

УДК 629.123

Голубев М.В.

Одесская национальная морская академия, г. Одесса, Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ УГОДЯЩИХ ГАЗОВ НА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Golubev M.

Odessa National Maritime Academy, Odessa, Ukraine (info@onma.edu.ua)

IMPROVEMENT OF THE FLUE GASES CLEANING SYSTEM AT SHIP POWER PLANTS

Рассмотрены особенности гидродинамической технологии по снижению концентрации вредных токсичных компонент дымовых газов при работе судовой энергетической установки. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса фильтрации дымовых газов в неподвижной воде с учетом особенностей конструктивного исполнения рабочей камеры установки. Исследования проведены в широком диапазоне изменения кинематических параметров судовых дымовых газов. Выполнено описание разработанной технологической схемы судовой фильтрационной установки.

Ключевые слова: дымовые газы, процесс фильтрации, рабочая камера, концентрация компоненты, судовая энергетическая установка, очистка и охлаждение дымовых газов, потери давления.

Введение

При эксплуатации судов водного транспорта очень актуальной является экологическая проблема обработки уходящих дымовых газов (ДГ). Очистка ДГ от вредных токсичных составляющих снижает выбросы от продуктов горения в окружающее пространство, а при концентрации 1 г/м^3 может быть даже рентабельной.

Согласно требованиям Резолюции МЕРС.176(58), принятой на 58-й сессии Комитета по защите морской среды (Пересмотренное Приложение VI к Конвенции МАРПОЛ) [1] концентрация вредных выбросов в ДГ контролируется по двум параметрам: взвешенному выбросу окислов азота NO_x и окислам серы SO_x с твердыми частицами. Величина их численных значений постоянно снижается в разы, а районы контроля выбросов начиная с 2015 г покрывают практически все районы плавания планеты.

Дизельные двигатели в судовых энергетических установках (СЭУ) используют до 90% судов мирового флота. Ведущими мировыми производителями судовых дизельных энергетических установок являются: "Mitsubishi Heavy Industries Ltd", (Япония) – 10% мирового производства; "Wartsila Switzerland Ltd" (Швейцария) – 25 % мирового производства; «Burmeister and Wain» (Дания); MAN (Германия); «Doksford» (Великобритания); «Stork» (Нидерланды); «Getaverken» (Швеция); «Fiat» (Италия); «Pillstick» (Франция) [2-3]. Выпускаемые ими дизеля отличаются, как по конструктивным, так и по эксплуатационным характеристикам, но, при использовании идентичного по характеристикам сорта топлива, общими у них являются составы выбрасываемых в атмосферу ДГ.

Принципиально, при работе судна, могут возникать газообразные технологические выбросы двух видов - озоноразрушающие газы и продукты сгорания топлива в СЭУ. При работе судовых дизелей безвредные или нейтральные (N_2 , O_2 , CO_2 и H_2O) вещества в сумме составляют до 99% от общего объема выпускных газов. Остальные включают в себя окислы азота (NO_2), серы (SO_2), окись углерода (CO), углеводороды (C_2H_4) и частицы (сажа, зола) [4-5].

Международным сообществом состав выбросов контролируется путем введения в обязательное исполнение различных норм и правил. Анализ районов контроля судовых газообразных выбросов позволяет сделать однозначный вывод - начиная с 2015 года, практически все районы плавания судов в планетарном масштабе будут находиться в зоне нормативного контроля выбросов. Согласно основным регламентирующим документам [1, 6] при работе судна для постоянного контроля выбросов продуктов сгорания используются значения концентрации двух основных химических газообразных соединений – окислов азота (NO_x) и комбинации окислов серы (SO_x) с твердыми частицами. Содержание допустимого полного взвешенного выброса окислов азота и окислов серы в комбинации с твердыми частицами варьируется для судов в зависимости от годов их постройки.

Цель

При анализе методов, которые используются на судах для очистки ДГ, была составлена их общая классификация. Она показана на рисунке 1, где видно, что существует три независимых метода. Первые два отличаются между собой наличием жидкой фазы, как одной из составляющих процесса очистки ДГ, а третий основан на использовании специфических особенностей электрического поля [7-9].

Анализ всех достоинств и недостатков методов очистки ДГ в применении к СЭУ показал, что по-прежнему проблема остается актуальной и нерешенной. Ни один из методов в условиях работы судна не позволяет быстро и качественно очистить ДГ. Необходимо создать технологию, которая будет дешевой, конструктивно простой и эффективной с точки зрения достижения нормативных значений концентрации выбрасываемых продуктов сгорания.

В большинстве случаев из-за сложного химического состава и высокой концентрации токсичных компонент используются многоступенчатые технологии очистки на основе комбинации вышеперечисленных методов. Характерным примером является адсорбционно-каталитическая очистка ДГ, а самой перспективной является плазменно-каталитическая очистка, работающая в диапазоне температур от 40 до 100 °С.



Рис. 1. Классификация методов очистки ДГ

Анализ современных судовых технологических схем по регенерации тепла уходящих ДГ указал на их общий недостаток - ни одна из схем регенерации в своем технологическом контуре не предусматривает использование системы обработки выбрасываемых в окружающую среду ДГ. При этом можно констатировать, что при эксплуатации любого судна водного транспорта остаются нерешенными две основные проблемы.

