

11. Turkin V.A., Pismenskaya Yu.V., Ignatenko G.V., Aleksandrova V.V. Carbon dioxide extraction from marine engine exhaust gases by the method of adsorption. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. 872. 012007.
12. Turkin A.V., Turkin V.A., Samoilenko A.Yu. 2018. Ship low-speed engine working processes modeling to reduce the nitrogen oxides emission *Marine intellectual technologies* **1(39) 1** pp.106-110.
13. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. 1985. Experiment optimization methods in chemical technology (Moscow: Mir) 327.
14. Ignatenko G.V., Sviderskaya O.V., Turkin V.A. 2022. Decarbonization of exhaust gases of marine diesel engines by optimization of fuel supply parameters *Operation of maritime transport* **3(104)** pp 85-93.
15. Sharma R., Glemmestad B. On Generalized Reduced Gradient method with multi-start and self-optimizing control structure for gas lift allocation optimization. *Journal of Process Control*. 2013. 23. Pp. 1129-1140.
16. Shadrina N.I., Berman N.D. 2016. Solving optimization problems in Microsoft Excel 2010. Khabarovsk. Publishing House of the Pacific State University. 101 p.

УДК 504.3.054: 621.43.068.4

DOI: 10.34046/aumsuomt105/28

СУДОВАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ОКСИДОВ УГЛЕРОДА, СЕРЫ И АЗОТА

Г.В. Игнатенко, старший преподаватель

В.А. Туркин, доктор технических наук, профессор

В.В. Беляев, аспирант

О.В. Сviderskaya, PhD in mechanical engineering (Belarus)

С.С. Зубко, аспирант

Для очистки отработавших газов двигателей от оксидов углерода, азота и серы предложены способ и устройство, принцип действия которого основан на том, что отработавшие газы проходят через абсорбер, где они очищаются от оксидов азота и серы, а затем через адсорбционные секции, заполненные гранулами шлаковой пемзы и очищаются от оксидов углерода в результате их адсорбции. Диоксид углерода, взаимодействуя с частицами воды в порах гранул, образует угольную кислоту. Затем разбавленный конденсат угольной кислоты после очистки в сепараторе от твердых примесей сбрасывается за борт судна. Предложен состав судовой системы непрерывного лазерного мониторинга и управления выбросами оксидов углерода, азота и серы, содержащихся в отработавших газы двигателей, посредством настройки их регулировочных параметров, а также использования устройства для комплексной очистки отработавших газов. Разработан алгоритм решения задачи выполнения требований правила 20 «Достижимый ККЭЭ» приложения VI Конвенции МАРПОЛ 73/78 по выбросам оксидов углерода. Реализация предложенного алгоритма возможна в использовании системы очистки продуктов сгорания от вредных оксидов.

Ключевые слова: двигатель, отработавшие газы, оксиды углерода, азота и серы, устройство для комплексной очистки, судовая система

SHIP SYSTEM FOR CLEANING ENGINE EXHAUST GASES FROM CARBON, SULFUR AND NITROGEN OXIDES

G.V. Ignatenko, V.A. Turkin, V.V. Belyaev, O.V. Sviderskaya, S.S. Zubko

To clean the exhaust gases of engines from carbon, nitrogen and sulfur oxides, a method and device are proposed, the principle of which is based on the fact that the exhaust gases pass through an absorber, where they are cleaned of nitrogen and sulfur oxides, and then through adsorption sections filled with granules of slag pumice and are purified from carbon oxides as a result of their adsorption. Carbon dioxide, interacting with water particles in the pores of the granules, forms carbonic acid. Then the diluted carbonic acid condensate after cleaning in the separator from solid impurities is discharged overboard. The composition of a shipboard system for continuous laser monitoring and control of emissions of carbon, nitrogen and sulfur oxides contained in the exhaust gases of engines by adjusting their adjustment parameters, as well as using a device for complex exhaust gas purification, is proposed. An algorithm for solving the problem of fulfilling the requirements of regulation 20 "Achievable EEDI" of Appendix VI of the MARPOL 73/78 Convention on carbon oxide emissions has been developed. The implementation of the proposed algorithm is possible using a system for cleaning combustion products from harmful oxides.

Keywords: engine, exhaust gases, oxides of carbon, nitrogen and sulfur, complex cleaning device, ship system

Введение

Планета Земля пригодна для жизни уже в течение 4 млрд. лет, что свидетельствует о сравнительно малых изменениях температуры на ее

поверхности. Это значит, что приток энергии всегда был равен ее расходу. Но в последние десятилетия на энергетический баланс планеты оказы-

вает возрастающее влияние увеличение концентрации парниковых газов, которые связывают с антропогенным воздействием [1]. Повышение качества окружающей среды является важнейшей составляющей деятельности человека, направленной на использование природных ресурсов [2, 3].

