УДК 621.43.068+504.7
EDN: NAQCSJ

Т.Г. Тория, А.И. Епихин
ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», Новороссийск, Россия

МЕТОД СЕПАРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются отработавшие газы (ОГ) элементов судовых энергетических установок (СЭУ). Цели заключаются в исследовании свойств компонентов ОГ элементов СЭУ и разработке метода выделения каждого из компонентов из общей смеси газов для снижения экологической нагрузки на окружающую среду со стороны элементов СЭУ судов торгового флота.
Материалы и методы. В качестве материалов использованы научные публикации, в той или иной мере затрагивающие тему исследования, а также пособия и справочные материалы.
Основные результаты. Проведен сравнительный, а затем системный анализ свойств ОГ, что позволило определить основные принципы реализации сепарации каждого из их компонентов наиболее эффективным образом. Это является важным этапом в разработке технологий снижения выбросов вредных веществ и парниковых газов в атмосферу.
Заключение. Сравнительный и системный анализ свойств компонентов ОГ элементов СЭУ позволяют в дальнейших исследованиях начать разработку системы сепарации и очистки ОГ новой генерации или предложить наиболее эффективный план модернизации имеющихся систем. Теоретическая ценность исследования заключается в результатах сравнительного анализа по выбранным параметрам. Практическое значение итогов работы состоит в определении метода сепарации компонентов ОГ.
Ключевые слова: экология, экологическая нагрузка, торговый флот, судовые двигатели, судовые энергетические установки, оксиды серы, оксиды азота, углекислый газ, парниковые газы, климатическая доктрина.
Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

UDC 621.43.068+504.7
EDN: NAQCSJ

T.G. Toriya, A.I. Yepikhin
Admiral Ushakov Marine State University (AUMSU), Novorossiysk, Russia

SEPARATION METHOD FOR MARINE EXHAUST GAS COMPONENTS

Object and purpose of research. The object of the study is the exhaust gases from elements of marine power plants. The purpose of the research is to study the properties of the components of exhaust gases from elements of marine power plants and to develop a method for separating each of the components from the total gas mixture in order to reduce the environmental impact of the elements of power plants of merchant ships.
Materials and methods. The materials of this article include scientific publications that to one degree or another touch upon the topic of the study, as well as manuals and reference materials.
Main results. A comparative analysis of the properties was carried out, which made it possible to determine the basic principles for implementing the separation of each of the components of the exhaust gases in the most effective way using the system analysis method, which is an important step in the development of technologies for reducing emissions of harmful substances and greenhouse gases into the atmosphere.
Conclusion. The conducted comparative and system analysis of exhaust gas components of ship power plant elements allows further research to begin developing a new generation exhaust gas separation and purification system or to propose

Для цитирования: Тория Т.Г., Епихин А.И. Метод сепарации компонентов отработавших газов судовых двигателей. Труды Крыловского государственного научного центра. 2025; 1(411): 92–100.
For citations: Toriya T.G., Yepikhin A.I. Separation method for marine exhaust gas components. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2025; 1(411): 92–100 (in Russian).

the most effective plan for upgrading existing systems. The theoretical value of the study lies in the results of the comparative analysis for the selected parameters. The practical significance of the results of the work lies in determining the exhaust gas component separation method.
Keywords: ecology, environmental load, merchant fleet, marine engines, marine power plants, sulfur oxides, nitrogen oxides, carbon dioxide, greenhouse gases, climate doctrine.
The authors declare no conflicts of interest.

Введение
Introduction

Одними из важнейших направлений современной технической, инженерной и научной мысли являются разработка и исследование способов и методов достижения снижения экологической нагрузки на окружающую среду. Вредные и опасные выбросы могут попадать в атмосферу в результате деятельности производств, мануфактурных предприятий, энергетического комплекса, а также различных видов транспорта. В настоящее время требуются решения и технологии, способные обеспечить энергетические комплексы высокими экологическими показателями при сохранении экономических и энергетических. Актуальность данной темы обозначена среди национальных целей, в т.ч. указанных в Климатической доктрине, утвержденной Указом Президента РФ [1].

Содержание Климатической доктрины указывает на необходимость достижения углеродной нейтральности в России к 2060 г., что понимается как отсутствие выбросов оксидов углерода в атмосферу с отработавшими газами (ОГ) предприятий, технических средств и др. Однако, как было отмечено за продолжительный период, многие технические решения, направленные на повышение экологичности работы потребителей углеводородного топлива (например, судового пропульсивного комплекса), могут быть достигнуты в ущерб другим показателям.