Первая проблема относится к экологическому направлению – судовые ДГ содержат большое количество вредных составляющих, некоторые из которых могут рассматриваться, как токсичные.

Вторая проблема относится к высоким значениям температуры выбрасываемых судном ДГ. Обычно при эксплуатации судна они соответствуют диапазону $t = 180 - 290$ °С, что заведомо снижает энергетический КПД судна, указывает на нерациональность использования топлива и отрицательно сказывается на рентабельности работы судна во время рейса.

При эксплуатации СЭУ возникающие переменные нагрузки и изменение качества топлива при бункеровке судна в различных портах не позволяют добиться хороших и одинаковых показателей чистоты и температуры выпускаемых ДГ.

Для решения этих проблем в ходе научно-исследовательских работ был сделан вывод о необходимости разработки нового метода охлаждения и очистки уходящих ДГ. В его основу был положен известный физический принцип фильтрации, заключающийся в контактом взаимодействии движущегося потока ДГ с неподвижной жидкостью внутри рабочей камеры с жесткими и непроницаемыми стенками.

Общий вид установки для обработки ДГ показан на рисунке 2. Принцип ее работы основан на использовании воды в качестве фильтрующего материала. Как видно на схеме основной поток ДГ движется по судовому дымоходу 1. Судовой узел обработки подключается к нему при помощи вспомогательных линий 2. На каждой линии должна быть предусмотрена установка автоматически управляемых невозвратных клапанов 3. Главное предназначение этих клапанов заключается в контроле количества газов, подаваемых на обработку в одну из фильтрационных колонн 4.

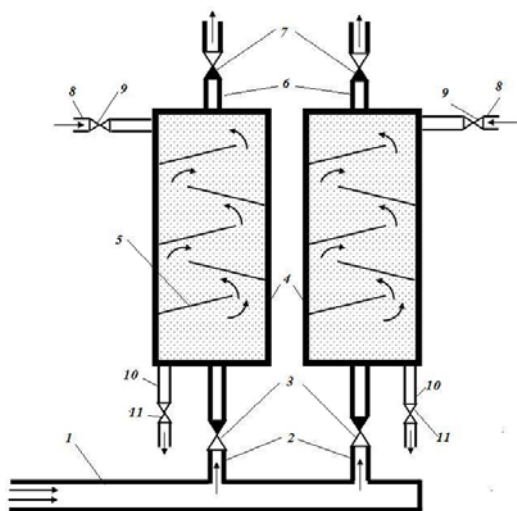


Рис. 2. Технологическая схема очистки ДГ
 1–дымовый тракт; 2–линия отбора уходящих газов; 3–невозвратный автоматический клапан; 4–корпус водяной кассеты; 5–направляющие пластины; 6–линия отвода очищенных газов; 7–невозвратный отводной автоматический клапан; 8–линия подачи воды; 9, 11–автоматически управляемые вентили; 10–линия сброса отработанной воды

присутствии повышенных температур будут образовываться слабоконцентрированные растворы азотной HNO_3 , серной H_2SO_4 и угольной H_2CO_3 кислот. За счет этих химических реакций обеспечивается необходимая очистка судовых дымовых газов на выходе из узла обработки с удалением до нормативных требований всех токсичных составляющих (NO_x , SO_x).

По высоте фильтрационной колонны 4 температура и концентрация вредных примесей в ДГ будут уменьшаться, достигая своего минимума на выходе из узла обработки. Полностью очищенные и охлажденные ДГ по линиям отвода 6 через невозвратные клапаны 7 за счет работы нагнетательного оборудования выбрасываются в окружающее пространство.

С ростом времени температура и степень чистоты воды в фильтрационной кассете будут постоянно изменяться в сторону нагрева и ухудшения показателей. Для ее замены в верхней части фильтрационной колонны предусмотрена установка линии подачи 8. Расход воды контролируется при помощи автоматически управляемого вентиля 9. При температуре воды в фильтре, равной 90°C , внизу колонны за счет срабатывания автоматически управляемого вентиля 11, произойдет сброс отработанной воды по линии 10 с ее последующим наполнением из линии подачи 8.

Исследование

Основная направленность выполненных исследований заключалась в оценке возможности снижения концентрации примесей в ДГ и получению данных характеризующих процесс их очистки.

Процесс фильтрации ДГ при прохождении через водяной фильтр подразумевает непрерывное изменение фазовой концентрации обрабатываемого газового потока. В этом случае будет иметь место испарение и конденсация воды, а также изменение размеров пузырьков пара при их разрушении или объединении. В ходе взаимодействия ДГ с водой из-за нелинейных гидродинамических процессов при своем подъеме пузырьки движутся неустойчиво по различным отклоняющимся от вертикали траекториям. Во всей области неподвижной воды имеет место интенсивная циркуляция пузырьков. По этой причине по высоте водяного столба средняя скорость движения ДГ может на порядки отличаться от скорости всплывания одиночного пузырька.

