

УДК 621.6.03

DOI: 10.37890/jwt.vi80.513

## **Доводочные испытания стенда термического обезвреживания судовых нефтесодержащих вод**

**В.А. Чернов**

**О.П. Шураев**

**А.Г. Чичурин**

**Ю.Р. Гуро-Фролова**

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

**Аннотация.** Выполненные на стенде термического обезвреживания судовых нефтесодержащих вод исследования показали с одной стороны пригодность стенда для выполнения исследовательских работ, а с другой - выявили ряд неучтенных аспектов в конструкции стенда и его измерительной системы. В частности, заменена форсунка, обеспечивающая более мелкий распыл нефтесодержащей воды в газоход. Также, ранее было установлено, что для нормального распыления достаточно меньшего давления, по сравнению с проектным, что потребовало замены контрольного манометра и электронного датчика давления, с его последующей калибровкой. Для возможности расчета теплоэнергетических характеристик процесса термического обезвреживания установлена связь между давлением в баке и расходом нефтесодержащих вод через форсунку. В серии доводочных испытаний набрана статистика по распределению температуры по длине газохода без подачи и с подачей в него как чистой, так и нефтесодержащей воды. Полученные результаты свидетельствуют о дополнительном выделении теплоты при подаче в газоход нефтесодержащей воды. Экологические характеристики процесса термического обезвреживания контролировались газоанализатором. Во всех опытах отмечено снижение концентрации угарного газа практически до нуля. По результатам доводочных испытаний сделано заключение о готовности стенда для следующих экспериментов: отсеивающего и интерполяционных.

**Ключевые слова:** судовые нефтесодержащие воды; термическое обезвреживание; газоход судового двигателя; измерение давления, расхода, температуры; вредные выбросы в отработавших газах

## **Finishing bench tests for thermal neutralization of marine oily waters**

**Vladimir A. Chernov**

**Oleg P. Shurayev**

**Alexander G. Chichurin**

**Yuliya R. Guro-Frolova**

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

**Abstract.** The studies conducted on the ship's oily water thermal disposal test bench demonstrated, on the one hand, the suitability of the bench for research work, and on the other hand, revealed several unaccounted aspects in the design of the bench and its measuring system. Specifically, the nozzle was replaced to ensure finer atomization of the

oily water into the flue. Additionally, it was previously established that lower pressure than originally designed was sufficient for proper atomization, necessitating the replacement of the control manometer and the electronic pressure sensor, followed by their calibration. To enable the calculation of the thermal energy characteristics of the thermal disposal process, a correlation between the pressure in the tank and the flow rate of the oily water through the nozzle was established. In a series of fine-tuning tests, data were collected on the temperature distribution along the length of the flue without and with the injection of both clean and oily water. The results indicate additional heat release when oily water is injected into the flue. The environmental characteristics of the thermal disposal process were monitored using a gas analyzer. In all the tests, the decrease of carbon monoxide concentration to almost zero was noted. Based on the results of the fine-tuning tests, it was concluded that the bench is ready for the following experiments: screening and interpolation.

**Keywords:** marine oily waters; thermal neutralization; marine engine gas flue; measurement of pressure, flow rate of the oily water, temperature, harmful emissions in exhaust gases.

### Введение

Нефтепродукты являются причиной серьезного загрязнения водной среды, оказывая негативное воздействие на водные экосистемы. Они попадают в водную среду в результате аварий, сброса неочищенных или недостаточно очищенных нефтесодержащих вод (НСВ). Поэтому вопрос эффективности методов очистки судовых НСВ, наряду с другими мерами по предотвращению загрязнения водных ресурсов нефтепродуктами, становится крайне актуальным. Учитывая, что 85% мирового объема торговли осуществляется морским транспортом, увеличение загрязнения, вызванного судами, составляет значительную часть общего загрязнения водной среды, достигая 35% [1].