Зачастую снижение выбросов одного вредного вещества путем изменения параметров рабочего цикла ведет к росту концентрации в выбросах другого (например, сажа и осаждаемые на ней вещества и оксиды азота). Некоторые особо эффективные способы очистки или улавливания вредных веществ и парниковых газов из состава ОГ требуют значительных финансовых вложений судовладельца или вовсе экономически невыгодны. Другие решения имеют ряд недостатков, таких как необходимость большого запаса на борту судна абсорбционных или адсорбционных материалов, сложность регенерации уловителей или фильтров, отсутствие конкретных эффективных решений в отношении уловленных вредных и опасных веществ, а также парниковых газов [4].

Принимая в учет вышесказанное, рассмотрим возможность реализации процесса сепарации многокомпонентной газовой смеси на примере ОГ судового дизельного двигателя, используя характерные особенности каждого из компонентов. Подобная технология позволит не только добиться значительного, энергетически выгодного улучшения экологических показателей двигателей и иных элементов СЭУ, но и реализовать другие проекты и технологии, в основе которых лежит использование конкретного компонента ОГ (или выделение, например, углекислого газа), что необходимо для достижения определенных национальных целей Российской Федерации.

Материалы и методы
Materials and methods

Согласно указанным целям работы поставлены следующие задачи:
- исследование состава ОГ;
- исследование свойств компонентов ОГ;
- исследование влияния температуры, давления и других способов воздействия на свойства компонентов ОГ;
- изучение имеющихся установок сепарации жидких и газовых смесей, эмульсий, взвесей и др.;

Таблица 1. Состав отработавших газов судового дизельного двигателя [2]
Table 1. Composition of marine diesel plume [2]

Азот N_2, %	76–78
Кислород O_2, %	2–13,0
Углекислый газ CO_2, %	5–10
Оксид углерода CO, %	0,01–0,5
Пары воды H_2O, %	0,5–5,35
Оксиды азота NO_x, %	0,001–0,4
Углеводороды CH, %	0,01–0,1
Оксиды серы SO_x, %	0,01–0,5

Таблица 2. Свойства компонентов отработавших газов судового двигателя
Table 2. Properties of marine diesel plume components

Свойства	Компоненты отработавших газов							
	N_2	O_2	CO_2	CO	H_2O (пар)	NO_x	CH_4	SO_x
Молекулярная масса, г/моль	28,014	31,999	44,01	28,01	18,01	30	16,04	64
Диаметр молекулы, нм	0,322	0,302	0,345	0,323	0,227	–	0,333	0,429
Плотность при т-ре ОГ (1)	0,06255	0,07145	0,09885	0,0625	–	0,06701	0,03584	0,146315
Плотность при н.у., кг/м^3	1,251	1,429	1,977	1,250	–	1,3402	0,7168	2,9263
Температура плавления, °С	–195,8	–218,35	–78,5	–205,02	Точка росы	–11,2	–182,48	–75,5
Растворимость в воде*	0,016	0,031	0,879	0,023	–	0,048	0,033	**Образуется сернистая кислота**
	Согласно рис. 6–11							
Представляют опасность или вред	–	–	+	+	–	+	+	+

* В данной таблице приводятся коэффициенты растворимости (в литрах газа на литр воды). Числовое значение коэффициента выражает степень растворимости определенного газа в воде при давлении 1 бар (0,1 МПа) и температуре 20 °С и является основным критерием оценки растворимости.

- формирование общих принципов работы установки по сепарации газовых смесей, выбор наилучших условий эксплуатации и параметров сепарируемой смеси.

Состав ОГ судового дизельного двигателя, работающего на типовом ископаемом жидком топливе, представлен в табл. 1.

Совокупность свойств данных газов представлена в табл. 2.

Результаты
Results

Одними из первых параметров исследованы молекулярные массы и диаметры молекул исследуемых компонентов отработавших газов. Наибольшими молекулярной массой и диаметром молекулы обладают оксиды серы (в данном случае произведено сравнение с оксидом серы SO_2), что указано на рис. 1.

Значительная разница масс и размеров молекулы подчеркивается также наибольшими среди компонентов плотностями газов.