Распространение малых возмущений внутри смеси воды с газовыми пузырьками с достаточной степенью точности описывается приближенной формулой Вуда [12]

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha^2}{a_g^2} + \frac{(1-\alpha)^2}{a_w^2} + \frac{\alpha(1-\alpha)\rho_g}{p} \quad (1)$$

где a – скорость распространения звука в смеси (индексы g и w соответственно в газе и воде); α – объемная концентрация газа; p – давление.

Согласно уравнению (1), если объемная концентрация ДГ составляет $\alpha=1/2$, а жидкостью является вода и давление в ней составляет $P=1 \text{ бар}$, то минимальная скорость распространения возмущений будет 20 м/с , что почти в 75 раз меньше скорости звука в чистой воде, равной 1500 м/с и в 1 раз меньше скорости звука в

воздухе, равной 340 м/с. При этом рост концентрации ДГ приводит к падению степени влияния возмущений в газожидкостной смеси [12].

При рассмотрении вопроса фильтрации водой газового потока всегда требуется знать величину вязкости движущегося многофазного потока. В этом случае для ДГ, поднимающихся в воде в виде несферических объемов, вязкость внутри водяного фильтра должна рассчитываться с учетом "поправки Эйнштейна" [12]

$$\mu = \mu'(1 + 5\chi_i) \quad (2)$$

где μ' - динамическая вязкость ДГ при движении без фильтрации в воде; χ_o - секундная объемная концентрация ДГ в воде.

Величину вязкости ДГ μ' возможно оценить в зависимости от температуры по формуле Саттерленда в которой константы зависят от типов газов, входящих в состав продуктов горения

$$\mu' = \frac{const \Gamma^{3/2}}{T + C} \quad (3)$$

При водной фильтрации ДГ важное значение имеет скорость диффузии i -й компоненты ДГ в воду. С учетом изменения концентрации χ_m только по высоте водяного фильтра (координате z) она для i -й компоненты ДГ описывается законом Фика [12]

$$V^* = - \frac{D}{\chi_i} \frac{d\chi_i}{dz} \quad (4)$$

Входящий в выражение (4) коэффициент диффузии D в первом приближении можно принимать постоянным.

Процесс диффузии газа в жидкость всегда сопровождается возникновением на поверхности пузыря ДГ мелких пузырьков. Экспериментальная фотография такой поверхности показана на рисунке 3 [13]. Возникновение мелких пузырьков можно объяснить влиянием мелкомасштабной турбулентности и неустойчивости на границе раздела "дымовый газ - вода" на поверхности основного пузырька при его импульсном ускорении с одновременным увеличением в объеме.

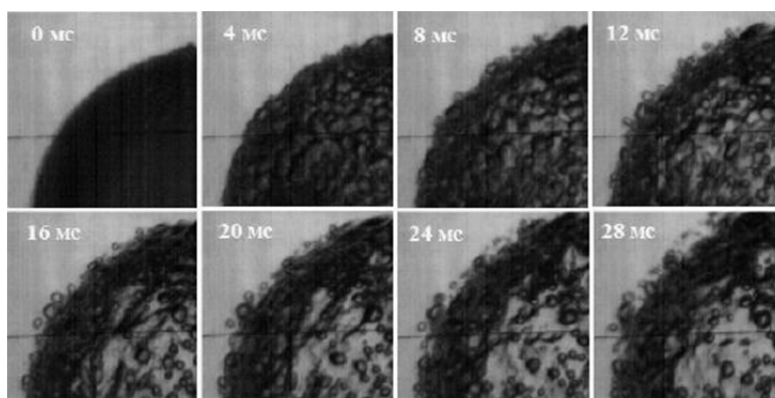


Рис. 3. Структура поверхности газового пузырька при подъеме в неподвижной жидкости. [13]

Эффективность всплывания пузырьков ДГ достаточно качественно характеризуется параметром эффективного градиента сдвига гидродинамического поля. Он рассчитывается, как

$$G = \sqrt{\frac{Vg}{\nu}} \quad (5)$$

где V - скорость всплывания пузырьков дымовых газов, м/с; g - ускорение сил тяжести, м/с²; ν - кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

Фильтрацию ДГ в неподвижной воде можно рассматривать, как процесс пузырькового кипения. В этом случае процессы тепло- и массообмена будут характеризоваться наличием дополнительного переноса массы водяного пара в пузырек и теплоты ДГ из пограничного слоя пузырька в объем неподвижной фильтрационной воды. При этом во время подъема в неподвижной жидкости на газовый пузырек действуют: подъемная сила, сила поверхностного натяжения, сила тяжести и сила лобового сопротивления. Последняя сила является гидродинамической, т. к. она проявляется только при движении массы жидкости вблизи пузырька. По этой причине подъем пузырька ДГ в воде в зависимости от высоты его расположения может сопровождаться изменением величины его поверхностного натяжения, ростом диффузионного сопротивления, возникновением на границе раздела "газ-вода" межфазной турбулентности, и изменением коэффициента теплоотдачи. Перечисленные факторы также влияют на скорость всплывания и скорость парообразования на поверхности пузырька.