Современные методы обработки НСВ включают физическую, химическую, биологическую и комбинированную обработку [2-7]. Из-за разнообразного состава и возможности разделения нефтепродуктов в НСВ на различные слои [3, 4] требуются различные подходы к очистке. Хотя методы очистки, используемые на судах, способны существенно снизить содержание нефтепродуктов в НСВ, они не обеспечивают полного обезвреживания всех ее компонентов. Добиться полного обезвреживания НСВ возможно термическими способами, например в инсинераторах, в главных и вспомогательных паровых котлах, в нагревателях системы термальной жидкости и в системах инертных газов [8, 9, 10]. Инсинераторы получили широкое распространение на судах из-за возможности обезвреживания практически всех видов судовых отходов за счет высоких температур, достигающих 1100 °С. Современные инсинераторы могут использовать нефтяные остатки в качестве вторичного топлива для сжигания твердых отходов [8]. Анализ ряда работ [1, 8, 11] показывает, что основные недостатки данного оборудования связаны с энергосберегающей и экологической составляющей. Например, теплота, выделяемая отработавшими газами судового инсинератора, практически не используется. С точки зрения энергосбережения, эта высокопотенциальная теплота (температура, достигающая 1100°С), может быть полезно использована. Также, из-за неполного сгорания НСВ существует высокий риск возникновения выбросов загрязняющих веществ. Для предотвращения загрязнения, вызванного неполным сгоранием необходимо контролировать состав НСВ и не допускать содержание эмульгированной воды в них более 20 %, а также контролировать содержание кислорода в зоне горения [1, 11]. Актуальной задачей является создание новых типов установок, способных обеспечить полную очистку НСВ.

Перспективным направлением в области обезвреживания НСВ является еще один вариант, относящийся к термическим способам, осуществляемый путем распыления НСВ в газопускном тракте судового двигателя. Он предполагает нагревание НСВ

теплотой отработавших газов, испарение воды и последующее разложение и дожигание нефтеостатка [3, 12, 13]. Лабораторный стенд, предназначенный для изучения указанных процессов, подробно описан в работе [13]. Первые испытания показали, что «стенд успешно имитирует условия в газоходе судовых дизелей и газовых двигателей по температуре и составу продуктов сгорания» [13].

Задачами данного исследования являются подготовка к проведению отсеивающего и интерполяционного экспериментов с целью установления факторов, влияющих на температурный режим в газоходе и состав продуктов сгорания при подаче НСВ с различной концентрацией нефтепродуктов и накопление статистической информации о работе стенда на различных режимах.

### **Модернизация стенда**

По результатам предварительных испытаний [14], выявивших ряд недочётов, лабораторный стенд был модернизирован. Проведена замена форсунки, используемой для распыления НСВ, диаметр отверстия для подачи НСВ вместо 0,5 мм стал равен 0,2 мм. Это позволит обеспечить меньший размер капель при распылении НСВ и, тем самым, повысить эффективность процесса обезвреживания. Также было установлено, что давление порядка 2 бар достаточно для обеспечения термической нейтрализации НСВ. Для уменьшения шага дискретизации при оцифровке данных с датчика давления была произведена его замена: вместо датчика давления с диапазоном измерения 0...1,03 МПа установлен датчик с диапазоном измерения 0...0,25 МПа (0...2,5 бар). Показания данного датчика оцифровываются аналого-цифровым преобразователем на плате микроконтроллера в блоке регистрации измерений. Замена датчика потребовала проведения повторной калибровки этой части измерительной системы. Зависимость для преобразования уровня сигнала в единицы измерения давления приведена на рисунке 1.