Известны способы, методы и технологии гравитационного разделения смесей твердых веществ в жидких смесях, различных жидкостей, а также аэрозолей в газовых средах. При этом еще не было сказано о теоретической возможности разделения газовых смесей (систем типа «газ-газ») за счет придания им центробежного ускорения и дальнейшего их разделения. Однако без изменения иных пара-

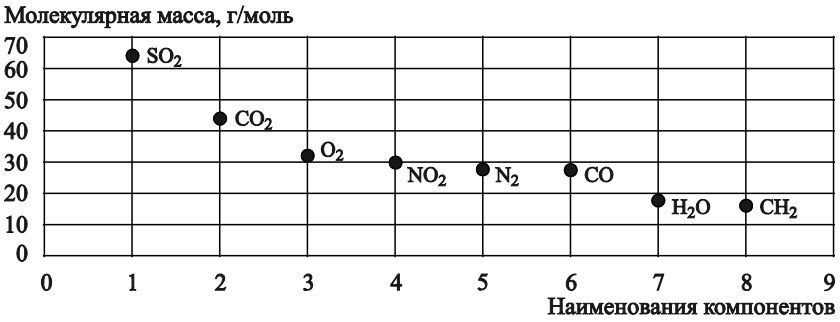

Рис. 1. Сравнение молекулярных масс компонентов отработавших газов

Fig. 1. Comparison of molecular weights for exhaust gas components

метров (таких как температура или давление) четкого разделения компонентов ОГ практически невозможно добиться.

В свою очередь, дополнительное воздействие на ОГ перед их гравитационной сепарацией лишает саму идею смысла, ведь их разделение происходит не по причине разных масс, размеров молекул или плотностей. В подобном случае гравитационное разделение (сепарация) газовых смесей по типу ОГ двигателей возможно лишь при изготовлении узлов и деталей гравитационного газового сепаратора с точностью до размеров самой малой из молекул, входящих в состав (молекула воды, 0,227 нм).

Подобными точностью и размерами могут обладать искусственные материалы, такие как графен. Поры, образованные в этом однослойном материале из атомов углерода, по некоторым исследованиям, составляют от 1 до 12 нм. Графен при этом обладает уникальным свойством: он пропускает через эти поры лишь водород, имеющий электрохимическое напряжение, равное нулю. Таким образом, поляризация с определенной силой, при условии разных значений зарядов и напряжений у каждого из компонентов ОГ, может теоретически позволить воздействием на них электрических полей разных потенциалов мешать прохождению тех или иных компонентов или, наоборот, беспрепятственно их пропускать.

Однако потенциалом обладают в основном металлы, что и характеризует степень их активности в окислительно-восстановительных реакциях. Таким образом, чтобы неметалл также приобрел потенциал, необходимо протекание определенной химической реакции, например, согласно со стандартными окислительно-восстановительными потенциалами полуреакций.

Также известен способ сепарации газовых смесей путем достижения в центрифугах условий конденсации одного из компонентов [8].

Возвращаясь к вопросу о возможностях разделения газовых смесей достаточно точно, используя их плотности в качестве основного параметра, стоит отметить, что подобная сепарация будет значительно осложнена слишком близкими плотностями при высоких температурах (сразу после процесса сгорания и попадания ОГ в выхлопной коллектор), что в данном случае обосновывает необходимость предварительного их охлаждения. Более реализуемым и вероятным при анализе данных представляется разделение газовой смеси на несколько групп компонентов, что изображено на рис. 2.

Процесс сепарации газовой смеси может включать четыре этапа: I – выведение оксидов серы, II – выведение углекислого газа, III – выведение смеси кислорода, оксидов азота, азота и угарного газа, IV – выведение несгоревших углеводородов, характеризующихся наименьшими плотностями. Подобное разделение уже значительно упростило бы процесс снижения экологической нагрузки на окружающую среду, позволяя более тщательно проводить нейтрализацию отдельных компонентов.