Сила сопротивления, которую будет испытывать сферический газовый пузырек, при своем движении вверх внутри столба воды впервые была описана в работе [27] и полученное аналитическое решение имело вид

$$F_c = 2\pi\rho R^3 g \left[\frac{1}{3} + \frac{3\nu}{R^2} t + \frac{6}{R} \sqrt{\frac{\nu t}{\pi}} \right] \quad (6)$$

где ρ и ν – плотность и кинематическая вязкость воды; R – радиус пузырька; t – время.

Для оценки основных характеристик движения пузырька газа внутри неподвижной жидкости используется большое число физических и математических моделей. К самым простым относятся базирующиеся на энергетическом балансе такого движения. Результаты, получаемые на их основе, дают качественную оценку характеристик движения пузырька. Так, например, скорость V и время всплывания газового пузырька t^* на высоту h , соответствующую свободной поверхности, можно найти путем приравнивания работы, совершаемой пузырьком при всплывании к кинетической энергии самого пузырька. В окончательном виде эти параметры были записаны в виде

$$V = \sqrt{2gh \frac{(\rho_a - \rho_a)}{\rho_a}} \quad (7)$$

$$t^* = \frac{h}{V} \quad (8)$$

Для описания процесса передачи массы от основных компонент ДГ (CO , SO_x , NO_x) в воду использовалось уравнение, описывающее скорость массопередачи. Оно дает возможность моделировать процесс массопередачи при нестационарной молекулярной диффузии, когда водяная пленка, являющаяся одновременно границей раздела “газ-вода” движется вместе с пузырьком и имеет вид

$$\frac{\partial m}{\partial t} = J_m S (C_i - \tilde{N}) \quad (9)$$

где: J_m – коэффициент массопередачи водяной пленки, м/с ; S – суммарная площадь поверхности газовых пузырьков (площадь межфазного контакта), м^2 ; C_i – концентрация газа при полном насыщении воды, кг/м^3 ; \tilde{N} – текущая концентрация растворенного в жидкости газа, кг/м^3 .

Величина коэффициента массопередачи водяной пленки рассчитывалась по формуле Хигби [12]

$$J_m = 2 \sqrt{\frac{DV}{\pi d_n}} \quad (10)$$

где D – средневзвешенное значение коэффициента диффузии основных компонент ДГ в жидкость, $\text{м}^2/\text{с}$; V – скорость всплывания пузырька ДГ, м/с ; d_n – диаметр пузырька ДГ, м .

В результате использования метода конечных разностей для решения дифференциальных уравнений, описывающих процессы тепло- и массообмена, была проведена серия вычислительных экспериментов. В ходе математического моделирования число расчетных узлов, которые при дискретизации заменяли все рабочее пространство камеры фильтрационной колонны, составляло 62500000 единиц. Шаг расчетной сетки выбирался таким образом, чтобы точки, соответствующие началу и окончанию направляющих пластин внутри рабочей камеры имели четкие и однозначные координаты по i -му и j -му индексу. Все численные эксперименты производились в размерной форме и в каждой узловой точке определялись: скорость, давление, температура и концентрации составляющих компонентов судовых ДГ (V_{ij} , P_{ij} , T_{ij} , C_{NOxij} , C_{SOxij}).

В ходе расчетов были получены результаты, показывающие, каким образом во времени изменяется скорость подъема ДГ внутри фильтрационной колонны. Расчет производился для трех значений вязкости полученной смеси внутри колонны – $\mu=10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, $\mu=10^{-2} \text{ Па}\cdot\text{с}$, $\mu=10^{-1} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и для трех значений начальной (входной) скорости подвода ДГ на обработку – 2 м/с , 3,4 м/с , 5 м/с . Результаты показаны на рисунке 6.

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что скорость подъема ДГ выходит на свое стационарное состояние через 3 секунды движения газов внутри фильтрационной колонны вне зависимости от скорости их подвода или вязкости получаемой смеси газа с водой. Влияние вязкости проявляется только на начальной стадии подъема от 0,5 до 2 секунд и является существенным только при высоких скоростях подвода.

Полученные результаты теоретической оценки величины давления внутри пузырьков ДГ при их всплывании в воде показаны на рисунке 7. На графике отображены два варианта – обычная колонна и фильтрационная колонна с направляющими разделительными пластинами. С точки зрения обработки ДГ эти конструктивные решения отличаются между собой получаемыми размерами пузырьков в верхней части водяного столба. Если при обычном подъеме их объединение практически не происходит, то в случае, когда корпус фильтрационной колонны содержит разделительные пластины размер пузырька изменяется на порядок.

В ходе расчетов входной диаметр пузырьков принимался одинаковым и составлял 5 мм , а на выходе его значения составляли для цилиндрической колонны – 11 мм и для колонны с направляющими пластинами – 50 мм . Давление в нижней части колонны принималось равным сумме гидростатического давления внутри колонны и динамического напора потока ДГ на входе в фильтрационную кассету. На рисунке 7 каждая из трех кривых соответствует различным значениям скорости подачи (1 – 2 м/с ; 2 – 3,4 м/с ; 3 – 5 м/с) ДГ на входе в фильтрационную колонну.