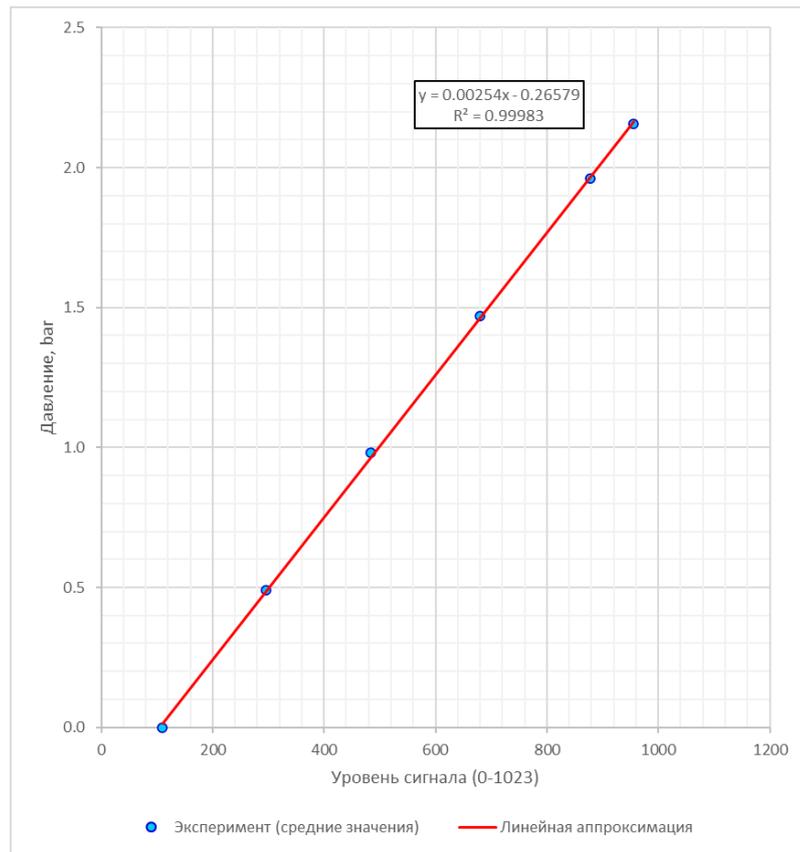


Рис.1. Калибровочная зависимость для датчика давления

Рисунок 1 показывает линейную зависимость сигнала от давления во всем анализируемом диапазоне давлений. Дискретность в 1024 уровня обеспечивает разрешающую способность 2,54 кПа.

Для возможности контроля полученных данных от датчика давления проведена замена манометра: новый имеет класс точности 1,5 и предел измерения до 2,5 кгс/см<sup>2</sup>.

### Определение зависимости расхода НСВ от давления в баке

В силу того, что определение расхода НСВ весовым методом на данном стенде возможно только при постэкспериментальной обработке данных, записанных на карту памяти, при разработке планов экспериментов и для контроля хода эксперимента необходимо установить связь между расходом НСВ и давлением в баке. Такая зависимость, очевидно, имеет место, и для ее определения была проведена серия из пяти опытов. В рамках каждого опыта давление последовательно понижалось с 2,5 бар до 1,0 бар с шагом 0,25 бар. На каждом шаге определялась навеска НСВ, подаваемая через форсунку за 180 с. Результаты опытов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Навеска НСВ (г) в зависимости от давления в баке

| Номер опыта               | Давление в баке, бар |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 1                    | 1,25  | 1,5   | 1,75  | 2     | 2,25  | 2,5   |
| 1                         | 40,22                | 45,71 | 50,58 | 55,54 | 60,47 | 63,49 | 67,43 |
| 2                         | 40,46                | 45,07 | 50,15 | 54,63 | 59,10 | 63,09 | 65,10 |
| 3                         | 42,23                | 47,63 | 53,71 | 59,05 | 63,99 | 68,83 | 76,02 |
| 4                         | -                    | -     | 52,47 | 57,49 | 62,67 | 67,23 | 71,16 |
| 5                         | 38,82                | 44,08 | 50,16 | 54,25 | 58,72 | 64,07 | 73,06 |
| Среднее                   | 40,4                 | 45,6  | 51,4  | 56,2  | 61,0  | 65,3  | 70,6  |
| СКО                       | 1,2                  | 1,3   | 1,4   | 1,8   | 2,0   | 2,3   | 3,9   |
| Относительная погрешность | 3,0%                 | 2,8%  | 2,8%  | 3,2%  | 3,3%  | 3,5%  | 5,5%  |

При всех значениях давления, кроме 2,5 бар, относительная погрешность расхода НСВ не превышает 3,5%. Значение 5,5% для 2,5 бар можно объяснить менее точной установкой давления в баке, так как это давление является пределом измерения как контрольным манометром, так и электронной измерительной системой. Пересчет навески в значения расхода позволяет получить график (рисунок 2), связывающий расход НСВ и давление в баке.

