

УДК 621.6.03  
DOI: 10.37890/jwt.vi86.687

## **Определение предельного содержания нефтепродуктов при термическом обезвреживании нефтесодержащих вод в газоходе, моделирующем газоразводную трубопроводную систему судового дизеля**

**В.А. Чернов**  
**О.П. Шураев**  
**А.Г. Чичурин**

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

**Аннотация.** Определение предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в нефтесодержащих водах, подаваемых в газоразводную систему судового дизеля, является обязательным этапом определения границ эффективной и экологически допустимой работы стенда (установки) термического обезвреживания.

При распылении нефтесодержащих вод в поток высокотемпературных продуктов сгорания одновременно протекают процессы нагрева капель, испарения, термического разложения и окисления, что приводит к изменению температурного режима и состава уходящих газов.

В работе приведены результаты экспериментального исследования влияния концентрации нефтепродуктов в нефтесодержащих водах на температурное поле газохода и концентрации нормируемых компонентов продуктов сгорания. Эксперименты выполнены на лабораторном стенде, моделирующем параметры газоразводной системы судового дизеля, при постоянной температуре продуктов сгорания 520 °С и давлении подачи НСВ 1,8 бар. Концентрация нефтепродуктов варьировалась в диапазоне 0,1–11,5 %.

Совместный анализ температурного поля и состава уходящих газов (СО, NO, NO<sub>2</sub>, СН) позволил выявить диапазон концентраций, в пределах которого процесс термического обезвреживания протекает устойчиво и без ухудшения экологических характеристик источника выбросов. При превышении данного диапазона наблюдается качественная перестройка теплового и химического режимов, сопровождающаяся изменением эмиссионных показателей.

Полученные результаты формируют экспериментально обоснованные границы функционирования способа и создают основу для перехода к проведению интерполяционного (экстремального) эксперимента.

**Ключевые слова:** судовые нефтесодержащие воды; термическое обезвреживание; газоход судового двигателя; интерполяционный (экстремальный) эксперимент.

## **Determination of the limiting petroleum product content during the thermal treatment of oil-containing wastewater in a gas duct simulating the exhaust pipeline of a marine diesel engine**

**Vladimir A. Chernov**  
**Oleg P. Shurayev**  
**Alexander G. Chichurin**

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

**Abstract.** Determining the maximum permissible concentration of petroleum products in oily wastewater supplied to the exhaust tract of a marine diesel engine is a mandatory step in defining the boundaries of efficient and environmentally acceptable operation of a thermal treatment test bench (installation).

When oily wastewater is atomized into a flow of high-temperature combustion products, simultaneous processes of droplet heating, evaporation, thermal decomposition, and oxidation occur, leading to changes in the temperature regime and the composition of the exhaust gases.

The results of an experimental study of the influence of petroleum product concentration in oily wastewater on the temperature field of the gas duct and on the concentrations of regulated components of combustion products are presented in the article. The experiments were carried out using a laboratory test bench simulating the parameters of a marine diesel engine exhaust system at a constant combustion gas temperature of 520 °C and an oily wastewater supply pressure of 1.8 bar. The concentration of petroleum products was varied within the range of 0.1–11.5%.

A combined analysis of the temperature field and exhaust gas composition (CO, NO, NO<sub>2</sub>, CH) made it possible to identify a concentration range within which the thermal treatment process proceeds steadily without deterioration of the environmental performance of the emission source. When this range is exceeded, a qualitative restructuring of the thermal and chemical regimes is observed, accompanied by changes in emission characteristics.

The obtained results establish experimentally substantiated operational boundaries for the proposed method and provide a basis for proceeding to an interpolation (extremal) experimental study.

**Keywords:** marine oil-containing waters; thermal treatment; marine engine exhaust duct; interpolation (extreme-value) experiment.

### **Введение**

Анализ проблем, возникающих при очистке судовых нефтесодержащих вод (НСВ), показывает всю сложность ее решения и недостатки существующих для этой цели судовых технических средств [1, 2]. Одним из перспективных направлений обезвреживания НСВ является термический способ, суть которого состоит в утилизации НСВ в отработавших газах судовых двигателей.

Процесс термического обезвреживания нефтесодержащих вод протекает в условиях совместного тепло- и массообмена между газовым потоком, водной фазой и органической составляющей загрязнений. При подаче нефтесодержащих вод в высокотемпературную газовую среду реализуется последовательность стадий, включающая нагрев капель, испарение воды, термическое разложение углеводородов и окисление образующихся продуктов [3, 4, 5, 6]. Соотношение между этими стадиями определяется не только температурным уровнем газового потока, но и составом подаваемой НСВ.

С увеличением содержания нефтепродуктов в НСВ изменяются условия протекания процесса, что отражается на тепловом режиме газового потока и характере распределения температуры по длине газохода. При определённых концентрациях нефтепродуктов данные изменения могут приводить к нарушению устойчивости процесса термического обезвреживания, сопровождающемуся неполным дожиганием углеводородов и ростом концентраций токсичных компонентов в отработавших газах.

В этой связи концентрация нефтепродуктов в НСВ может рассматриваться как параметр, ограничивающий допустимый режим работы системы термического обезвреживания. Превышение некоторого предельного значения данного параметра приводит к ухудшению экологических характеристик процесса, тогда как его занижение неэкономично с точки зрения утилизационного потенциала способа.