Наименьшей температурой плавления среди всех рассмотренных компонентов ОГ обладают оксиды азота. Это позволяет рассматривать возможность охлаждения ОГ до температуры, незначительно превышающей температуру плавления данной группы газов, а затем удалить их из общей газовой смеси после перехода в жидкое агрегатное состояние. Однако стоит предусмотреть предварительное удаление из состава газовой смеси паров воды, попадание которых в камеру охлаждения может вызвать ее обледенение и постепенное из-

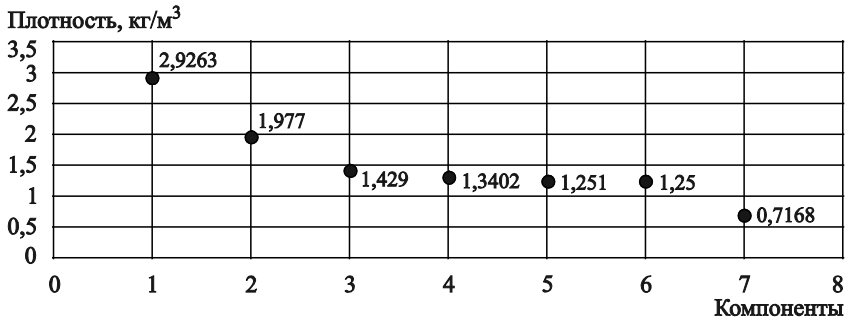

Fig. 2. Density of exhaust gas components at temperature 400 °C in normal conditions:
1 – SO_X; *2* – CO_2; *3* – oxygen; *4* – NO_X; *5* – nitrogen; *6* – CO; *7* – unburnt hydrocarbons (methane as an example)

Рис. 2. Плотность компонентов отработавших газов при температуре 400 °C и при нормальных условиях:
1 – оксиды серы; 2 – углекислый газ; 3 – кислород; 4 – оксиды азота; 5 – азот; 6 – угарный газ;
7 – несгоревшие углеводороды (на примере метана)

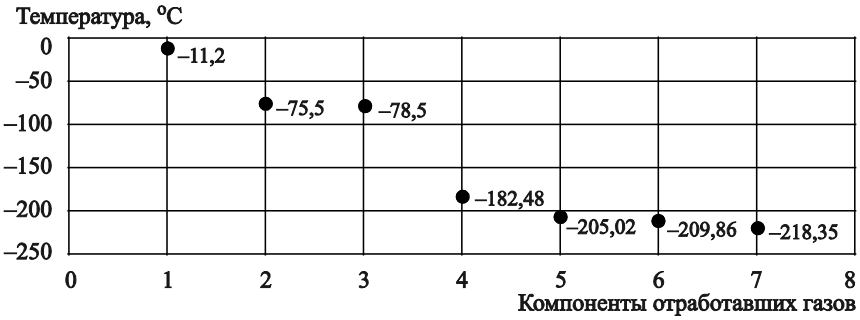

Рис. 3. Температуры плавления компонентов отработавших газов: 1 – оксиды азота; 2 – оксиды серы; 3 – углекислый газ; 4 – метан; 5 – угарный газ; 6 – азот; 7 – кислород

Fig. 3. Melting points of exhaust gas components: *1* – NO_X; *2* – SO_X; *3* – CO_2; *4* – methane; *5* – CO; *6* – nitrogen; *7* – oxygen

менение геометрии, что негативно скажется на пропускной способности и снизит эффективность работы установки, возможно, поставив под вопрос даже ее исправность. Значения температуры плавления компонентов отработавших газов представлены на рис. 3.

Извлечение свойств оксидов азота обозначенным способом может являться эффективным и выгодным по ряду причин.

Во-первых, сегодня проблема выбросов оксидов серы с отработавшими газами элементов СЭУ имеет не такой масштабный характер, каким это было до введения международными морскими организациями ограничений и особых зон контроля [3]. При этом выбросы оксидов азота все еще являются нерешенной проблемой, т.к. их концентрация в ОГ напрямую связана с концентрацией в ОГ сажи С, угарного газа СО и углекислого газа CO_2. Высокотемпературные реакции, ведущие за собой образование оксидов азота, практически лишены угарного газа и сажи, в результате чего полностью завершают окисление до состояния углекислого газа. Однако эксплуатационные режимы, при которых не происходит образования оксидов азота по причине недостаточно высоких температур, ведут к значительному образованию сажи и угарного газа.

«Холодное» (термин введен авторами) выведение оксидов азота позволит использовать эксплуатационные режимы, подразумевающие полное окисление углеводородного топлива (углерода – до углекислого газа). Оксиды азота могут быть полностью выведены из состава ОГ на одном из этапов, что позволит сделать рабочие режимы более гибкими к изменению параметров. Это также может положительно сказаться на эффективных и экономических показателях двигателя, однако стоит учесть и влияние повышенных механических и тепловых напряжений в двигателе на эксплуатационные характеристики (например, долговечность).