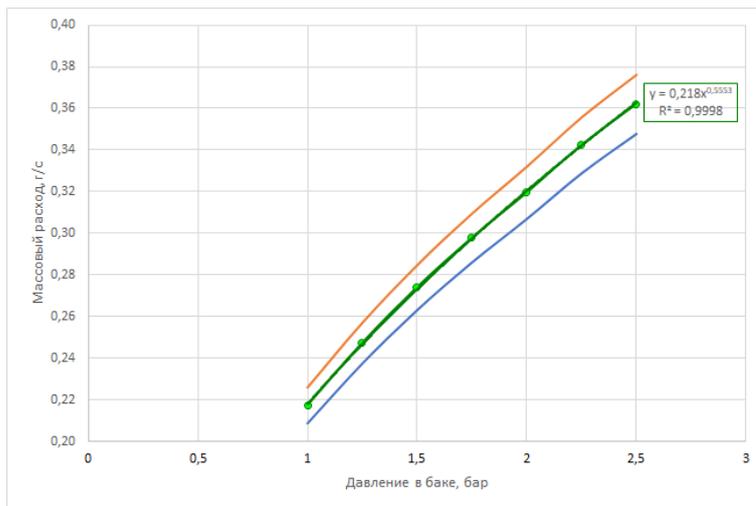


Рис.2. Зависимость массового расхода НСВ от давления в баке

Также на рисунке 2 показана верхняя и нижняя граница доверительного интервала при уровне значимости 3,5 %. Зависимость на графике очень хорошо аппроксимируется степенной функцией, которую применительно к общеупотребительным обозначениям давления и массового расхода можно записать как

$$G_{НСВ} = 0,218 \cdot P_6^{0,555},$$

где  $G_{НСВ}$  – массовый расход НСВ через форсунку, г/с;

$P_6$  – давление в баке, бар.

### **Эксперименты на стенде**

Экспериментальные исследования на модернизированном стенде термического обезвреживания НСВ проводились в пять этапов, при этом каждый этап отличался режимом работы элементов стенда. Эксперименты проводились в течение двух дней с целью контроля стабильности результатов, а также для отработки организационных мероприятий по созданию условий для повторения экспериментов при одинаковых настройках стенда. Такой подход позволял не только удостовериться в отсутствии дрейфа полученных данных, но и предоставлял возможность поэтапно наращивать объем обрабатываемой информации. Повторяемость испытаний способствовала созданию надежной базы данных и обеспечивала более глубокий анализ функционирования лабораторного стенда на протяжении достаточно длительного времени.

Как и ранее [13, 14] в рамках данного исследования анализировались распределение температуры по длине газохода и состав газов на выходе из него. На начальном этапе испытаний использовалась только газовая горелка в качестве источника продуктов сгорания без подачи НСВ. Этот режим был обусловлен необходимостью настройки стенда под параметры газоразводного тракта судовых дизелей.

В первый календарный день проводились исследования, охватывающие первые три этапа эксперимента. На первом этапе в газоход подавалась дистиллированная вода при давлении 2 бар. На втором и третьем этапе в газоход подавалась НСВ, которая представляла собой смесь дистиллированной воды и дизельного топлива ДТ-Л-62-К5 ГОСТ 305-2013 в соотношении 245 г воды и 5 г топлива (нефтепродукт 2%) в первом случае и 290 г + 8 г и (нефтепродукт 2.8%). В помещении, где установлен стенд, средняя температура составила 21 °С, давление 996,6 Па, при относительной влажности 56 %.

Второй календарный день был выделен для проведения исследований, охватывающих четвертый и пятый этапы. Нагрев стенда осуществлялся перед началом каждого из исследовательских этапов. Давление в баке поддерживалось 0,2 МПа. Исследования проводились в помещении при средней температуре 22 °С, давлении 1000,3 Па, и относительной влажности 54%.

На четвертом этапе в газоход подавалась НСВ, которая представляла собой смесь дистиллированной воды и дизельного топлива ДТ-Л-62-К5 ГОСТ 305-2013 в соотношении 245 г воды и 5 г топлива (нефтепродукт 2%), а на пятом – НСВ с содержанием 245 г воды, 4 г НСВ и 1 г поверхностно активных веществ (ПАВ) (нефтепродукт 2%).

### **Результаты и обсуждение**

Проведенная серия опытов позволила получить и систематизировать данные о распределении температуры на различных режимах работы стендовой установки термического обезвреживания НСВ (рисунок 3). Основных режимов мы выделим три: 1) работа только горелки – имитирует работу газохода с выключенной установкой; 2) подача через форсунку чистой воды; 3) подача через форсунку НСВ. При этом первые два режима можно рассматривать как две крайности, ограничивающие диапазон возможных значений температуры в рассматриваемых точках газохода. Третий режим будет соответствовать штатному рабочему режиму установки.

Обработка результатов рассматриваемой серии опытов позволила определить средние значения температуры в газоходе для каждой точки установки термодинамики. При работе горелки без подачи какой-либо среды через форсунку получен экспоненциальный закон изменения температуры

$$T = T_0 \cdot e^{-\lambda \cdot x}$$

где  $T$  – температура термопары;  $\lambda$  – параметр, характеризующий теплопередачу,  $x$  – координата установки термопары.