К настоящему времени проведен отсеивающий эксперимент [7], показавший, что температурное поле в газоходе при подаче НСВ определяется только входной температурой потока, а газовый состав зависит от температуры, концентрации НСВ (за исключением оксида азота NO<sub>2</sub>) и давления впрыска (за исключением оксида азота NO<sub>2</sub> и углеводородов CH). Перед проведением интерполяционного эксперимента

целесообразно установить границы эффективной работы стенда термического обезвреживания, касающиеся предельной концентрации НСВ.

Для определения максимально допустимой концентрации нефтепродуктов в НСВ был подготовлен эксперимент, направленный на изучение влияния данного фактора на температурные характеристики газового потока и состав продуктов сгорания.

Таким образом, целью текущего этапа исследования является определение влияния концентрации нефтепродуктов в НСВ на температурное поле в газоходе и содержание нормируемых вредных веществ в уходящих газах, что позволяет установить предельное содержание нефтепродуктов, обеспечивающее протекание процессов испарения, термического разложения и окисления в газоразводящем тракте, не ухудшающее экологические показатели источника выбросов: в рассматриваемом варианте – горелки стенда, в перспективе – судового дизеля.

### Методы исследования

Исследование процесса термического обезвреживания НСВ и определение допустимого содержания нефтепродуктов в их составе проводилось в лабораторных условиях на стенде рис. 1, воспроизводящем температурные и газодинамические параметры газохода судового дизельного двигателя [8]. Конструкция стенда обеспечивала формирование устойчивого высокотемпературного газового потока и подачу в мелкораспыленном виде нефтесодержащих вод с заданными физико-химическими характеристиками.

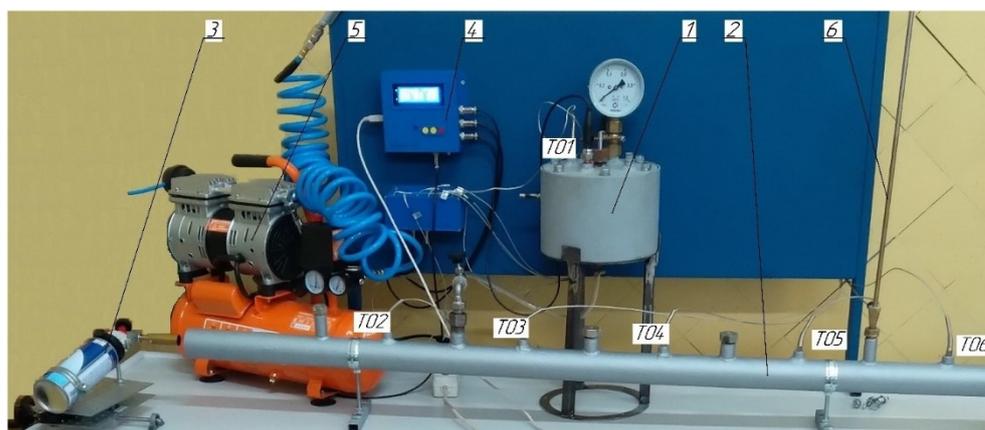


Рис. 1. Стенд для термического обезвреживания нефтесодержащих вод  
1 – напорный бак, 2 – газоход, 3 – источник горячих газов, 4 – блок регистрации измерений, 5 – компрессор, 6 – зонд газоанализатора

Источником высокотемпературных продуктов сгорания служит газовая горелка, позволяющая формировать газовый состав и температурный режим, характерный для газоразводящих систем судовых дизелей. Температура газового потока регулировалась режимом работы горелки и контролировалась в характерных сечениях газохода с помощью термопар (T02...T06 на рис. 1).

Подача нефтесодержащих вод в газовый тракт осуществлялась через трубопровод под давлением, поддерживаемым на заданном уровне в течение каждого опыта. Концентрация нефтепродуктов задавалась приготовлением модельных смесей с требуемым объемным содержанием нефтепродуктов.

Состав продуктов сгорания определялся с использованием газоанализатора АГМ-510МВ, выполняющим измерение концентрации оксида углерода CO, оксидов азота (раздельно NO и NO<sub>2</sub>) и углеводородов (CH) после выхода газового потока из зоны термического обезвреживания на всех режимах работы стенда.

В рамках данной серии опытов температура продуктов сгорания (520 °С) и давление подачи НСВ (1,8 бар) поддерживались постоянными и соответствующими значениям в центре плана отсеивающего эксперимента, тогда как концентрация нефтепродуктов изменялась в диапазоне от 0,1 до 11,5 %. Опыт при концентрации 3,5 % проводился дважды с целью проверки воспроизводимости результатов. План эксперимента приведён в таблице.

Таблица

**План эксперимента для определения допустимой концентрации нефтепродуктов в НСВ**

Фактор Опыт	Температура продуктов сгорания газового топлива,		Концентрация нефтепродукта в НСВ		Давление в трубопроводе подачи нефтесодержащих вод,	
	Код	T <sub>вых</sub> , °С	Код	НСВ, %	Код	рвпр, бар
1	0	520	-1,4	0,1	0	1,8
2			0	1,5		
3			+2	3,5		
4			+10	11,5		

Каждый опыт реализовывался по трёхэтапной схеме. На первом этапе осуществлялся прогрев газохода до заданной температуры. На втором этапе в поток продуктов сгорания подавалась НСВ с заданной концентрацией нефтепродуктов. На третьем этапе, после завершения подачи жидкости, установка функционировала в режиме сухого газохода, что сопровождалось повышением температуры газовой среды.