В сентябре 1997 г. на Международной конференции сторон Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ-73/78) была принята Резолюция 8 по вопросу выбросов углекислого газа с судов. Следуя указаниям данной резолюции, Международная морская организация (International maritime organization, ИМО) приняла в декабре 2003 г. Резолюцию А.963(23) «Политика и практика ИМО, относящаяся к сокращению выбросов парниковых газов с судов». В документе отмечалось, что сокращение таких выбросов может осуществляться посредством принятия технических и эксплуатационных мер. Общие выбросы CO_2 от судоходства в 2009 г. составили 1 млрд. тонн, что соответствовало примерно 3,3 % совокупных выбросов CO_2 в результате сжигания топлива. К 2020 г. выбросы от судоходства увеличатся, по прогнозам, более чем на 30 %, до 1,47 млрд. тонн [4].

Чтобы снизить выбросы ИМО объявила о Стратегии сокращения выбросов парниковых газов с судов. Цель Стратегии состоит в том, чтобы сократить выбросы CO_2 в среднем по международным морским перевозкам как минимум на 40% к 2030 году, стремясь достичь 70% к 2050 году по сравнению с 2008 годом. Стратегией был введен конструктивный коэффициент энергетической эффективности (ККЭЭ) – (Energy Efficiency Design Index – EEDI) как показатель углеродоёмкости судна. EEDI – это индекс, который указывает на энергоэффективность судна и измеряется в граммах CO_2 (генерируемых) на тонну. миля (перевезенный груз), рассчитанная для конкретных исходных условий эксплуатации судна. Снижение индекса EEDI разделено на три этапа: 2015-2019, 2020-2024, 2025 годы и далее. Величина снижения EEDI по сравнению с его исходным значением для указанных этапов составляет соответственно 10%, 20% и 30% [5].

Дальнейшее развитие требований ИМО к EEDI судов будет происходить по следующим направлениям [4]:

1. Для обоснования IV этапа по планам снижения выбросов CO_2 до 50% к 2050 г. создана рабочая группа.

2. Рассматриваются возможные технологии дальнейшего снижения выбросов CO_2 вплоть до нуля: топливные элементы, батареи, ветер,

атомная энергия, солнечная энергия, поглощение CO_2 на борту.

3. Рассматриваются новые виды топлива: водород, аммиак, биотопливо, этан, метанол, этанол, синтетическое топливо.

В данной статье рассматривается возможность применения на судах технологии дальнейшего снижения выбросов, основанной на поглощении CO_2 и других кислотных оксидов на борту посредством разработки судовой системы адсорбционного поглощения загрязняющих воздушную среду веществ.

Постановка задачи

Процессы адсорбции впервые рассматривались в начале 1990-х годов как альтернатива процессам улавливания углерода растворителями [6-8]. После этих первоначальных исследований предпринимались растущие и устойчивые усилия по разработке адсорбционной технологии для улавливания CO_2 . На сегодняшний день наибольшие исследовательские усилия были направлены на разработку улучшенных адсорбентов с более высокой производительностью по отношению к CO_2 , лучшей селективностью и лучшей устойчивостью к примесям [9]. Почти ежедневно появляются сообщения о новых адсорбентах для улавливания CO_2 . Классические адсорбенты (углероды, оксиды алюминия, кремнеземы, цеолиты) и их модификации были оценены на предмет их потенциала в отношении улавливания CO_2 . Новые адсорбенты (металлоорганические каркасы, гидроталькиты, адсорбенты на аминокислотной основе, полимеры, высокотемпературные оксиды металлов) были исследованы на предмет их применения в ряде областей [10, 11].

Были предложены и оценены новые адсорбирующие структуры и геометрия газoadсорбирующих устройств, такие как полые волокна, монолиты, радиальные слои, псевдооживленные и подвижные слои. Были исследованы технологии гибридных адсорбентов, в которых адсорбция сочетается с другими технологиями разделения или реакции либо как отдельная операция, либо как интегрированная установка. Области применения процесса адсорбции расширились от дымовых газов до и после сжигания до технологических потоков (например, продуктов питания и напитков, цементной, сталелитейной, нефтехимической, целлюлозно-бумажной и газовой промышленности) и прямого улавливания CO_2 из воздуха [9].