При проведении расчетов была выполнена оценка величины скорости диффузии в воду NO_x компоненты ДГ. Результаты показаны на рисунке 8, где видно, что по высоте фильтрационной колонны эта величина

изменяется не одинаково. Максимальный отбор токсичной компоненты ДГ наблюдается в нижней части фильтрационной колонны. Начиная с высоты превышающей $0,7$ высоты рабочей камеры H диффузия оксидов азота в воду резко падает, а начиная с высоты $0,8H$ принимает практически нулевое значение.

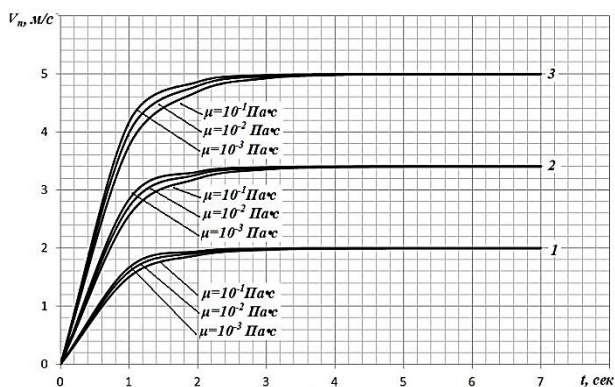


Рис. 6. Зависимость времени подъема ДГ от скорости их подачи в фильтрационную колонну. 1 – $V_{вх} = 2$ м/с; 2 – $V_{вх} = 3,4$ м/с; 3 – $V_{вх} = 5$ м/с

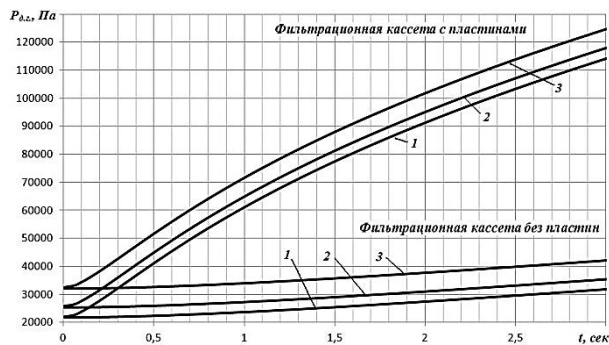


Рис. 7. Изменение давления внутри пузырьков ДГ при их всплывании в зависимости от входной скорости в установку 1 – $V_{вх} = 2$ м/с; 2 – $V_{вх} = 3,4$ м/с; 3 – $V_{вх} = 5$ м/с

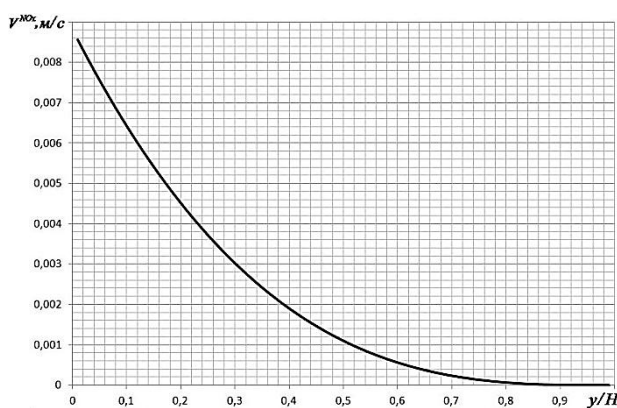


Рис. 8. Изменение скорости диффузии оксида азота по высоте рабочей камеры

Натурные эксперименты проводились на судне Chemical product tanker “Amy”, Liberya. Созданная научно-исследовательская установка может рассматриваться, как прототип судового узла обработки уходящих ДГ, характеризующегося малой производительностью.

В ходе измерений автоматически контролировались: входная и выходная температура ДГ; входная и выходная температура фильтрационной воды; расход обрабатываемых ДГ; входное и выходное давление ДГ; входная и выходная концентрации примесей NO_x и SO_x .

Во время экспериментальных исследований имели место следующие рабочие параметры ДГ и геометрические размеры подводных линий: диапазон расхода ДГ на входе в установку - от 4000 до 10000 $м^3/ч$ (от 1,111 до 2,778 $м^3/с$), температура ДГ в газовом тракте после утилизационного котла - 140 $^{\circ}C$, диаметр цилиндрической части судового дымохода - 1 м, диаметр входа в фильтрационную колонну - 0,1 м, внутренние габаритные размеры фильтрационной колонны - длина 1 м; ширина 1 м; высота 2,5 м, скорость ДГ на входе в фильтрационную колонну - от 1,415 до 3,538 м/с, концентрация NO_x в ДГ после утилизационного котла - от 28 до 60 $г/кВтч$, концентрация SO_x в ДГ после утилизационного котла - от 11 до 29 $г/кВтч$.

При проведении экспериментальных исследований было изучено, каким образом изменяется температура ДГ по высоте фильтрационной колонны. Замеры производились в пяти створах, расположенных по высоте рабочей камеры на одинаковых расстояниях. На рисунке 9 показаны полученные результаты в зависимости от величины объемного расхода ДГ. Каждая экспериментальная точка соответствует набору из пятидесяти измерений и является результатом их осреднения.