Одной из задач при проведении опытов являлась оценка соответствия фактических условий их плановым значениям. Температура газового потока относится к числу существенно влияющих факторов, определяющих характер протекания процессов в газоходе. При этом определяющим является не только значение входной температуры, регистрируемой термопарой T02, но и распределение температуры по всей длине канала.

Для контроля температурного режима ранее была разработана математическая модель изменения температуры по длине газохода на этапе прогрева [9]. Модель позволяет по заданной входной температуре рассчитывать плановые значения температуры во всех контрольных сечениях. На рис. 2 представлено распределение температуры по длине газохода на этапе прогрева, полученное экспериментально и сопоставленное с расчётной зависимостью, полученной в работе [9]

$$\frac{t - t_{окр}}{t_{T02} - t_{окр}} = \exp(-\lambda \cdot x), \tag{1}$$

где  $t$  – искомая температура;  $t_{T02}$  – температура газового потока перед зоной обезвреживания, выставляемая по термопаре T02;  $t_{окр}$  – температура окружающей среды,  $\lambda$  - параметр,  $m^{-1}$ , характеризующий интенсивность теплопередачи, чем больше величина  $\lambda$  в формуле, тем сильнее снижается температура газа вдоль оси трубы;  $x$  – координата, м, откладываемая вдоль оси канала от точки установки термопары T02.

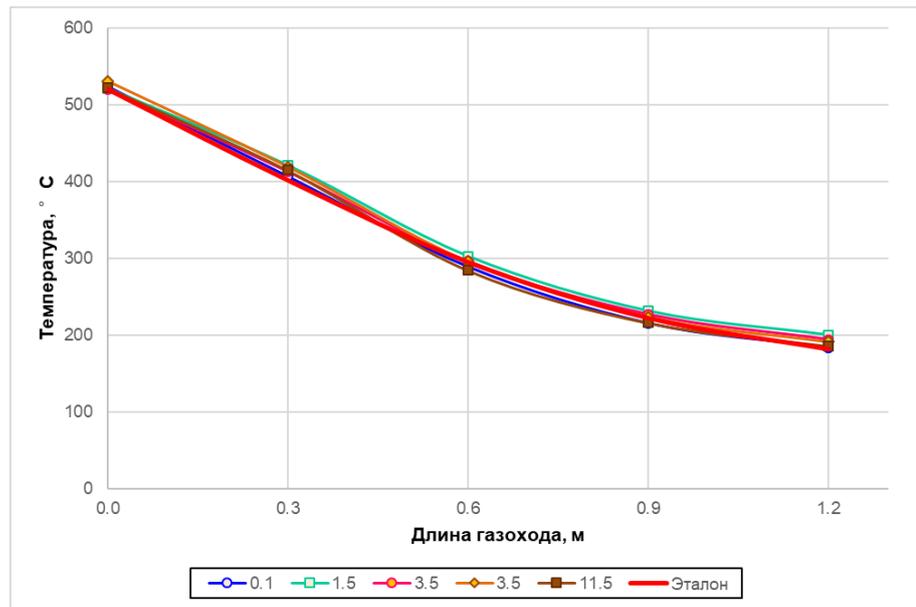


Рис. 2. Распределение температуры по длине газохода на этапе прогрева

Температура T02 рассматривается как определяющий параметр, формирующий эталонное температурное поле. Соответствие фактического распределения расчётному подтверждается величиной отклонений (рис. 3), которые в каждой точке не превышают величины  $\pm 5\%$  от эталонного значения при среднем значении  $\pm 1.8\%$  (несколько большие отклонения в конечной точке измерения температуры (термопара T06) существенного влияния на процесс термического обезвреживания не оказывают). Волновой характер отклонений температуры может быть объяснен несовпадением оси факела горелки с осью газохода.