Адсорбция является привлекательной технологией по ряду причин. Ее можно применить на любом промышленном предприятии и транспортном объекте, если адсорбционная колонна будет

оптимизирована для обеспечения приемлемой занимаемой площади и стоимости. Кроме того, она может охватывать широкий диапазон изменения температуры и давления таким образом, что можно использовать низко-, средне- и высокотемпературные адсорбенты. Несмотря на то, что не существует всестороннего способа оценки экономики и энергетики адсорбции по сравнению с абсорбцией, многие показатели указывают на снижение затрат, обеспечиваемое адсорбцией [9].

Еще одним преимуществом адсорбции является потенциально минимальное воздействие на окружающую среду по сравнению с растворителями на основе аминов, которые склонны разлагаться и образовывать токсичные и/или коррозионно-активные соединения. Использование отходов в качестве адсорбентов потенциально может повысить устойчивость процесса, хотя для подтверждения этого аспекта потребуется оценка жизненного цикла.

Учитывая вышеупомянутые сильные стороны, были предложены и реализованы пилотные проекты адсорбции CO₂, которые позволяют сообществу приобрести знания, навыки и опыт, необходимые для повышения технологической эффективности процессов адсорбции CO₂. Среди них есть проект по улавливанию CO₂ CRC NZ на базе Международной электростанции в Австралии, который работал с 2009 по 2011 годы.

В 2008 году в Японии был запущен проект «Предельное сокращение выбросов CO₂ в сталеплавильном процессе с помощью инновационной технологии Cool Earth 50» (или COURSE 50) на промышленной установке для улавливания CO₂

из потока газов доменной печи на заводе JFE Steel в Западной Японии [12]. Система улавливания использует технологию адсорбции при переменном давлении (PSA) и улавливает 3 тонны CO₂ в день.

В литературе [13] приводится описание «Технологии твердых сорбентов» (SST) компании Shell Catalysts & Technologies. Это новая технология, позволяющая отделять CO₂ от дымовых газов в процессе непрерывной адсорбции с переменной температурой (TSA) в псевдооживленном слое с использованием твердого адсорбента. Технология разрабатывается для средних и малых мощностей по улавливанию в ряде секторов промышленности. Технология обеспечивает высокую эффективность улавливания CO₂ > 90% с низкими затратами на улавливание. В настоящее время эта технология проходит испытания на электростанции BMC Moerdijk в Нидерландах на экспериментальной установке производительностью 1 тонна CO₂ в день, работающей круглосуточно и без выходных, для оптимизации процесса и испытания новых адсорбентов.

В России разработкой технологии улавливания диоксида углерода CO₂ с использованием адсорбентов занимаются ученые Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск. Научными работниками ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова совместно с профессором Ежовым В.С. из Юго-Западного государственного университета, г. Курск, были предложены способ и устройство для комплексной очистки отработавших газов судового двигателя [14, 15]. Конструкция данного устройства показана на рисунке 1.

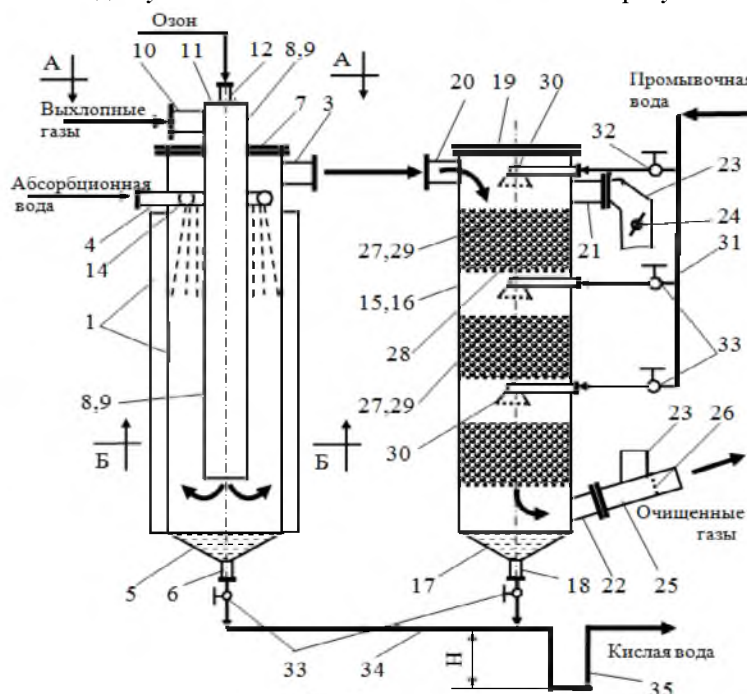


Рисунок 1 – Устройство для комплексной очистки отработавших газов судового двигателя

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Отработавшие газы (ОГ) поступают в смесительно-окислительную камеру 8, образуя закрученный газовый поток в цилиндрической трубе 9, в котором газы смешиваются с озоном, поступающей из патрубка 12, куда он подается из озонатора.

