

УДК 621.1

DOI: 10.34046/aumsuomt95/11

УПРАВЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТЬЮ ВЫХЛОПОВ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.И. Епихин, кандидат технических наук

Ю.Г. Косолап, кандидат технических наук

Современное судоходство является одним из ключевых экономических элементов большинства стран мира. В настоящее время проблема токсичности выбросов силовых энергетических установок стоит крайне остро. Данная работа посвящена вопросу управления токсичностью выхлопов судовых двигателей. Проанализированы основные методы снижения токсичности отработавших газов. Управление токсичностью выхлопных газов судовых энергетических установок представляет собой достаточно сложный процесс, который требует дальнейшего анализа и использования новых подходов в компоновке очистного оборудования и применении новых схем автоматизации.

Ключевые слова: токсичность, судовые двигатели, управление, датчики, автоматизация.

Modern shipping is one of the key economic elements of most countries of the world. Currently, the problem of toxicity of emissions from power plants is extremely acute. This work is devoted to the issue of managing the toxicity of marine engine exhaust. The main methods for reducing the toxicity of exhaust gases are analyzed. The control of the toxicity of the exhaust gases of marine power plants is a rather complicated process that requires further analysis and the use of new approaches in the layout of treatment equipment and the use of new automation schemes.

Keywords: toxicity, marine engines, control, sensors, automation.

Современное судоходство является одним из ключевых экономических элементов большинства стран мира. Однако в настоящее время существует ряд проблем, которые мешают устойчивому развитию таких стран. К числу таких проблем относится значительное ухудшение экологической обстановки при эксплуатации судов. В последнее время Международной морской организацией (ИМО) существенно ужесточаются экологические требования, связанные с вредными выбросами судов [1, 2].

Выхлопные газы судовых энергетических установок наносят существенный вред экологии, поскольку содержат большое количество вредных компонентов, основными из которых являются H_2S , NO_x , SO_x [3, 4]. Сгорание высокосернистых топлив приводит к образованию сероводорода, который не только является одним из самых агрессивных коррозионных газов, вызывающих изнашивание металлических частей поршневой группы, но и наносят существенный вред экологии. Поэтому автоматизированное управление токсичностью выхлопных газов судовых энергетических установок имеет важное значение [5-8].

Повышение температуры в камере сгорания ведет к образованию оксидов азота NO_x , который также оказывает негативное воздействие на человека и окружающую среду, приводит к образованию кислотных дождей. В то же время, явление эмиссии оксидов азота не является возникающим самим по себе. Так, оно является следствием неполного сгорания топлива и часто, недостатка кислорода, поступающего в камеру сгорания.

Данная работа посвящена вопросу управления токсичностью выхлопных газов судовых энергетических установок. Проанализированы основные подходы к решению проблемы выбросов вредных газов в составе отработавших газов судовых двигателей.

К числу основных способов решения проблемы снижения токсичности выхлопных газов относятся:

- Проведение модернизации систем образования горючих смесей, камер сгорания, систем впрыска. Данный метод требует существенных капитальных затрат.

- Применение альтернативных видов топлива. Если решение вышеуказанной проблемы еще может быть реализовано без значительного изменения конструкции судовых двигателей, то применение того или иного вида топлива закладывается непосредственно на стадии проектирования судовых двигателей и представляет собой процесс достаточно длительный и зачастую проблематичный для быстрого решения рассматриваемой нами проблемы.

- Перевод двигателей на водотопливные эмульсии [9]. Водотопливные смеси являются перспективным видом топлива, полнота сгорания которого существенно выше. Повышение последнего показателя, как правило, приводит к снижению выбросов сажи на 70-90% и выбросов канцерогенных веществ (главным образом, бенз(а)пирена). Недостатком является низкая стабильность топлива при хранении и снижение цетанового числа. Однако проблемой является стабильность водотопливных смесей при хранении, что

неуклонно приводит к повышенному износу деталей. Кроме того, существенные требования должны предъявляться к подготовке воды (низкое соледержание и жесткость). Все это делает этот метод достаточно экономически невыгодным.

- Рециркуляция отработанных газов [10]. Данный метод позволяет частично решить проблему снижения токсичности выхлопов, однако, не дает возможности решить ее полностью.

- Использование топливных присадок. Данный подход очень хорош для повышения энергетических и эксплуатационных характеристик топлив, но значительно количественный состав выхлопных газов не меняется.

- Предварительная обработка топлива. Существуют различные способы воздействия на топлива, повышающие их полноту сгорания. Широко используется наложение ультразвуковых колебаний на топлива, что выражается в сокращении выбросов NO_x и SO_2 .

- Очистка и нейтрализация выхлопных газов. Такой метод существенно отличается от вышеуказанных, поскольку позволяет в большей степени снизить капитальные затраты по сравнению с методами, требующими модернизации. Он заключается в установке судовых скрубберов, где улавливание оксидов серы, азота и сероводорода производится с помощью воды с добавлением различных реагентов (например, аминов, азотной кислоты). Такие аппараты приводят к охлаждению выхлопных газов и частично снижают уровень шума.

