В его состав входит напорный бак — герметичная емкость, в которую предварительно заливаются НСВ. Над уровнем жидкости подается сжатый воздух, создающий избыточное давление. Это давление воздействует на свободную поверхность жидкости, выталкивая её через трубопровод к форсунке, установленной в газоходе. Давление регулирует расход НСВ.

Источником горячих газов служит газовая горелка, установленная на входе в газоход, имитирующая выхлопные газы судового дизеля и обеспечивающая необходимую температуру потока продуктов сгорания для термического обезвреживания нефтесодержащих вод. На лабораторной установке регулирование температуры осуществляется посредством настройки положения горелки относительно ввода в газоход и изменением расхода газа.

Для оценки влияния вышеуказанных факторов использован план Плакетта–Бермана, позволяющий минимизировать количество экспериментов при сохранении статистической достоверности. В исследовании варьировались три параметра:

1. Температура продуктов сгорания – 470…570 °C;
2. Концентрация нефтепродукта в НСВ – 0,5…2,5 %;
3. Давление подачи НСВ – 1,6…2,0 бар.
4. В каждом опыте были выделены три основных этапа: прогрев газохода, подача нефтесодержащих вод и восстановление температурного режима после завершения подачи. В рамках каждого этапа фиксировались температурные показатели (пример измерений, полученных в ходе опыта 4 представлен на рис. 2), состав продуктов сгорания (пример измерений, полученных в ходе опыта 4 представлен на рис. 3), а также давление и массовые расходы топлива (газа) и подаваемой НСВ. По результатам четырёх опытов был выполнен дисперсионный анализ, который позволил оценить значимость каждого фактора. Полученные данные представлены в таблице.

Таблица 1. Значимости факторов по результатам отсеивающего эксперимента

Отклик / ***Фактор***	***Температура в контрольных точках***					***Состав продуктов сгорания в контрольной точке***						
	T02	***T03***	***T04***	***T05***	***T06***	***O_2***	***Alf***	***CO***	***CO_2***	***NO***	***NO_2***	***CH***
Концентрация нефтепродукта в НСВ	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	+
Температура продуктов сгорания	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Давление подачи НСВ	—	—	—	+	—	+	+	+	+	+	—	—

«+» - значимый фактор, «—» - незначимый фактор

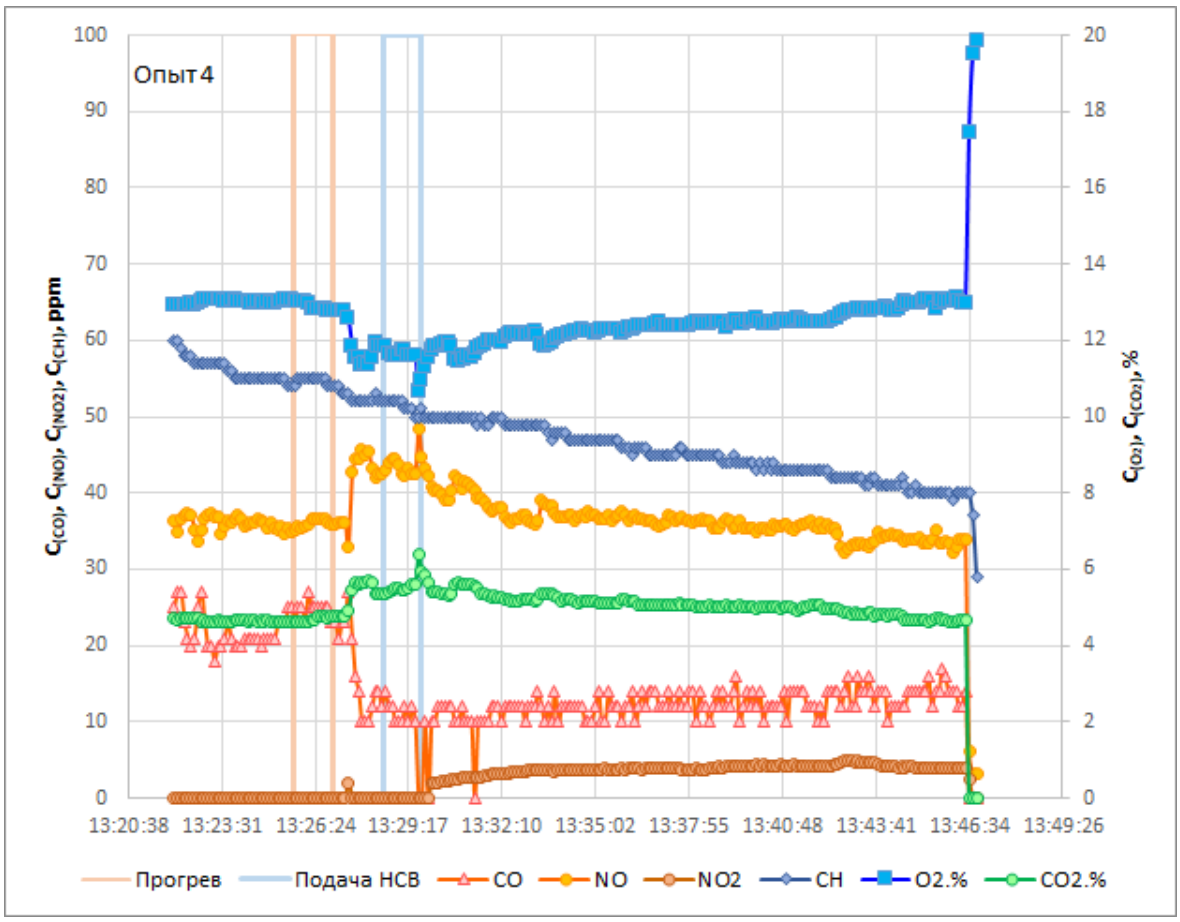

Рисунок 3 – Результаты газового анализа в ходе опыта 4. Выделены активные участки: левый соответствует фазе прогрева, правый — фазе подачи НСВ