Ввиду высокой реакционной способности озона в камере 8 происходит окисление большей части, содержащихся в отработавших газах двигателя монооксида углерода (CO) до диоксида углерода (CO₂), монооксида азота (NO) до диоксида азота (NO₂), диоксида серы (SO₂) до серного ангидрида (SO₃). Кольцевая полость абсорбционной камеры сверху из разбрызгивающего устройства 14 орошается абсорбционной водой, которая при контакте с отработавшими газами поглощает образовавшиеся NO₂, SO₂ ввиду их высокой растворимости. В результате в газах остается, в основном, один вредный компонент – CO₂ (парниковый газ). Попутно абсорбционная вода поглощает мелкодисперсные частицы (сажа и пр.) и через штуцер 6 поступает в коллектор кислой воды 34.

Далее, очищенные от NO_x и SO_x охлажденные газы с большим содержанием CO₂, поступают в верхнюю зону адсорбера 15 и проходят через адсорбционные секции 27, заполненные гранулами 29 шлаковой пемзы диаметром от 5 до 10 мм, изготовленной из основных металлургических шлаков. В процессе движения через адсорбционные секции 27 отработавшие газы через отверстия в опорных решетках 28 заполняют свободное пространство между гранулами шлаковой пемзы. Находящиеся в газовой смеси NO_x, SO_x, CO_x (в основном CO₂) контактируют с гранулами, адсорбируясь на поверхности их пор. При этом, концентрация NO₂, SO₃ в газовом потоке после их поглощения в абсорбционной камере незначительна, это обстоятельство интенсифицирует процесс адсорбции собственно CO₂. Поток отработавших газов, проходя адсорбционные секции 27 и многократно попадая на поверхность гранул 29 и вовнутрь их, очищается от остатка вредных примесей (NO_x, SO_x) и от значительного количества CO₂. Адсорбированные NO₂, SO₃, CO₂, в свою очередь, взаимодействуют с частицами воды образующейся в порах гранул с образованием соответствующих кислот H₂CO₃, HNO₃ и H₂SO₄. Кроме того, на поверхности и в порах гранул оседают мелкодисперсные частицы (сажа и другие). Очищенные отработавшие газы выводятся из адсорбера 15 через каплеотбойник 26, где освобождаются от уносимых капель воды, и выбрасываются в атмосферу. Одновременно с процессом

очистки газов происходит глушение их шума путем помещения смесительно-окислительной камеры в корпус блока очистки от NO_x 1 и поглощения звука высокопористой структурой гранул 29 в адсорбере 15.

При падении активности гранул их подвергают регенерации – очистке поверхности и пор гранул шлаковой пемзы в адсорбционных секциях 27 адсорбера 15 от мелкодисперсных частиц и абсорбированных молекул вредных примесей. Процесс регенерации осуществляется путем промывки гранул из коллектора промывочной воды 31 водой, подаваемой через душирующие устройства 30. При этом конструкция установки позволяет проводить процесс регенерации адсорбента без отключения от двигателя.

В коллекторе кислой воды 34 собирается кислый конденсат и абсорбционная вода из блока очистки от NO_x 1, промывочная вода из адсорбера 15, образующие кислую воду. Так как кислая вода содержит значительные примеси вредных веществ (HNO₃, H₂SO₄, H₂CO₃, шлам), то в зависимости от уровня санитарных требований места пребывания судна, кислая вода или сбрасывается в водную среду, или подвергается очистке на судне (например, на анионитовых фильтрах) и повторно используется.

Таким образом, способ и устройство для комплексной очистки отработавших газов судового двигателя позволяет без применения дорогих и опасных химических реагентов очистить газы от значительной части парникового газа – CO₂, вредных примесей (NO_x, SO_x, сажи), и одновременно снизить шум до требуемого уровня во всем диапазоне нагрузок двигателя, используя в качестве окислителя озон, полученный в кислородном озонаторе, в качестве адсорбента оксидов азота и серы – воду, в качестве адсорбента CO₂ – гранулы шлаковой пемзы, изготовленной из основных металлургических шлаков с модулем основности M>1, шумопоглотителя – особенности конструкции, а также производить регенерацию адсорбента без отключения от двигателя.