На графике видно, что рост скорости ДГ на входе в фильтрационную колонну приводил к ухудшению процесса отбора тепла. Сокращение времени контактного взаимодействия приводило к уменьшению разности температур ДГ на входе и выходе в установку. Как видно на графике, изменение скорости всего на 2,123 м/с привело к увеличению температуры на выходе с 90 до 98 $^{\circ}C$.

Оценка степени эффективности очистки ДГ от вредных составляющих показана на рисунках 10-11. Данные соответствуют различным значениям площади контакта ДГ с водой.

Полученные результаты хорошо согласуются с известным качественным результатом - оксиды серы в воде растворяются менее интенсивно, чем оксиды азота. Приведенные на графиках результаты получены при

идентичних умовах експеримента, но їх порівняння показує, що падіння концентрації SO_x було на 6,7 % менше порівняно з випадком зміни концентрації NO_x .

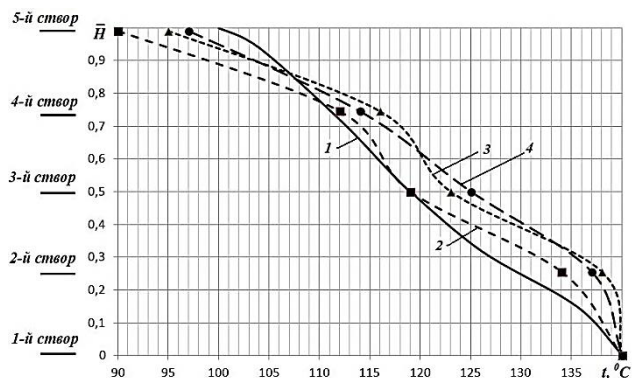


Рис. 9. Розподіл температури по висоті колонни в залежності від швидкості подачі ДГ. 1 - розрахунок; 2 - $V = 1,415 \text{ м/с}$; 3 - $V = 2,739 \text{ м/с}$; 4 - $V = 3,538 \text{ м/с}$

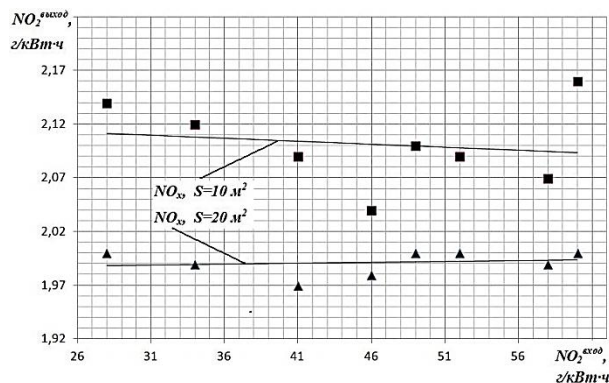


Рис. 10. Падіння концентрації NO_x в залежності від площі контакту

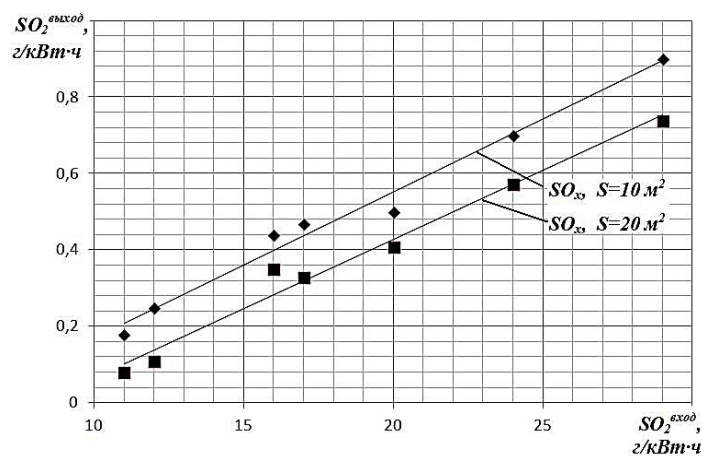


Рис. 11. Падіння концентрації SO_x в залежності від площі контакту

Слід зазначити, що наведених на графіках значення площі контакту (10 і 20 м^2) є наближеними, оскільки при проведенні досліджень приймавось, що бульбашки мають сферичну форму і, що їх діаметр дорівнює діаметру отворів впускного колектора, а генероване кількість визначається витратом димових газів. В дійсності, як видно на експериментальних фотографіях, взятих з роботи [14] і показаних на рисунку 12 форма газового бульбашки при підйомі вгору стає близькою до плоскої линзи, що в застосуванні до обробки водою ДГ може розглядатись, як позитивний результат.