Подача воды через форсунку приводит к повышению температуры до форсунки (термопара T02) и к снижению температуры после точки установки форсунки (термопары T03, T04, T05). В конце газохода температура практически выравнивается до значения, характерного при работе горелки. Снижение температуры в рассматриваемых точках газохода происходит вследствие затрат теплоты на испарение воды. Повышение температуры термопары T02 вызвано «запиранием» потока газа при увеличении объема за счет паров подаваемой воды.

Подача НСВ с низким содержанием нефтепродуктов (2 %) при качественном сохранении картины, характерной при подаче чистой воды, тем не менее, приводит к увеличению температуры термопар T03, T04, T05. Такое увеличение может свидетельствовать о дополнительном тепловыделении при осуществлении реакции окисления нефтепродуктов из состава НСВ.

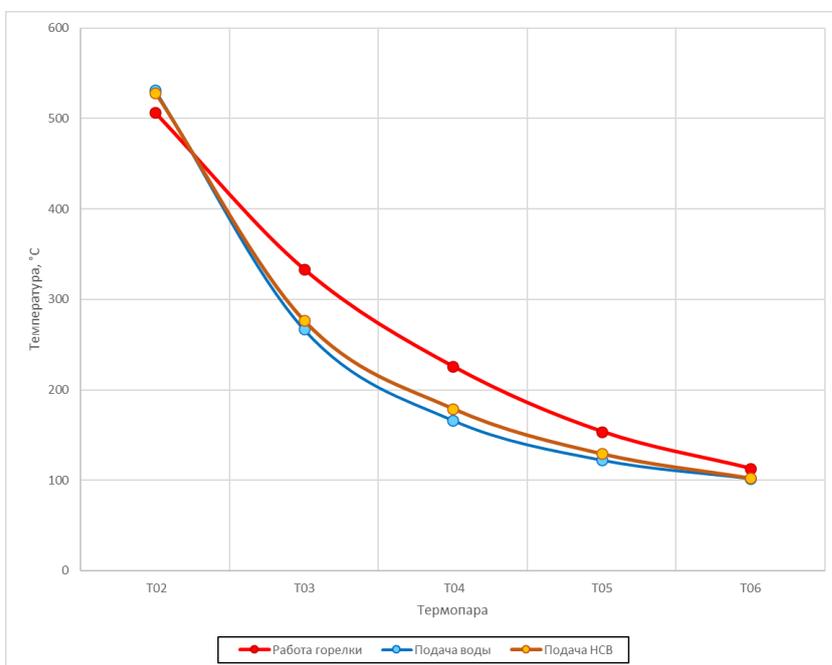


Рис.3. Значения температуры в газоходе, измеренные термопарами T02-T06

Поскольку установка оборудования для термического обезвреживания НСВ будет влиять на величину выбросов вредных (загрязняющих) веществ в отработавших газах двигателя, при проведении экспериментов значительное внимание уделялось газовому анализу. Анализ газового состава в газоходе выполнялся с помощью газоанализаторов ДАГ-510МВ и АГМ-510МВ. В Российской Федерации нормируются [15] выбросы в отработавших газах судовых двигателей оксидов азота NO и NO<sub>2</sub> (в приведении к NO<sub>2</sub>), угарного газа CO и остаточных углеводородов CH (для дизельных установок в приведении к пропану). Концентрация указанных газов контролировалась при проведении всех экспериментов.

При осуществлении опытов сформировался порядок действий, отраженный на графиках изменения температуры (по данным термопары зонда газоанализатора) и

концентрации газов (рисунок 4). Сначала включалась газовая горелка и прогревался газоход. На графиках формировался участок, характерный для данного режима. Вместе с тем, в силу кратковременности этого периода стабильные значения по некоторым газам получить не удалось. Следующим действием открывалась подача НСВ через форсунку. Это приводило к изменению рассматриваемых параметров. Для каждого опыта уже в ходе обработки записей выделялся стабилизированный участок в 10...15 мин., на котором усреднялись значения NO, NO<sub>2</sub>, CO и CH (таблица 2).