Судовая система очистки отработавших газов двигателей от оксидов углерода, азота и серы

С целью поглощения CO₂ на борту судна могут быть предложены скрубберы, реализующие различные технологии очистки отработавших газов [16, 17].

В настоящее время для снижения выбросов вредных веществ предлагается использовать газоочистители мокрого действия (они используют

заборную воду для очищения отработавших газов). Такие скрубберы различаются по строению: они могут быть с открытым и замкнутым циклом, гибридные, встроенные, пристроенного типа (U-type). Скрубберы с открытым циклом, схема которого показана на рисунке 2, подходят для

судов, работающих в открытых морях [16]. Система насосом заборной воды осуществляет забор воды из кингстонного ящика и прокачивает ее через скруббер, очищая большую часть вредных веществ из отработавших газов, а затем сбрасывает воду за борт (в основном без загрязнения для окружающей среды).

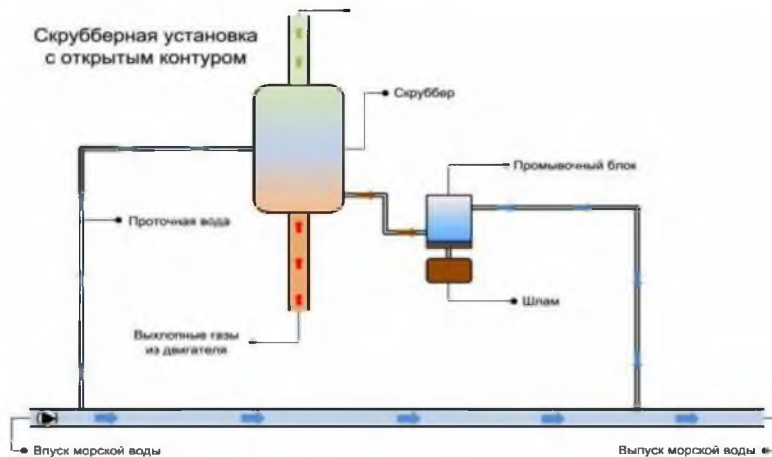


Рисунок 2 – Скрубберная установка с открытым циклом

Скрубберы закрытого цикла подходят для судов, которые заняты в районах контроля выбросов с судов или часто заходят в порты. Работа этой системы, схема которой показана на рисунке 3, похожа на работу скруббера открытого

цикла, только вода не уходит за борт, а остается на судне. Позже в подходящем порту получаемый сладж (примесь, которая остается после очистки топлива) сдается [16].

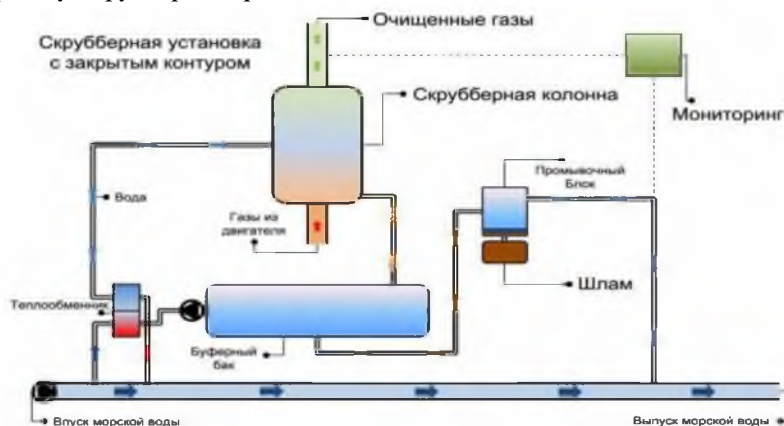


Рисунок 3 – Скрубберная установка с закрытым циклом

Гибридная система, схема которой показана на рисунке 4, совмещает в себе открытый и закрытый цикл, что в перспективе удобнее и экономичнее.

Встроенные скрубберы устанавливаются за главным двигателем вместе с трубой отработавших газов. Часто используется на пассажирских судах и контейнеровозах.

На рисунке 4 показана схема установки на судне описанного ранее устройства для комплексной очистки отработавших газов судового дизельного двигателя от вредных веществ, в том числе и от диоксида углерода.

Система очистки продуктов сгорания судового энергетического оборудования обеспечивает высокую степень удаления оксидов углеродов. Отработавшие газы, проходя через корпус установки, встречают на пути слой (или несколько слоев) сухого адсорбента (реагента), который – в зависимости от химического состава и формы насадок (меток), деактивирует (разлагает путем специфического окисления) тот или иной загрязнитель.