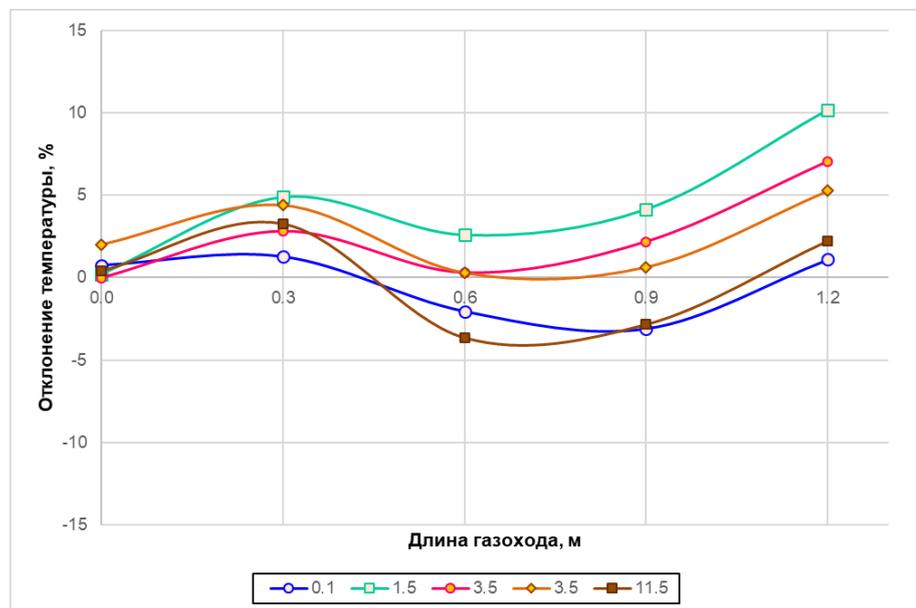


Рис. 3. Отклонение температуры на этапе прогрева от расчетной

Источником высокотемпературных продуктов сгорания являлась газовая горелка, поэтому температурный режим в значительной мере определялся расходом газового топлива и количеством воздуха, участвующего в горении. Массовый расход газа определялся по показаниям весового датчика. Для каждого опыта устанавливался новый газовый баллон, что обеспечивало одинаковый расход газа (рис. 4). В сочетании с поддержанием неизменного коэффициента избытка воздуха в различных опытах это обеспечивало стабильность тепловой мощности источника и воспроизводимость входной температуры.

Точность задания концентрации нефтепродукта в НСВ оценивалась на основе расчёта относительной погрешности

$$\delta C_{НСВ} = \frac{\Delta C_{НСВ}}{C_{НСВ}}. \quad (2)$$

Расчёт выполнялся для каждого опыта. Установлено, что суммарная относительная погрешность задания концентрации не превышает 2%, что обеспечивает корректность анализа влияния концентрационного фактора на температурное поле и состав уходящих газов.

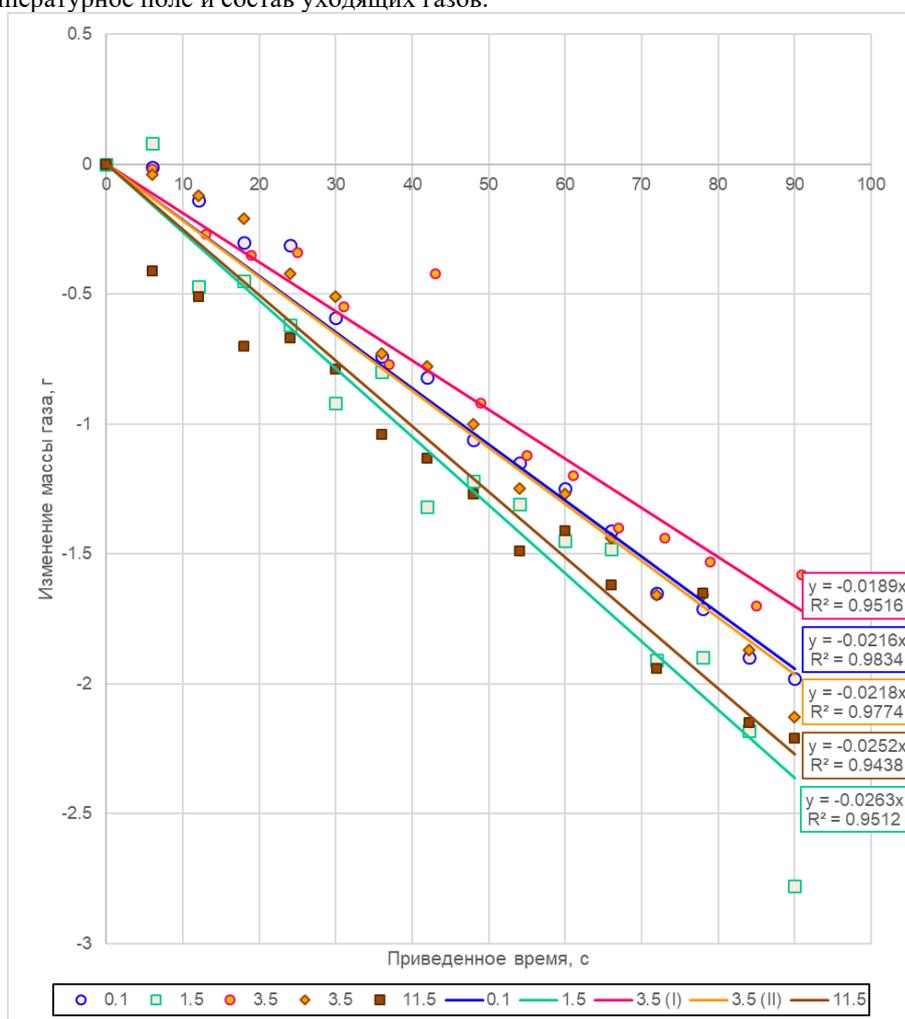


Рис. 4. Расход газа для работы стенда

Соответствие давления в баке установленному по плану эксперимента обеспечивалось выбором на этапе подачи НСВ участка записи показаний термопар и

данных газового анализа, на котором оно изменялось на величину не более  $\pm 1,2$  %. Таким образом обеспечивалось постоянство расхода подаваемой НСВ.

Экспериментальные исследования проводились при стабильных параметрах окружающей среды: температуре воздуха 25...28 °С, атмосферном давлении 993...997 гПа и относительной влажности 39...54 %.

### Результаты и их обработка

Проведённая серия опытов позволила получить данные о влиянии концентрации нефтепродуктов в НСВ на температурное поле газохода и состав уходящих газов (рис. 5-7).