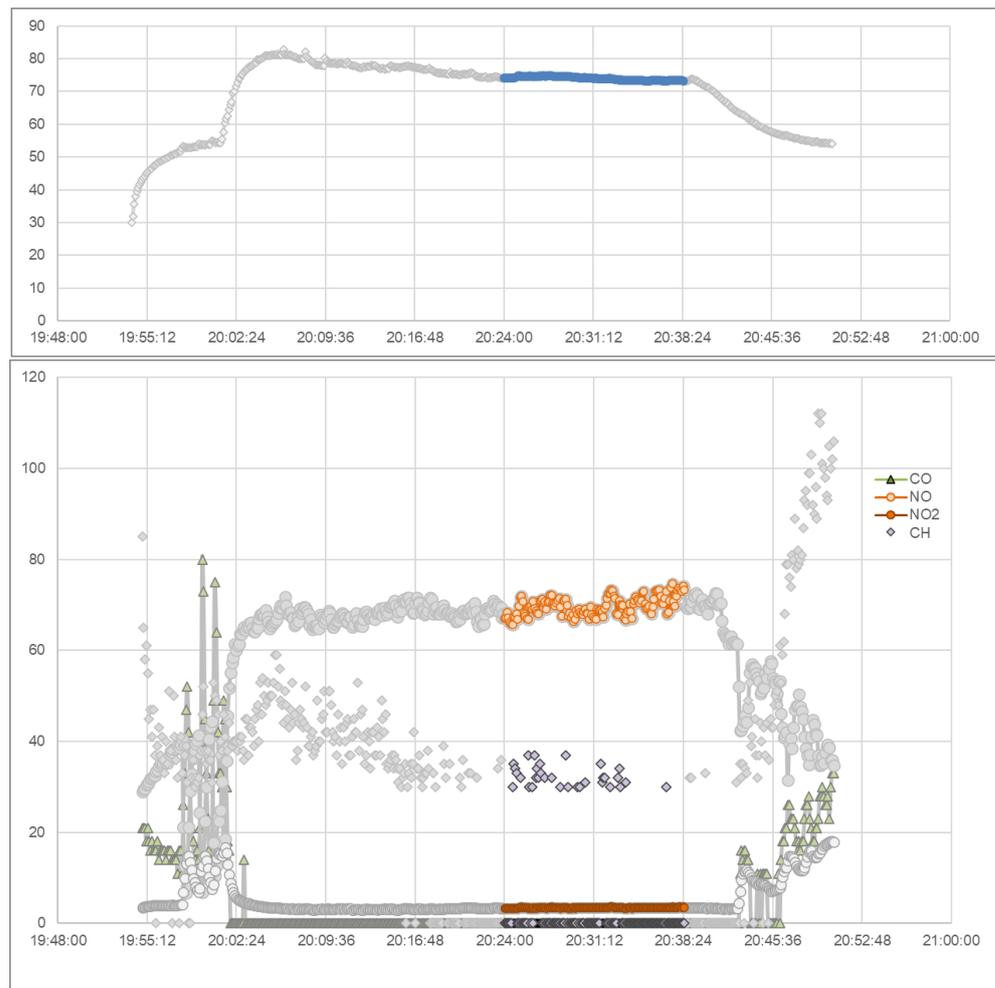


Рис.4. Пример записи данных о температуре газа, °С (вверху), и концентрации, млн.<sup>-1</sup> нормируемых веществ в газоход в течение отдельно взятого опыта. Цветом показан активный (стабилизированный) участок опыта

Концентрация диоксида азота NO<sub>2</sub> во всех случаях очень мала, поэтому, как и в судовых дизелях, в рассматриваемом стенде основной вклад в образование NO<sub>x</sub> вносит монооксид азота NO. Следует отметить повышение концентрации NO во всех опытах с подачей чистой воды или НСВ по сравнению с опубликованными ранее результатами [14] при работе газовой горелки.

Во всех опытах отмечается снижение практически до нуля концентрации угарного газа СО при подаче через форсунку чистой воды или НСВ, и восстановление исходных концентраций после прекращения поступления этих сред (см. рисунок 4).

Также во всех опытах зарегистрировано присутствие углеводородов СН, концентрация которых представляет повышенный интерес в рамках настоящего исследования. При подаче воды или НСВ наблюдается снижение концентрации СН, которая, как и в случае с СО, возрастает после выключения форсунки.