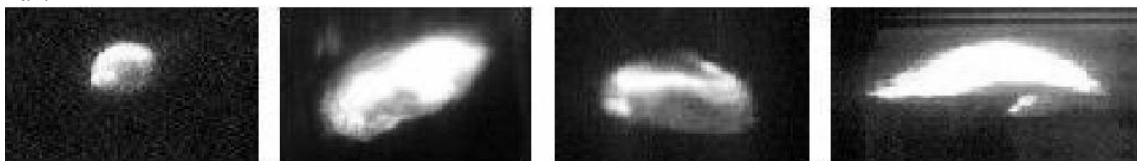


Рис. 12. Трансформація форми повітряного бульбашки при вспливанні в нерухомій воді. [14]

На основі результатів проведених досліджень була складена методика конструкторського розрахунку вузла обробки ДГ. З урахуванням виведених на основі теорії подоби критеріальних залежностей на її основі можливо перерахувати робочі показники вузла фільтрації ДГ для отримання оптимального режиму експлуатації. Сама методика складається з чотирьох стадій:

- 1 стадія - розрахунок характеристик потоку ДГ на вході в судовий вузол обробки димових газів;
- 2 стадія - визначення геометричних розмірів робочої камери установки, які безпосередньо впливають на якість процесу обробки ДГ;
- 3 стадія - розрахунок матеріального балансу судових ДГ газів при їх проходженні через установку;
- 4 стадія - оцінка наслідків викидів ДГ в оточуюче середовище.

Порівняння результатів, отриманих на основі методики конструкторського розрахунку судового вузла фільтрації ДГ, з реальними результатами натурних досліджень показало наявність похибки менше 4,7

%. Это значение можно считать приемлемым для проведения инженерных оценок процесса обработки ДГ в условиях эксплуатации судна.

К основному достоинству разработанной методики конструкторского расчета можно отнести:

- возможность однозначного задания или изменения всех основных параметров, влияющих на динамику процесса обработки судовых ДГ;
- создание оптимальных рабочих условий для полной очистки ДГ от вредных компонент;
- охлаждение выбрасываемых судовых ДГ до конкретно заданных значений, которые полностью обусловлены действующей на судне технологической схемой СЭУ.

Выводы

1. Анализ методов, используемых для очистки ДГ, показал, что ни один из них в условиях работы судна не позволяет быстро и качественно их обработать. По-прежнему существует необходимость создания технологий, характеризующихся невысокой стоимостью, конструктивной простотой и эффективностью очистки выбрасываемых продуктов сгорания.

Решением проблемы может быть процесс фильтрации ДГ в судовом узле обработки, работающего на физическом принципе контактного взаимодействия всплывающих в воде газовых пузырьков внутри специально спроектированной камеры.

2. Анализ современных судовых технологических схем по регенерации тепла уходящих ДГ указал на их общий недостаток - ни одна из схем регенерации в своем технологическом контуре не предусматривает использование системы обработки выбрасываемых в окружающую среду ДГ. При этом, при эксплуатации любого судна водного транспорта остаются нерешенными две основные проблемы.

Первая проблема относится к экологическому направлению – судовые ДГ содержат большое количество вредных составляющих, некоторые из которых могут рассматриваться, как токсичные.

Вторая проблема относится к высоким значениям температуры выбрасываемых судном ДГ, которые при эксплуатации судна соответствуют диапазону $t = 180 - 290$ °С, что заведомо снижает энергетический КПД судна, указывает на нерациональность использования топлива и отрицательно сказывается на рентабельности работы судна во время рейса.

3. Скорость всплывания пузырьков ДГ выходит на свое стационарное значение через 3 секунды движения газов внутри фильтрационной колонны вне зависимости от скорости их подвода или вязкости получаемой смеси газа с водой. Влияние вязкости проявляется только на начальной стадии подъема от 0,5 до 2 секунд и является существенным только при высоких скоростях подвода.

4. Рост скорости ДГ на входе в фильтрационную колонну приводит к ухудшению процесса отбора тепла. Сокращение времени контактного взаимодействия проявляется в уменьшении разности температур ДГ на входе и выходе в установку.

5. Вне зависимости от значения площади контактного взаимодействия ДГ с водой оксиды серы в воде растворяются менее интенсивно, чем оксиды азота. Падение концентрации SO_x было на 6,7 % меньше по сравнению со случаем изменения концентрации NO_x .

Анотація. Розглянуто особливості гідродинамічної технології по зниженню концентрації шкідливих токсичних компонент димових газів при роботі суднової енергетичної установки. Представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень процесу фільтрації димових газів в нерухомій воді з урахуванням особливостей конструктивного виконання робочої камери установки. Дослідження проведені в широкому діапазоні зміни кінематичних параметрів судових димових газів. Виконано опис розробленої технологічної схеми суднової фільтраційної установки.

Ключові слова: димові гази, процес фільтрації, робоча камера, концентрація компоненти, суднова енергетична установка, очищення та охолодження димових газів, втрати тиску.

Abstract. Purpose. In the article there was considered the problem of the flue gases cooling and cleaning from harmful toxic components. There was described the classification of the various methods of cleaning and shown that it is necessary to develop a new method which would be characterizing as a simple and cheap.

Design/methodology/approach. It was offered to use the hydrodynamic process of contact interaction between flue gases and stationary liquid. Due to the specially profiled camera settings has been achieved an increase in residence time of flue gases in the water. There was done a description of the main aspects of water-gas filtration theory and given an explanation of some features of the hydrodynamic behavior of a gas bubble during flotation process.