Во-вторых, «холодное» удаление оксидов азота будет иметь наибольшую эффективность, принимая во внимание такие параметры, как объем охлаждаемых газов, их общая теплоемкость и температура на момент начала охлаждения. Таким образом, минимальные энергетические затраты и наибольшая эффективность работы возможны при минимальном объеме газов (т.е. большинство компонентов должны быть удалены) или должны иметь незначительную разницу температур с температурой плавления оксидов азота. В результате данному этапу должно предшествовать выведение наиболее объемных газов – компонентов ОГ, причем предварительно охлажденных до температуры нормальных условий.

В-третьих, дальнейшее охлаждение с целью извлечения углекислого газа имеет смысл лишь при использовании низкосернистых топлив или СПГ, где охлаждение смеси газов (ОГ) позволило бы извлечь только углекислый газ гравитационным способом в процессе, подразумевающем предварительное извлечение оксидов азота, или путем растворения.

В-четвертых, последующее охлаждение не имеет смысла, т.к. извлечение кислорода, азота, угарного газа или метана (частиц несгоревшего топлива) не представляет интереса на данном этапе.

Пропуск ОГ элементов СЭУ через водный фильтр является одной из необходимых и важных деталей в реализации технологий, направленных на снижение вредных выбросов и экологической нагрузки. Снижение выбросов углекислого газа как задача включает ряд проблем:

- невозможность эффективного улавливания углекислого газа;
- невозможность энергоэффективного хранения углекислого газа в уловленном состоянии;
- невозможность полезного использования уловленного углекислого газа.

Исследование ряда методов улавливания углекислого газа показало, что спустя некоторое время те химические соединения, в виде которых

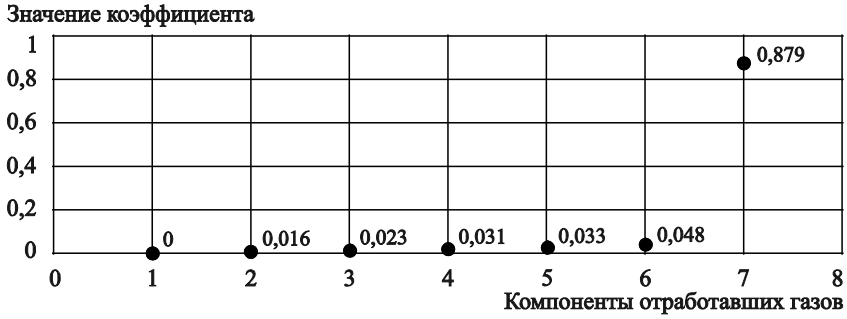

Рис. 4. Коэффициенты растворимости газов в воде: 1 – водяной пар; 2 – азот; 3 – угарный газ; 4 – кислород; 5 – метан; 6 – оксиды азота; 7 – углекислый газ

Fig. 4. Gas solubility factors in water: *1* – vapour (aqueous); *2* – nitrogen; *3* – CO; *4* – oxygen; *5* – methane; *6* – NO_X; *7* – CO_2

он содержался (например, угольная кислота), являются нестабильными и распадаются, выделяя его вновь.

Ряд методов улавливания углекислого газа обладают одинаковой эффективностью, но, что не менее важно, весь технологический процесс должен быть энергоэффективным, ведь любая дополнительная нагрузка на элементы СЭУ, питающей потребителей электроэнергии, увеличит расход углеводородного или иного вида топлива. Это повысит экологичность работы, но может заметно снизить экономические и энергетические показатели.

Анализ научных трудов, связанных с темой углеродного следа, показал, что в технологической цепочке зачастую отсутствует один из этапов, упомянутых выше (выделение, хранение, использование). Иначе говоря, во многих работах и патентах не предлагается конкретных способов полезного использования или хотя бы нейтрализации уловленного углекислого газа.

Можно предположить, что столь легкий и энергоемкий способ связывания углекислого газа, как растворение его в воде, и последующий способ выведения углекислого газа из связанного состояния путем его самостоятельного выхода могут сделать возможным реализацию технологий рекуперации углекислого газа путем его вторичного использования [5–7].

Как показывают исследования, наибольший вред и технические неудобства в данной технологии могут нести иные газы, входящие в состав ОГ. Однако, за исключением оксидов серы, иные компоненты обладают значительно (более чем в 50 раз в случае азота, например) меньшей растворимостью, что позволит удалять их для дальнейшего использования эффективно и удобно. Значения коэффициентов растворимости представлены на рис. 4.