Анализ распределения температуры по длине газохода при подаче НСВ (рис. 5, 6) показал, что в диапазоне концентраций нефтепродуктов 0,1–3,5 % различия между температурными кривыми носят незначительный характер. Это свидетельствует о сохранении практически неизменного теплового режима и устойчивости процесса при низких и средних концентрациях. Повторный опыт при концентрации 3,5 % подтвердил воспроизводимость результатов.

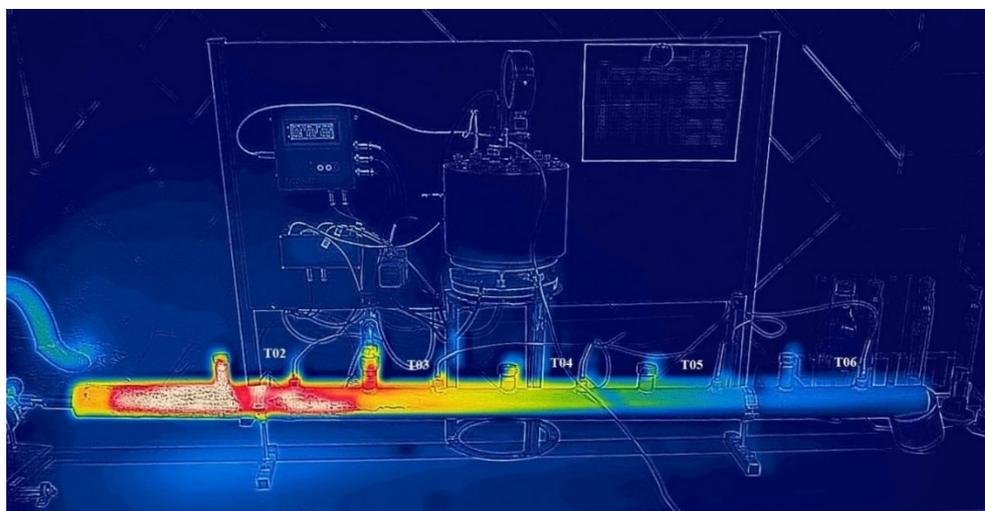


Рис. 5. Распределение температуры по длине газохода на этапе подачи НСВ при тепловизионной съемке

В то же время при концентрации 11,5 % по всей длине газохода фиксируются повышенные значения температуры, наиболее выраженные в зоне расположения термопар Т03–Т06. При этом качественный характер температурного распределения сохраняется, однако глубина локального температурного снижения уменьшается по сравнению с режимами подачи малоконцентрированной НСВ. Наблюдаемые изменения могут быть обусловлены дополнительным тепловыделением при окислении углеводородной составляющей НСВ.

В области малых концентраций преобладает охлаждающий эффект испарения. По мере увеличения доли нефтепродуктов возрастает вклад тепловыделения, что приводит к стабилизации, а затем к росту температуры в газохода (рис. 7). Выявленная закономерность позволяет определить диапазон концентраций, при котором сохраняется требуемый температурный уровень для устойчивого протекания реакций.