Findings. On the basis of the stated differential equations solution there was obtained a number of theoretical results, which describe the dynamics of interaction between flue gases and water. All results were obtained using the finite difference method. The description of the results of physical experiments, performed in real marine environments. There was done a description of the influence of the flow's velocity at the inlet to the plant onto the heat take-off process and concentration reduction of oxides of sulfur and nitrogen.

Originality/value. Exactly for the ship operating conditions there was developed a method of calculation of the separation unit and had been formulated general conclusions.

Keywords: flue gas filtration process, the working chamber, the concentration of the components, marine power plant, cleaning and cooling of the flue gases, pressure loss.

Библиографический список использованной литературы

1. *Международная конвенция MARPOL 73/78.*
2. *Golikov V.A. Modern problems of technical safety navigation. / Golikov V.A., Golubev M.V, Slusarenko A.A.// International scientific-practical conference 'Safety of Shipping and Human Element'. – Ukraine, Odessa, 2004, pp.177-179.*
3. *Golikov V.A. Energy effectiveness of ship diesel power plants. / Golikov V.A., Golubev M.V.// Ship power plants: Scientific-technical magazine. N. 12. – Odessa: ONMA, 2005 – pp. 66-75.*
4. *24-й Всемирный конгресс двигателестроения для судовых пропульсивных установок, Энергоснабжение, Передача мощности – Япония, Киото, 2004.*
5. *Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами. – М.: Транспорт, 1979. – 336 с.*
6. *“Лондонская конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросом отходов и других материалов”, 26.12.1972.*
7. *Власенко В. М. Каталитическая очистка газов. Киев: Техника, 1973. 199 с.*
8. *Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды. Учебник для вузов. - М.: Химия, 1989. - 512 с.*
9. *Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник в 2-х частях. Под ред. С. Калверта. - М.: Металлургия. - 1988. - 760 с.*
10. *Харлашин П.С. Исследование характеристик движения пузырька при продувке жидкости нейтральным газом. / Харлашин П.С., Яценко А.Н. // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. Вип. №20. 2010 р. С. 53-57.*
11. *Flannigan D.J. and Suslick K.S. Molecular and atomic emission during single-bubble cavitation in concentrated sulfuric acid Acoustics //Research Letters Online.- 2005.-V.6. -№3. - P.157-161.*
12. *Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука. – 1973. – 847 с.*
13. *Мешков Д.Е. Исследование влияния объема всплывающего пузырька на характер течения. / Мешков Д.Е., Мешков Е.Е., Сиволгин В.С. // Вестник Саровского ФизТеха, №8, 2005г., с.68-73.*
14. *R. M. Davies, G. I. Taylor, “The mechanics of large bubbles rising through liquids in tubes”, Proc. of Roy. Soc., Ser. A, pp.375-390, 1950.*

References

1. *MARPOL 73/78.*
2. *Modern problems of technical safety navigation. International scientific-practical conference on Safety of Shipping and Human Element. Ukraine, Odessa, 2004, pp.177-179.*
3. *Golikov V.A. Energy effectiveness of ship diesel power plants. Ship power plants: Sci.-tech. mag. N.12. Odessa: ONMA, 2005, pp. 66-75.*
4. *24-viy Vsemirnyy kongress dvigatelestroeniya dlya sudovih propulsivnih ustanovok, Energosnabjenie, Peredatcha moshnosti. Yaponiya, Kioto, 2004.*
5. *Numuparov S.M. Predotvrachenie zagryazneniya morya sudami. Moscow: Transport, 1979. 336 p.*
6. *Londonskaya conventsiya po predotvracheniu zagryazneniya morya sbrosom othodov i drugih materialov, 26.12.1972.*
7. *Vlasenko V. M. Kataliticheskaya ochistka gazov. Kiev: Technika, 1973. 199 p.*
8. *Rodionov A.I. Technika zashiti okrujaucheiy sredi. Uchebnik dlya vuzov. Moscow: Khimiya, 1989, 512 p.*
9. *Zachita atmosferi ot promishlennih zagryazneniy. Spravochnik v 2-h chastyah. Pod red. S. Kalverta. Moscow: Metallyrgiya. 1988. 760 p.*
10. *Harlashin P.S. Issledovanie harakteristik dvijeniya puzirka pri produvke jidkosti neutralnim gazom. Visnik Priazovskogo derjavnogo tehnichnogo universitetu. Seriya: Tehnichni nauki. 2010, N20, pp. 53-57.*
11. *Flannigan D.J. and Suslick K.S. Molecular and atomic emission during single-bubble cavitation in concentrated sulfuric acid. Acoustics Research Letters Online. 2005, V.6, N3, pp.157-161.*
12. *Loitsianskiy L.G. Mehanika jidkosti i gaza. Moscow: Nauka, 1973, 847 p.*
13. *Meshkov D.E. Issledovanie vliyaniya obiyoma vsplivauchego puzirya na kharakter techeniya. Vestnik Sarovskogo FizTecha, 2005, N 8., pp. 68-73.*
14. *R. M. Davies, G. I. Taylor. The mechanics of large bubbles rising through liquids in tubes, Proc. of Roy. Soc., 1950, Ser. A, pp.375-390.*