Согласно данным, представленным на рис. 5–10, может быть получен аналогичный вывод, что наибольшей растворимостью среди компонентов ОГ обладает углекислый газ. Однако значительно более высокими показателями, даже по сравнению с ним, обладают оксиды серы. Как показывает практика использования на судах

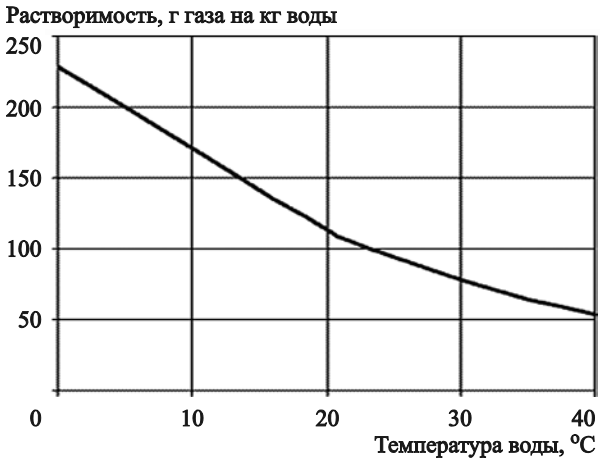

Рис. 5. Растворимость оксида серы в воде

Fig. 5. SO_X solubility in water

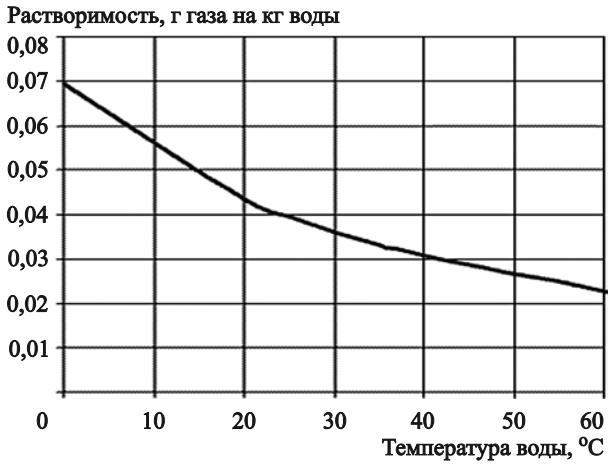

Рис. 6. Растворимость кислорода в воде

Fig. 6. Oxygen solubility in water

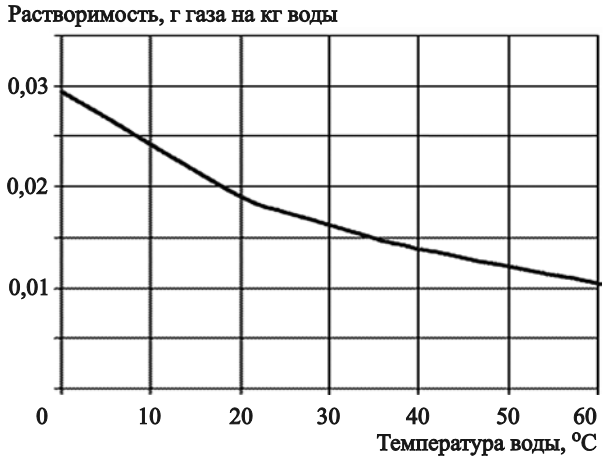

Рис. 7. Растворимость азота в воде
Fig. 7. Nitrogen solubility in water

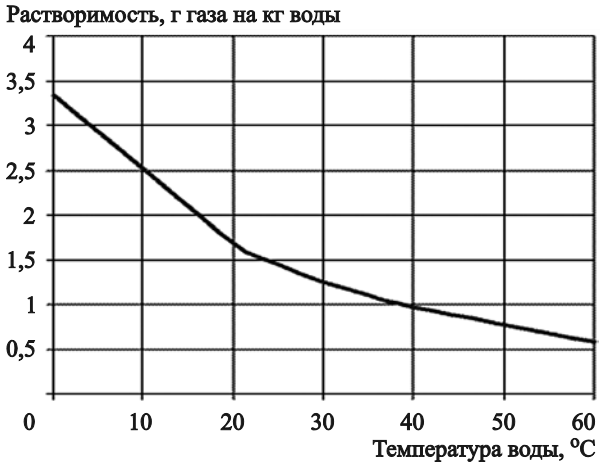

Рис. 8. Растворимость углекислого газа в воде
Fig. 8. CO_2 solubility in water

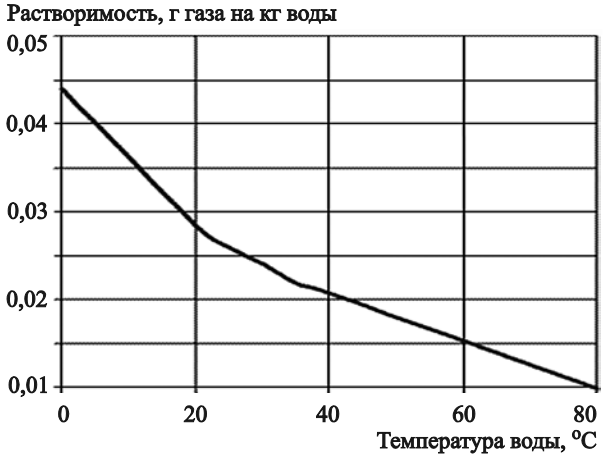

Рис. 9. Растворимость угарного газа в воде
Fig. 9. CO solubility in water

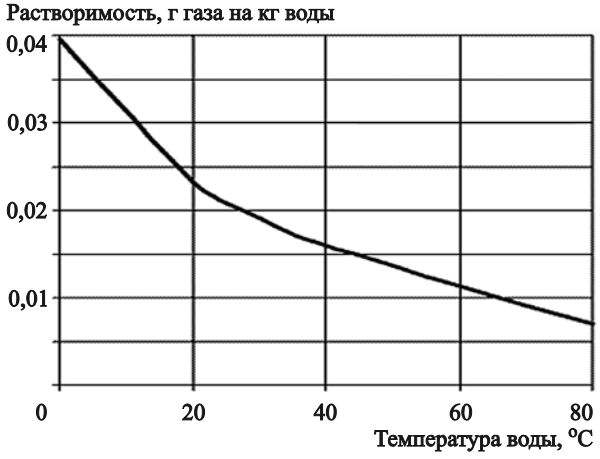

Рис. 10. Растворимость метана в воде
Fig. 10. Methane solubility in water

торгового флота скрубберов, образование кислот на основе оксидов серы не имеет достаточной силы и концентрации, чтобы навредить процессу извлечения углекислого газа или элементам судовой техники.

Кислород и азот, входящие в состав отработавших газов, не причиняют вреда технике или экипажу, а также не представляют интереса для данного исследования на текущем этапе.

Выводы
Conclusions

Проведенное исследование свойств компонентов ОГ элементов СЭУ показало, что теоретически возможна разработка комплексной системы сепарации газовых смесей для снижения экологической нагрузки.

Последующие исследования будут направлены на возможности гравитационного разделения компонентов газовых смесей и, что важно, выделение одних из самых тяжелых газов в составе ОГ – оксидов серы, что позволит достичь цели по нейтрализации их выбросов в атмосферу.

Применение «холодного» выделения оксидов азота также даст возможность устранить частицы недогоревшего топлива, сажистые частицы и угарный газ, полностью окислив их до углекислого газа за счет новых возможностей в отношении изменения параметров эксплуатационных режимов.

Устранение оксидов азота – еще одна цель, которая может быть достигнута в рамках снижения экологической нагрузки на окружающую среду со стороны объектов транспортной отрасли.

Принимая во внимание наивысший среди компонентов ОГ коэффициент растворимости в воде углекислого газа и используя достаточное количество циркулирующей воды, возможна практически полная его нейтрализация с последующей рекуперацией.

Разработка подобной системы будет отвечать национальным и международным целям и вызовам, поставленным в настоящее время.