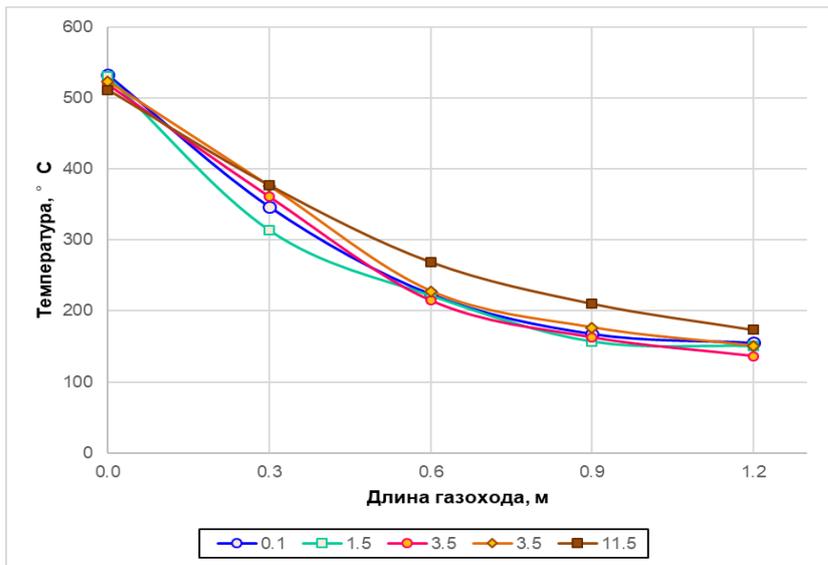


Рис. 6. Распределение температуры по длине газохода на этапе подачи НСВ

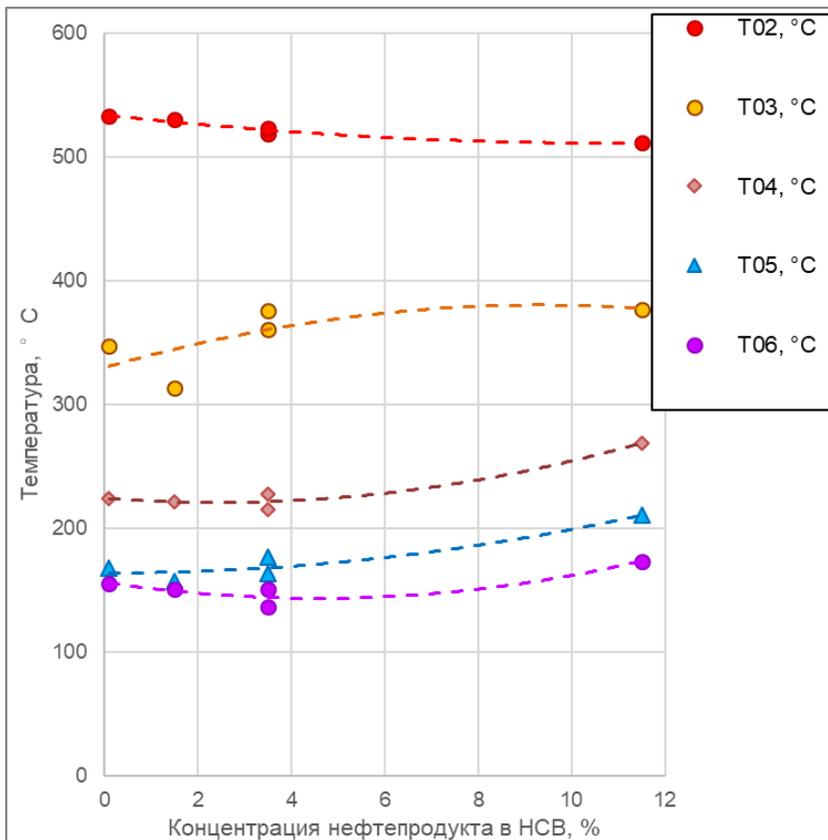


Рис. 7. Зависимость температуры, зарегистрированной термопарами T02...T06, от концентрации нефтепродукта в НСВ

Поскольку изменение температурного режима неизбежно отражается на составе продуктов сгорания, при проведении опытов особое внимание уделялось контролю

нормируемых вредных веществ [10]. Оценка эмиссии отработавших газов судовых дизелей является важной частью расчета коэффициентов энергоэффективности и углеродоемкости, введенных Международной морской организацией (ИМО) [11, 12, 13].

Результаты анализа газов представлены на рис. 8. Содержание в выпускных газах углеводородов СН при увеличении концентрации нефтепродуктов в НСВ монотонно увеличивается, содержание монооксида углерода СО имеет достаточно выраженный минимум в окрестности 4%  $C_{НСВ}$ , а содержание оксидов азота имеет разнонаправленные тенденции: снижение содержания NO и рост содержания NO<sub>2</sub>.

Совместный анализ температурных распределений и данных газоанализа позволил определить диапазон концентраций, при котором обеспечивается протекание процессов без существенного ухудшения экологических показателей.

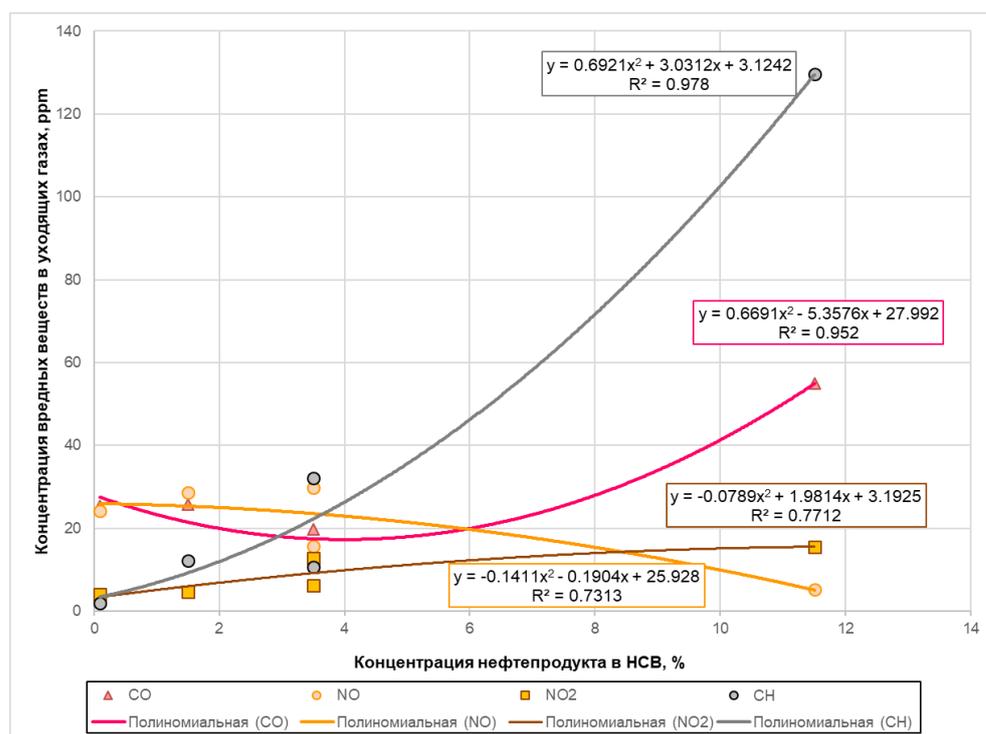


Рис. 8. Концентрация вредных веществ в уходящих газах в зависимости от концентрации нефтепродукта в НСВ

Из полученных зависимостей следует, что при концентрациях нефтепродуктов до 3,5% содержание нормируемых вредных веществ не превышает 40 ppм, что примерно соответствует эмиссии этих веществ от самой горелки [7, 8, 10] и сопоставимо с величиной погрешности при испытаниях на соответствие нормативам выбросов вредных (загрязняющих) веществ в выпускных газах [14, 15, 16]. При увеличении концентрации до 11,5 % наблюдается существенное изменение состава продуктов сгорания с увеличением СО и СН, что недопустимо при работе предлагаемого устройства термического обезвреживания в составе дизельной установки.