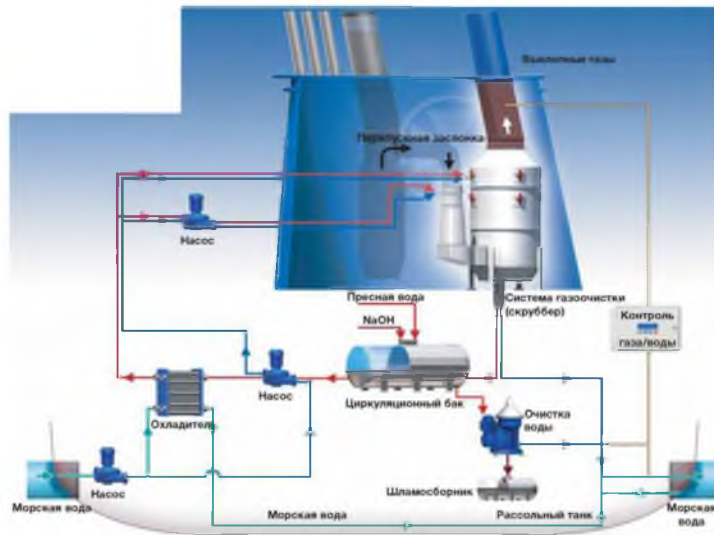


Рисунок 4 – Система очистки продуктов сгорания судового энергетического оборудования от оксидов углерода

В предложенной судовой системе отработавшие газы двигателей проходят через устройство для комплексной очистки отработавших газов, что позволяет без применения дорогих и опасных химических реагентов очистить газы от значительной части парникового газа – CO₂, вредных примесей (NO_x, SO_x, сажи).

В процессе эксплуатации судовых энергетических установок и их элементов должны выполняться требования правил 20 Достижимый конструктивный коэффициент энергоэффективности (достижимый ККЭЭ) и 21 Требуемый ККЭЭ приложения VI Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78. Данные правила требуют от

судовладельцев обеспечивать наименее возможный уровень выбросов диоксида углерода CO₂ от судового оборудования в соответствии с формулой для расчета ККЭЭ.

С целью соблюдения изложенных выше требований разработан представленный на рисунке 5 алгоритм решения задачи достижения требований правила 20 Достижимый конструктивный коэффициент энергоэффективности с учетом контроля удельных выбросов диоксида углерода с отработавшими газами дизельных двигателей системой лазерного мониторинга продуктов сгорания судового топлива.

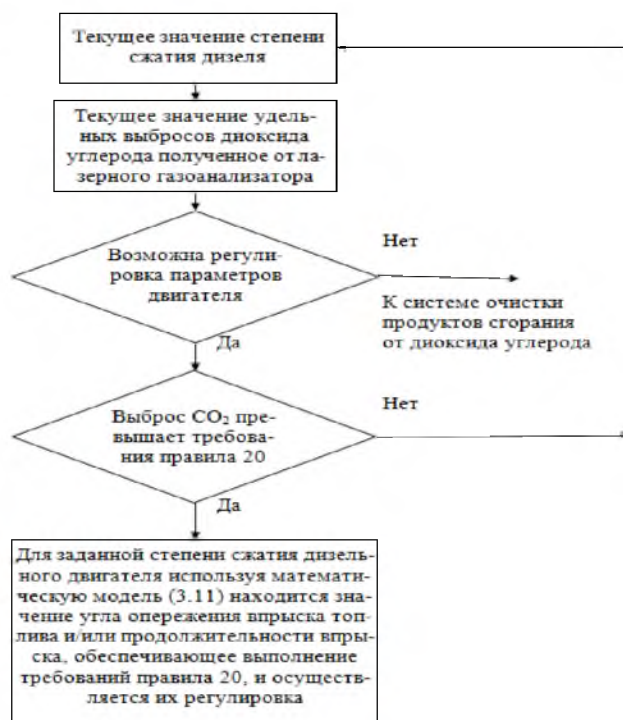


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма решения задачи выполнения требований правила 20 «Достижимый ККЭЭ» по выбросам диоксида углерода

Реализация предложенного алгоритма возможна в составе показанной на рисунке 4 системы очистки продуктов сгорания судового энергетического оборудования от оксидов углерода, азота и серы. В составе системы имеется блок лазерного контроля газа, задачей которого является осуществление непрерывного мониторинга вредных веществ, содержащихся в продуктах сгорания судового топлива.