Таблица 2

**Результаты газового анализа**

| Подаваемая среда                                      | Нефте-содержа-ние | Tg, °C | O <sub>2</sub> ,% | СО, ppm | NO, ppm | NO <sub>2</sub> , ppm | CO <sub>2</sub> ,% | СН, ppm | Alf <sup>2</sup> |
|---|-------------------|--------|-------------------|---------|---------|-----------------------|--------------------|---------|------------------|
| Вода  | 0                 | 67.8   | 10.22             | 0       | 49      | 2.5                   | 6.06               | 37      | 1.84             |
| Вода(245 мл)<br>+ДизТопливо<br>(5 мл)                 | 2.0%              | 68.6   | 9.19              | 0       | 55      | 2.9                   | 6.63               | 33      | 1.69             |
| Вода(290 мл)<br>+ДизТопливо<br>(8 мл)                 | 2.8%              | 74.0   | 6.51              | 0       | 70      | 3.4                   | 8.14               | 32      | 1.40             |
| Вода(245 мл)<br>+ДизТопливо<br>(5 мл)                 | 2.0%              | 124.7  | 8.2               | 2       | 47      | 2.8                   | 7.2                | 132     | 1.7              |
| Вода(244 мл)<br>+ДизТопливо<br>(5 мл)<br>+ ПАВ (1 мл) | 2.0%              | 98.9   | 10.2              | 0       | 49      | 3.7                   | 6.1                | 85      | 1.84             |

Для численной оценки воздействия различных режимов работы стенда на параметры процесса термического обезвреживания НСВ дальнейшие исследования на стенде предполагают проведение отсеивающего эксперимента с целью выявления значимых и незначимых факторов, влияющих на процесс, а в дальнейшем интерполяционного эксперимента для определения оптимальных значений этих факторов.

**Выводы**

В результате выполнения текущего этапа исследований:

1. Получена калибровочная кривая для датчика давления, позволяющая преобразовать напряжение на входе микроконтроллера в значение давления.
2. Установлена зависимость между давлением в баке и расходом НСВ через форсунку.
3. Определен вид распределения температуры по длине газохода при различных режимах работы стенда.
4. Установлено, что подача НСВ повышает температуру газов в центральной части газохода по сравнению с подачей чистой воды, что может свидетельствовать о протекании экзотермических реакций в газоходе.
5. Подача воды или НСВ приводит к снижению концентрации СО практически до нулевых значений. При этом наблюдается также снижение концентрации углеводородов СН, однако концентрация

<sup>2</sup> Коэффициент избытка воздуха

монооксида азота NO возросла в 1,5...2 раза по сравнению с опытами без подачи какой-либо среды через форсунку.

6. Результаты доводочных испытаний демонстрируют достаточную стабильность измеряемых величин и отсутствие временного дрейфа.

7. На основании проведенных опытов можно заключить, что стенд полностью готов к проведению дальнейших исследований по планам отсеивающего и интерполяционного экспериментов.

#### Список литературы

1. Chen, Xin & Qin, Haofeng & Guo, Shijun & Cai, Jianbang. Critical Technology of Energy Conservation and Environmental Protection of Shipboard Incinerator. 2016. DOI:10.2991/iccahe-16.2016.35
2. Han, Meiling & Zhang, Jin & Chu, Wen & Chen, Jiahao & Zhou, Gongfu. Research Progress and Prospects of Marine Oily Wastewater Treatment: A Review. 2019.
3. Чернов В.А., Бевза Д.И., Шураев О.П., Чичурин А.Г. 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>.
4. Тихомиров Г.И. Технологии обработки воды на морских судах. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. 159 с.
5. Хуснутдинов И.Ш., Сафиулина А.Г., Заббаров Р.Р., Хуснутдинов С.И. Методы утилизации нефтяных шламов. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 10. С. 3-20. – EDN UQCSGR.
6. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
7. Писарев А.О., Курников А.С. Актуальные проблемы очистки судовых нефтесодержащих вод. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2009, № 27. С. 97-108. – EDN ROBTXF
8. Тимофеев П.А. Обоснование разработки современной инсинераторной установки с возможностью сжигания нефтяных остатков // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018, № S1. – С. 142-150. – DOI 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-142-150.
9. Руководство по применению положений Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78. НД № 2-030101-026, РМРС. СПб.: 2016. [Guidelines on the application of provisions of the International Convention MARPOL 73/78. ND No. 2-030101-026, RS, SPb.: 2016. (in Russian)].
10. Иванов В.П., Дронченко В.А. Использование нефтесодержащих отходов в качестве добавки к топливу, сжигаемому в паровом котле // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2016, № 16. С. 178-183. – EDN YKQPLN.
11. Prelec, Zmagoslav & Mrakovčić, Tomislav & Dragičević, Viktor. Technical and Environmental Aspects of Shipboard Incinerators Design. Annals of Maritime Studies; Vol.43 No.1. 2005
12. 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.
13. Чернов В.А., Шураев О.П., Чичурин А.Г. Стенд для исследования термического обезвреживания нефтесодержащих вод. // Научные проблемы водного транспорта. 2022, №73. С. 79-87. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.314>
14. Чернов В.А., Шураев О.П., Чичурин А.Г. Эксперименты по термическому обезвреживанию судовых нефтесодержащих вод. // Научные проблемы водного транспорта. 2024, №79. С. 79-87.
15. Российское классификационное общество. Правила предотвращения загрязнения окружающей среды с судов. М.: 2019 (перезд. 2022). / URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PPZS.pdf?t=1718632553> (Дата обращения 19.05.2024)