Таким образом, для рассматриваемых условий ( $T_{\text{вых}} = 520 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p_{\text{впр}} = 1,8 \text{ бар}$ ) допустимым следует считать содержание нефтепродуктов в НСВ на уровне до 3,5 %, поскольку в данном диапазоне обеспечивается устойчивое протекание процессов испарения, термического разложения и окисления без ухудшения экологических показателей работы установки.

Учитывая, что стандартное содержание нефтепродуктов в НСВ для СЭУ, как правило, не превышает 1-2% [17, 18], то можно предполагать применимость данного метода для утилизации судовых НСВ практически с их минимальной предварительной подготовкой.

### **Выводы**

1. Условия эксперимента корректно выдержаны при его проведении. Температура во всех точках газохода перед подачей НСВ отличается от теоретической, определенной по модели распределения температуры по длине газохода, в среднем на величину 1.8%. Основной причиной отклонения, по нашему мнению, является несовпадение оси факела горелки и оси газохода. Погрешность задания концентрации НСВ не превышает 2%, а давления, при котором осуществляется подача НСВ, меньше 1.2%. Таким образом, суммарная погрешность задания факторов не превышает 5%. Применение для каждого опыта нового газового баллона положительно сказалось на поддержании приблизительно одинакового расхода газа и коэффициента избытка воздуха.

2. При подаче НСВ, как и в ранее проведенных экспериментах, наблюдается снижение температуры во всех контрольных точках. Ранее было установлено, что процесс обезвреживания осуществляется преимущественно на интервале между термопарами Т02 и Т03. Это подтверждается и тепловизионной съемкой. При низкой концентрации нефтепродуктов в НСВ снижение температуры максимально, так как в газоход подается большое количество воды, имеющей высокую удельную теплоту парообразования, и тем самым отбирается большее количество теплоты. С увеличением нефтесодержания в подаваемой НСВ, происходит их окисление, сопровождающееся выделением теплоты, что вызывает некоторое повышение температуры. При умеренном увеличении концентрации (до 3,5%) рост температуры наблюдается прежде всего в окрестности термопары Т03, а дальнейшее увеличение концентрации приводит к повышению температуры во всех точках газохода.

3. Для рассматриваемых тепловых условий ( $T_{\text{вых}} = 520 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p_{\text{впр}} = 1,8 \text{ бар}$ ) допустимым следует считать содержание нефтепродуктов в НСВ на уровне до 3,5 %, поскольку в данном диапазоне обеспечивается устойчивое протекание процессов испарения, термического разложения и окисления без ухудшения экологических показателей работы установки.

### **Список литературы**

1. Истомин В.И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004, 202 с.
2. Ермошин Н.Г., Калугин В.Н., Корнилов Э.В., Кулешов И.Н. Судовые установки очистки нефтесодержащих вод. Методы и схемы очистки, устройство и эксплуатация. Одесса: Фенікс, 2004, 44 с.
3. 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.
4. 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 10.24143/2073-1574-2022-3-50-59. – EDN FYYMJR.
5. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М.: Химия, 1990. 304 с.
6. Medeiros, A.D.M.d.; Silva Junior, C.J.G.d.; Amorim, J.D.P.d.; Durval, I.J.B.; Costa, A.F.d.S.; Sarubbo, L.A. Oily Wastewater Treatment: Methods, Challenges, and Trends. Processes 2022, 10, 743.
7. Чернов В.А., Шураев О.П., Чичурин А.А. Отсеивающий эксперимент по термическому обезвреживанию судовых нефтесодержащих вод // Морские интеллектуальные

- технологии. – 2025. – № 3-1(69). – С. 78-89. – DOI 10.37220/MIT.2025.69.3.023. – EDN FWRDBG.
8. 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 10.37890/jwt.vi73.314. – EDN SPAOSZ.
  9. Шураев О.П., Чернов В.А., Чичурин А. Г. Модель теплообмена в стенде термического обезвреживания нефтесодержащих вод. // Научные проблемы водного транспорта, 2025, №83. С. 95-105. – DOI 10.37890/jwt.vi83.594. – EDN GQAFSA.
  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. 2024, №80. С. 77-88. - DOI 10.37890/jwt.vi80.513. – EDN LMDEDR.
  11. Трифионов А.В., Степанов Н.Е, Букин В.Г., Васильев А.В. Оценка эмиссии отработавших газов судовых энергетических установок. // Эксплуатация морского транспорта. 2024, № 4(113). – С. 143-151. DOI 10.34046/aumsuomt113/24. – EDN QLLKIP.
  12. Живлюк Г. Е., Петров А.П. Техническое обеспечение для соответствия судовых энергетических установок новым требованиям 2021 Г. По выбросам оксидов азота. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 1. – С. 122-138. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-1-122-138. – EDN NFUGYI.
  13. Соловьев А.В. Методика оценки экологической эффективности судов внутреннего плавания. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017, №2(42). С. 306-322. - DOI 10.21821/2309-5180-2017-9-2-306-322. – EDN YLFWKR.
  14. ГОСТ 31967-2012. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104634> (Дата обращения 25.01.2026).
  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 02.02.2026).
  16. Технический кодекс по контролю за выбросами оксидов азота из судовых дизельных двигателей. URL: <https://www.iprosoft.ru/docs/?nd=499050234> (Дата обращения 25.01.2026).
  17. Тихомиров Г.И. Технология обработки воды на морских судах. Курс лекций. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013, 159 с.
  18. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами. М.:«Транспорт», 1979, 336 с.