В случае не выполнения требования правил 20 «Достижимый ККЭЭ» приложения VI МАРПОЛ 73/78 блок контроля газа корректирует значения угла опережения впрыска топлива и/или продолжительности впрыска топлива, обеспечивающие выполнение требований правил 20. При возникновении эксплуатационной необходимости, когда с целью обеспечения заданной мощности главного дизельного двигателя нежелательна корректировка указанных регулировочных параметров, часть или весь поток продуктов сгорания может быть направлен через систему очистки (скруббер) отработавших газов от вредных веществ, в том числе и от оксидов углерода.

Заключение

Для очистки отработавших газов двигателей от оксидов углерода, азота и серы были предложены способ и устройство, принцип действия которого основан на том, что отработавшие газы проходят через абсорбер, а затем через адсорбционные секции, заполненные гранулами шлаковой пемзы и очищаются от большей части CO_2 в результате их адсорбции. Дюоксид углерода, взаимодействуя с частицами воды в порах гранул, образует угольную кислоту H_2CO_3 . Затем разбавленный конденсат угольной кислоты после очистки в сепараторе от твердых примесей сбрасывается за борт судна.

Предложен состав судовой системы непрерывного лазерного мониторинга и управления выбросами оксидов углерода, азота и серы, содержащихся в отработавших газах двигателей, посредством настройки их регулировочных параметров и использования устройства для комплексной очистки отработавших газов.

Разработан алгоритм решения задачи выполнения требований правила 20 «Достижимый ККЭЭ» приложения VI Конвенции МАРПОЛ 73/78 по выбросам оксидов углерода. Реализация предложенного алгоритма возможна в использованием системы очистки продуктов сгорания судового энергетического оборудования от оксида углерода.

Литература

1. Шурпьяк В.К., Толмачев С.А., Мусонов М.В. Новые требования ИМО по уменьшению выбросов углекислого газа с морских судов, совершающих транспортную работу // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2021. – № 64/65. – С. 4-18.
2. Modina M.A., Khekert E.V., Voskanyan A.A., Pismenskaia Yu.V., Epikhin A.I., Shkoda V.V. 2021. Bioindication and biomonitoring assessment of the state of atmospheric air and soil in the study area *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 867. 012072.
3. Modina M.A., Khekert E.V., Epikhin A.I., Voskanyan A.A., Shkoda V.V., Pismenskaya Yu.V. 2021. Ways to reduce harmful emissions from the operation of power plants in special environmental control areas *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 867. 012104.
4. Может ли человек влиять на климат. <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=9049> (Дата обращения 14.11.2022).
5. Епихин А.И. Концепция экологического совершенствования судовых энергетических установок / А.И. Епихин, М.А. Модина, Е.В. Хекерт // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. № 3 (96). – С. 127-132.
6. Kikkinides E.S., Yang R.T., Cho S.H. Concentration and recovery of carbon dioxide from flue gas by pressure swing adsorption. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1993. 32. 2714-2720.
7. Chue K.T., Kim J.N., Yoo Y.J., Cho S.H., Yang R.T. Comparison of activated carbon and zeolite 13X for CO_2 recovery from flue gas by pressure swing adsorption. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1995 34. 591-598.
8. Ishibashi, M., Ota, H., Akutsu, N., Umeda, S., Tajika, M., Izumi, J., Yasutake, A., Kabata, T., Kageyama, Y.: Technology for removing carbon dioxide from power plant flue gas by the physical adsorption method. *Energy Convers. Manag.* 1996. 37. 929-933.
9. Bui M., Adjiman C.S., Bardow A., et al. Carbon capture and storage (CCS): the way forward. *Energy Environ. Sci.* 2018. 11. 1062-1176.
10. Ahmed I., Jhung S.H. Applications of metal-organic frameworks in adsorption/ separation processes via hydrogen bonding interactions. *Chem. Eng. J.* 2017. 310.197-215.
11. Webley P.A. Adsorption technology for CO_2 separation and capture: a perspective. *Adsorption*. 2014. 20. 225-231.
12. Saima W.H., Mogi Y., Haraoka T. Development of PSA System for the Recovery of Carbon Dioxide and Carbon Monoxide from Blast Furnace Gas in Steel Works. *Energy Procedia*. 2013. 37. 7152-7159.
13. Mirza N., Kearns D. State of the Art: CCS Technologies 2022. Global CCS Institute. 2022. 160 p.