Список использованной литературы

1. Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации : указ Президента РФ от 26.10.2023 № 812 // Официальный интернет-портал правовой информации : [сайт]. Москва, 2023. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310260009 (дата обращения: 18.12.2024).
2. *Возницкий И.В.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. Т. 1. Москва : Моркнига, 2007. 284 с.
3. МАРПОЛ 73/78. Приложение VI (пересмотренное) к Конвенции «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов» // Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. к ней: в 3 кн. Кн. 3. Санкт-Петербург : ЦНИИМФ, 2012. 50 с.
4. *Тория Т.Г.* Достижение целей климатической доктрины использованием альтернативных видов топлива // Эксплуатация морского транспорта. 2024. № 2(111). С. 175–183. DOI: 10.34046/aumsuomtl11/29.
5. *Епихин А.И., Тория Т.Г., Шаповалов Г.А.* Рекуперация диоксида углерода отработавших газов судовой энергетической установки как элемент ресурсосберегающих технологий // Развитие энергетики водного транспорта, информационных и энергосберегающих технологий : сборник материалов I Всероссийской конференции. Астрахань : ВГУВТ, 2023. С. 44–52.
6. *Тория Т.Г.* Методика применения метанирования на судах торгового флота // Эксплуатация морского транспорта. 2024. № 1(110). С. 48–54. DOI: 10.34046/aumsuomtl10/8.
7. Система рекуперации углекислого газа в процессе метанирования для судовой энергетической установки : пат. 2820049 Рос. Федерация / *Т.Г. Тория, А.И. Епихин*. № 2023133744; заявл. 12.12.2023; опубл. 28.05.2024, Бюл. № 16. 11 с.
8. *Бушланов В.П., Бушланов И.В., Новиков В.Г.* Модель диффузионной технологии рекуперации двухкомпонентного нефтяного газа в центробежном сепараторе // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4, т. 3(46). С. 42–47.

References

1. On approval of the Climatic doctrine of the Russian Federation: Executive Order of the President of the Russian Federation No. 812 dt. October 26, 2023 // Official web portal of legal information. Moscow, 2023. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310260009 (Accessed: 18.12.2024) (*in Russian*).
2. *Voznitsky I.V.* Marine internal combustion engines. Vol. 1. Moscow : Morkniga, 2007. 284 p. (*in Russian*).
3. MARPOL 73/78. Annex 6 Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships (*revised*) // International Convention for the Prevention of Pollution from Ships of 1973 as modified by the Protocol of 1978 [in 3 books]. Book 3. St. Petersburg : TsNIIMF, 2017. 411 p. (bilingual: *Russian and English*).
4. *Toriya T.G.* Implementing the Climatic Doctrine through adoption of alternative fuels // Operation of Maritime Transport. 2024. No. 2(111). P. 175–183. DOI: 10.34046/aumsuomtl11/29 (*in Russian*).
5. *Yepikhin A.I., Toriya T.G., Shapovalov G.A.* Carbon dioxide recovery from marine exhaust gases as one of green technologies // Development of water transport energy, information and energy-saving technologies : Compendium of papers, 1st All-Russian Conference, Astrakhan, Volga State University of Water Transport. 2023. P. 44–52 (*in Russian*).
6. *Toriya T.G.* Methanation procedure for commercial ships // Operation of Maritime Transport. 2024. No. 1(110). P. 48–54. DOI: 10.34046/aumsuomtl10/8 (*in Russian*).
7. System for CO_2 recovery in the process of methanation for marine power plants. Pat. 2820049 Ros. Federation / *T.G. Toriya, A.I. Yepikhin.* No. 2023133744; appl. 12.12.2023; publ. 28.05. 2024, Bul. No. 16. 11 p. (*in Russian*).
8. *Bushlanov V.P., Bushlanov I.P., Novikov V.G.* Model of diffusion technology for recovery of two-component oil gas in a centrifugal separator // Marine Intellectual Technologies. 2019. No. 4, vol. 3(46). P. 42–47 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Тория Теодор Георгиевич, старший преподаватель ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова». Адрес: 353924, Россия, Новороссийск, пр. Ленина, 93. E-mail: p.lepik@yandex.ru.

Епихин Алексей Иванович, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала

Ф.Ф. Ушакова». Адрес: 353924, Россия, Новороссийск, пр. Ленина, 93. E-mail: bsmbeton@mail.ru.

About the authors

Teodor G. Toriya, Senior Lecturer, Admiral Ushakov Marine State University (AUMSU). Address: 93, Lenina pr., Novorossiysk, Russia, post code 353924. E-mail: p.lepik@yandex.ru.

Alexey I. Yepikhin, Cand. Sci. (Eng), Assistant Professor, Admiral Ushakov Marine State University (AUMSU). Address: 93, Lenina pr., Novorossiysk, Russia, post code 353924. E-mail: bsmbeton@mail.ru.

Поступила / Received: 29.10.24
Принята в печать / Accepted: 04.02.25
© Тория Т.Г., Епихин А.И., 2025