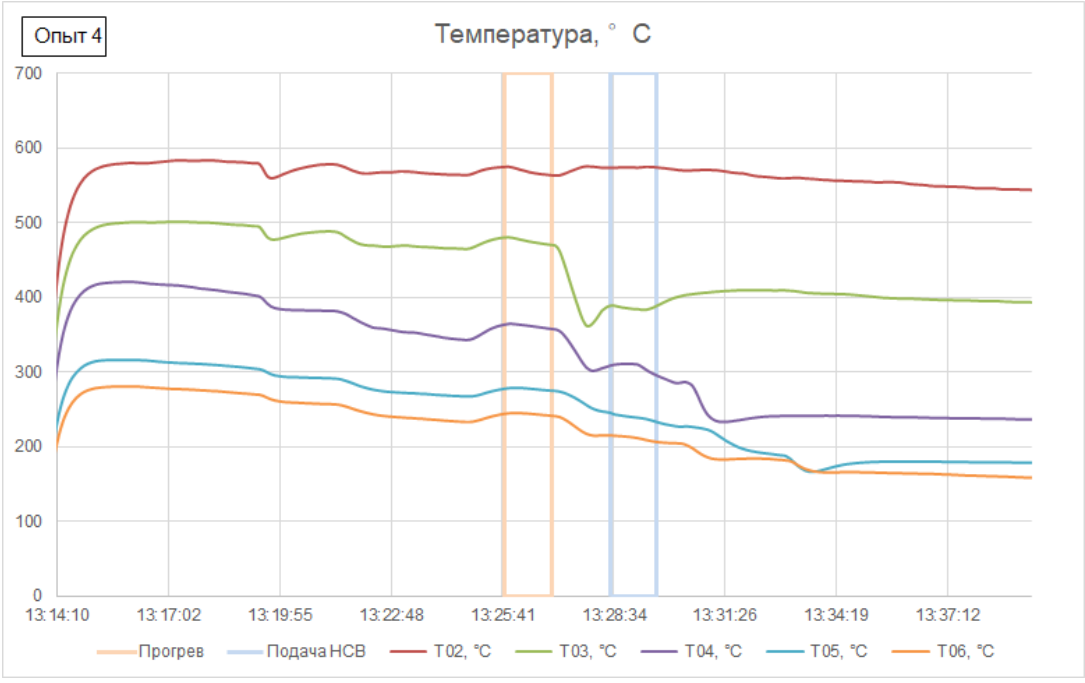

Рисунок 2 – Температура в газоходе в ходе опыта 4. Выделены активные участки: левый соответствует фазе прогрева, правый — фазе подачи НСВ

Анализ результатов отсеивающего эксперимента позволил убедиться, что температура продуктов сгорания является наиболее значимым фактором. Она оказывает определяющее влияние на температуры в контрольных точках газохода, а также заметно влияет на состав выхлопных газов.

Концентрация нефтепродукта в НСВ оказывает ограниченное влияние на температурный режим, однако значимо влияет на состав выхлопных газов. При увеличении концентрация нефтепродукта в НСВ установлено устойчивое снижение концентрации O_2 и CO, вместе с тем, наблюдается незначительное увеличение содержания NO. Также наблюдается умеренное влияние концентрации нефтепродукта на снижении содержание углеводородов CH.

Давление подачи НСВ оказывает незначительное влияние на температурные показатели в газоходе, однако влияет на состав выхлопных газов. С ростом давления фиксируется снижение концентраций O_2 и CO, а также повышение эмиссии NO. При этом влияние на содержание CH незначимо.

Выводы

На основании проведённых исследований и достигнутых результатов становится очевидным, что эффективность процесса термического обезвреживания нефтесодержащих вод определяется совокупностью факторов, среди которых ключевыми являются: концентрация нефтепродуктов, температура отработавших газов и давление подачи НСВ.

Температура продуктов сгорания газового топлива оказалась основным фактором, влияющим на распределение температур в газоходе. Концентрация нефтепродуктов в НСВ и давление в трубопроводе подачи нефтесодержащих вод, слабо влияющие на температуры в контрольных точках газохода, оказали значительное влияние на состав выхлопных газов.

Полученные результаты будут использованы при подготовке интерполяционного (экстремального) эксперимента на следующем этапе исследований.

Список литературы:

1. 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.

2. 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..

3. Тихомиров Г.И. Технологии обработки воды на морских судах. Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2013. 159 с.

4. 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.

5. Ксенофонтов, Б. С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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

10. Чернов, В. А., Шураев, О. П., Чичурин, А. Г., Гуро-Фролова, Ю. Р. Доводочные испытания стенда термического обезвреживания судовых нефтесодержащих вод. Научные проблемы водного транспорта, (80), 77-88. https://doi.org/10.37890/jwt.vi80.513