14. Способ и устройство для комплексной очистки выхлопных газов судового двигателя: пат. № 2644601. Рос. Федерация: МПК F01N 3/08 / Туркин А.В., Туркин В.А., Ежов В.С.; опубликовано 05.12.2017, Бюл. № 34. 2 с.
15. Turkin V.A., Pismenskaya Yu.V., Ignatenko G.V., Aleksandrova V.V. Carbon dioxide extraction from marine engine exhaust gases by the method of adsorption. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. 872. 012007.
16. Kjølholt J., Aakre S., Jørgensen C., Lauridsen J. Assessment of possible impacts of scrubber water discharges on the marine environment. Environmental Project № 1431. Danish Environmental Protection Agency. 2012. 93 p.
17. Уайлз Д. Вперёд на всех парах. Международный журнал компании Альфа Лаваль Here. 2012. 30. 11-12.

References

1. Shurpyak V.K., Tolmachev S.A., Musonov M.V. New IMO requirements for the reduction of carbon dioxide emissions from ships engaged in transport work. Scientific and technical collection of the Russian Maritime Register of Shipping. 2021. 64/65. 4-18.
2. Modina M.A., Khekert E.V., Voskanian A.A., Pismenskaia Yu.V., Epikhin A.I., Shkoda V.V. 2021. Bioindication and biomonitoring assessment of the state of atmospheric air and soil in the study area *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 867. 012072.
3. Modina M.A., Kheckert E.V., Epikhin A.I., Voskanyan A.A., Shkoda V.V., Pismenskaya Yu.V. 2021. Ways to reduce harmful emissions from the operation of power plants in special environmental control areas *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 867. 012104.
4. Can humans influence the climate? <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=9049> (date of the application 14.11.2022).
5. Epikhin A.I., Modina M.A., Heckert E.V. The concept of environmental improvement of ship power plants. Operation of maritime transport. 2020. 3 (96). 127-132.
6. Kikkinides E.S., Yang R.T., Cho S.H. Concentration and recovery of carbon dioxide from flue gas by pressure swing adsorption. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1993. 32. 2714-2720.
7. Chue K.T., Kim J.N., Yoo Y.J., Cho S.H., Yang R.T. Comparison of activated carbon and zeolite 13X for CO₂ recovery from flue gas by pressure swing adsorption. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1995. 34. 591-598.
8. Ishibashi, M., Ota, H., Akutsu, N., Umeda, S., Tajika, M., Izumi, J., Yasutake, A., Kabata, T., Kageyama, Y.: Technology for removing carbon dioxide from power plant flue gas by the physical adsorption method. *Energy Convers. Manag.* 1996. 37. 929-933.
9. Bui M., Adjiman C.S., Bardow A., et al. Carbon capture and storage (CCS): the way forward. *Energy Environ. Sci.* 2018. 11. 1062-1176.
10. Ahmed I., Jhung S.H. Applications of metal-organic frameworks in adsorption/ separation processes via hydrogen bonding interactions. *Chem. Eng. J.* 2017. 310.197-215.
11. Webley P.A. Adsorption technology for CO₂ separation and capture: a perspective. *Adsorption*. 2014. 20. 225-231.
12. Saima W.H., Mogi Y., Haraoka T. Development of PSA System for the Recovery of Carbon Dioxide and Carbon Monoxide from Blast Furnace Gas in Steel Works. *Energy Procedia*. 2013. 37. 7152-7159.
13. Mirza N., Kearns D. State of the Art: CCS Technologies 2022. Global CCS Institute. 2022. 160 p.
14. Turkin A.V., Turkin V.A., Ezhov V.S. Method and device for complex purification of exhaust gases of a marine engine: Pat. No. 2644601. Ros. Federation: IPC F01N 3.08. Published on 05.12.2017, Bull. 34. 2 s.
15. Turkin V.A., Pismenskaya Yu.V., Ignatenko G.V., Aleksandrova V.V. Carbon dioxide extraction from marine engine exhaust gases by the method of adsorption. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. 872. 012007.
16. Kjølholt J., Aakre S., Jørgensen C., Lauridsen J. Assessment of possible impacts of scrubber water discharges on the marine environment. Environmental Project № 1431. Danish Environmental Protection Agency. 2012. 93 p.
17. Wiles D. Full steam ahead. Alfa Laval's international magazine Here. 2012. 30. 11-12.

УДК 621.431.74/62-971.4

DOI: 10.34046/aumsuomt105/29

РАСЧЕТ БАРИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СМЕШАННЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Косолап Ю.Г., кандидат технических наук, доцент
 Черкасов А.В., кандидат технических наук, доцент
 Данцевич И.М., кандидат технических наук
 Лютикова М.Н., кандидат технических наук, доцент