#### References

1. Istomin V.I. Kompleksnaya ochestka sudovykh neftesoderzhashchikh vod. Sevastopol': Izd-vo SeVNTU, 2004, 202 s.
2. Ermoshin N.G., Kalugin V.N., Kornilov E.H.V., Kuleshov I.N. Sudovye ustanovki ochestki neftesoderzhashchikh vod. Metody i skhemy ochestki, ustroystvo i ehkspluatatsiya. Odessa: Feniks, 2004, 44 s.
3. 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. – С. 3-20. - EDN UQCSGR.
4. 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. С. 50-59. – DOI 10.24143/2073-1574-2022-3-50-59. – EDN FYYMJR.
5. Bernadiner M.N., Shurygin A.P. Ognevaya pererabotka i obezvrezhivanie promyshlennykh otkhodov. М.: Khimiya, 1990. 304 s.
6. Medeiros, A.D.M.d.; Silva Junior, C.J.G.d.; Amorim, J.D.P.d.; Durval, I.J.B.; Costa, A.F.d.S.; Sarubbo, L.A. Oily Wastewater Treatment: Methods, Challenges, and Trends. Processes 2022, 10, 743.
7. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.A. Otseivayushchii ehksperiment po termicheskomu obezvrezhivaniyu sudovykh neftesoderzhashchikh vod // Morskoe intellektual'nye tekhnologii. – 2025. – № 3-1(69). – С. 78-89. – DOI 10.37220/MIT.2025.69.3.023. – EDN FWRDBG.

8. 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 10.37890/jwt.vi73.314. – EDN SPAOSZ.
9. Shurayev O.P., Chernov V.A., Chichurin A. G. Model' teploobmena v stende termicheskogo obezvrezhivaniya neftesoderzhashchikh vod. // Nauchnye problemy vodnogo transporta, 2025, №83. S. 95-105. – DOI 10.37890/jwt.vi83.594. – EDN GQAFSA.
10. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.G., Guro-Frolova YU. R. Dovodochnye ispytaniya stenda termicheskogo obezvrezhivaniya sudovykh neftesoderzhashchikh vod. Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2024, №80. S. 77-88. DOI 10.37890/jwt.vi80.513. – EDN LMDEDR.
11. Trifonov A.V., Stepanov N.E, Bukin V.G., Vasil'ev A.V. Otsenka ehmissii otrabotavshikh gazov sudovykh ehnergeticheskikh ustanovok. // Ehkspluatatsiya morskogo transporta. 2024, № 4(113). – S. 143-151. DOI 10.34046/aumsuomt113/24. – EDN QLLKIP.
12. Zhivlyuk G. E., Petrov A.P. Tekhnicheskoe obespechenie dlya sootvetstviya sudovykh ehnergeticheskikh ustanovok novym trebovaniyam 2021 G. Po vybrosam oksidov azota. // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. – 2020. – T. 12, № 1. – S. 122-138. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-1-122-138. – EDN NFUGYI.
13. Solov'ev A.V. Metodika otsenki ehkologicheskoi ehffektivnosti sudov vnutrennego plavaniya. // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2017, №2(42). С. 306-322. - DOI 10.21821/2309-5180-2017-9-2-306-322. – EDN YLFWKR.
14. GOST 31967-2012. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevye. Vybrosoy vrednykh veshchestv s otrabotavshimi gazami. Normy i metody opredeleniya URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104634> (Data obrashcheniya 25.01.2026).
15. Rossiiskoe klassifikatsionnoe obshchestvo. Pravila predotvrashcheniya zagryazneniya okruzhayushchei sredy s sudov. M.: 2019 (pereizd. 2022). / URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PPZS.pdf?t=1718632553> (Data obrashcheniya 02.02.2026).
16. Tekhnicheskii kodeks po kontrolyu za vybrosami okislov azota iz sudovykh dizel'nykh dvigatelei. URL: <https://www.iprosoft.ru/docs/?nd=499050234> (Data obrashcheniya 25.01.2026).
17. Tikhomirov G.I. Tekhnologiya obrabotki vody na morskikh sudakh. Kurs lektsii. Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2013, 159 s.
18. Nunuparov S.M. Predotvrashchenie zagryazneniya morya sudami. M.:«Transport», 1979, 336 s.

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

**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](mailto:solwrk@inbox.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, e-mail: [solwrk@inbox.ru](mailto:solwrk@inbox.ru)

**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, 603950, Russia, e-mail: [vov7777@bk.ru](mailto:vov7777@bk.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](mailto:alex1.chich@yandex.ru)

**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, e-mail: [alex1.chich@yandex.ru](mailto:alex1.chich@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 12.02.2026; принята к публикации 26.02.2026; опубликована онлайн 20.03.2026. Received 12.02.2026; published online 20.03.2026.