### References

1. Chen, Xin & Qin, Haofeng & Guo, Shijun & Cai, Jianbang. Critical Technology of Energy Conservation and Environmental Protection of Shipboard Incinerator. 2016. DOI:10.2991/iccahe-16.2016.35
2. Han, Meiling & Zhang, Jin & Chu, Wen & Chen, Jiahao & Zhou, Gongfu. Research Progress and Prospects of Marine Oily Wastewater Treatment: A Review. 2019.
3. Chernov V.A., Bevza D.I., Shurayev O.P., Chichurin A.G. Metody ochistki neftesoderzhashchikh vod // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2022, № 3. s. 50-59. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-50-59>.
4. Tikhomirov G.I. Tekhnologii obrabotki vody na morskikh sudakh. Vladivostok, Mor. gos. un-t, 2013. 159 s.
5. 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. – S. 3-20. – EDN UQCSGR.
6. Ksenofontov B.S. Flotatsionnaya obrabotka vody, otkhodov i pochvy. M.: Novye tekhnologii, 2010. 272 s.
7. Pisarev A.O., Kurnikov A.S. Aktual'nye problemy ochistki sudovykh neftesoderzhashchikh vod. // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. – 2009. – № 27. – S. 97-108. – EDN ROBTXF
8. Timofeev P.A. Obosnovanie razrabotki sovremennoi insineratornoi ustanovki s vozmozhnost'yu szhiganiya neftyanykh ostatkov // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra. – 2018. – № S1. – S. 142-150. – DOI 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-142-150.
9. Rukovodstvo po primeneniyu polozenii Mezhdunarodnoi Konventsii MARPOL 73/78. ND № 2-030101-026, RMRS. SPb.: 2016. [Guidelines on the application of provisions of the International Convention MARPOL 73/78. ND No. 2-030101-026, RS, SPb.: 2016. (in Russian)].
10. Ivanov V.P., Dronchenko V.A. Ispol'zovanie neftesoderzhashchikh otkhodov v kachestve dobavki k toplivu, szhigaemomu v parovom kotle // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2016. – № 16. – S. 178-183. – EDN YKQPLN.
11. Prelec, Zmagoslav & Mrakovčić, Tomislav & Dragičević, Viktor. Technical and Environmental Aspects of Shipboard Incinerators Design. Annals of Maritime Studies; Vol.43 No.1. 2005
12. Chichurin A.G., Shurayev O.P. Utilizatsiya neftesoderzhashchikh vod toplotoi otrabotavshikh gazov sudovykh dizelei. // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. 2016. №47. S. 201-206.
13. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.G. Stend dlya issledovaniya termicheskogo obezvrezhivaniya neftesoderzhashchikh vod. // Nauchnye problemy vodnogo transporta, 2022, №73, s. 79-87. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.314>
14. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.G. Ehksperimenty po termicheskomu obezvrezhivaniyu sudovykh neftesoderzhashchikh vod. // Nauchnye problemy vodnogo transporta, 2024, №79, s. 79-87.
15. Rossijskoe klassifikacionnoe obshchestvo. Pravila predotvrashcheniya zagryazneniya okruzhayushchej sredy s sudov. M.: 2019 (pereizd. 2022). / URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PPZS.pdf?t=1718632553> (Data obrashcheniya 19.05.2024)

### 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: [vov7777@bk.ru](mailto:vov7777@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 эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: solwrk@inbox.ru

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

**Гуро-Фролова Юлия Романовна**, к. п. н., доцент, заведующая кафедрой иностранных языков и конвенционной подготовки, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: aspirant\_vguvt@mail.ru

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

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

**Yuliya R. Guro-Frolova**, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages and Convention Training, Volga state university of water transport, 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, Russia

Статья поступила в редакцию 18.06.2024; опубликована онлайн 20.09.2024.  
Received 18.06.2024; published online 20.09.2024.