Если рассматривать использование системы абсорбционной очистки (фильтрации) выхлопных газов судовых энергетических установок, как наиболее эффективную и перспективную для практической реализации, то для управления их токсичностью необходимо соблюдать следующие основные параметры:

1. Температура воды, подаваемой в скруббер. Считается, что абсорбция тем эффективнее, чем ниже температура воды, поскольку абсорбция — это экзотермический процесс;

2. Температура выхлопных газов на входе и выходе из скруббера.

3. Расход выхлопных газов на входе и на выходе из скруббера.

4. Расход поглотительной воды в скруббере.

5. Содержание растворенных газов в воде, направляемой на абсорбцию.

В работе [11] была приведена схема системы автоматического управления установки фильтрации и охлаждения выхлопных газов, которая включала 4 основных типа датчиков: датчики температуры, датчики расхода, датчики уровня, датчики загрязнения. Однако данная схема не совсем полно отражает весь перечень датчиков, используемых для контроля. Например, важным является контроль показателей качества воды, входящей на очистку выхлопных газов и выходящей воды. Последнее является основным показателем эффективности очистки.

На рисунке 1 показана модернизированная схема управления системой очистки выхлопных газов абсорбционным методом. В данную схему добавлены датчики электропроводности воды. Поскольку вода, подаваемая в скруббер должна содержать минимальное количество ионов, то необходимо контролировать ее соледержание посредством измерения электропроводности и жесткости. Важным является достижение наиболее низкой электропроводности и жесткости, поскольку это обеспечивает снижение количества солевых отложений на стенке аппарате, снижает коррозионное воздействие воды, а также непосредственно влияет на нежелательное вспенивание воды, в случае повышенной щелочности воды.

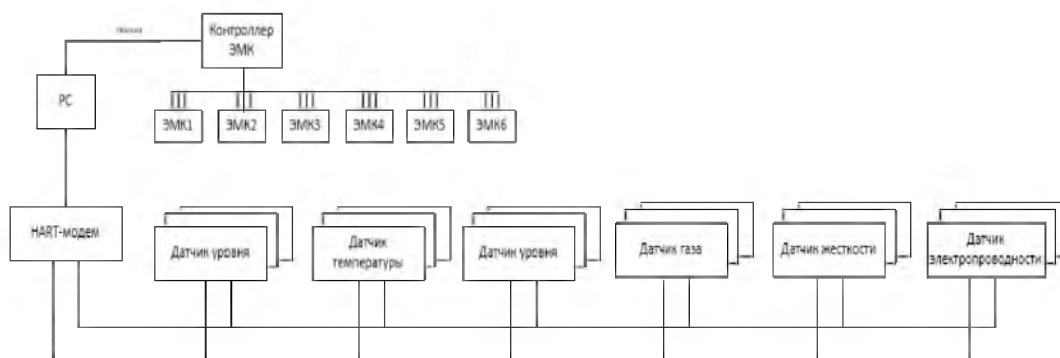


Рисунок 1 – Модернизированная схема управления системой очистки выхлопных газов абсорбционным методом

Отдельно стоит отметить использование датчиков содержания газа, поскольку будет необходимо использовать несколько датчиков, настроенных на основные загрязнители (H_2S , SO_2 , NO_x). Важным аспектом будет являться подбор датчиков с высокой селективностью, поскольку отработавшие газы содержат не только три этих соединения, но и водяные пары, сажу, полициклические ароматические углеводороды, то они будут оказывать мешающее воздействие [12].

В этой же работе [11] авторы установили температуру выхлопных газов на входе в установку очистки в диапазоне $120-150^\circ C$ и $60-90^\circ C$ на выходе. Отмечается, что снижение входной температуры может быть связано с разгерметизацией оборудования. Выходную температуру используют, как управляющий параметр.

Стоит отметить, что, говоря об абсорбционной очистке выхлопных газов важно устанавливать возможность использования не одного скруббера, а нескольких [13]. С точки зрения проектирования, наиболее эффективным подходом является наличие серии резервных аппаратов, равных по числу работающим аппаратам. Резервные аппараты должны включаться в работы в следующих случаях:

- Повышение уровня воды в аппаратах (захлебывание) выше регламентируемых пределов. Регулирование расхода на flow-mass контроллерах позволяет в некоторой степени управлять данными превышениями, включая управление на байпасную линию со сбросом избыточной воды в дренаж.

- Повышение температуры выхода выхлопных газов из установки выше регламентируемых пределов. Однако не менее важна также и входная температура, поскольку внутренняя поверхность таких аппаратов футеруется терморезистивными смолами, увеличивающими стойкость стальных по отношению к коррозии и защищающими стенки аппарата от разгерметизации. В случае использования эпоксидных смол входная температура не может быть выше $140-150^\circ C$, поскольку это вызывает их деградацию. Превышение температуры возможно на стадии проектирования автоматизированного управления только в случае использования полиэфирных смол или винилэфирных смол.

- Превышение показателей качества воды (жесткость, электропроводность), выходящей из установки. Стоит отметить, что быстрое действие датчиков не достаточно высокое в силу особенностей измеряемых величин, поэтому на стадии

проектирования необходимо устанавливать сигнализацию системы на резкий рост жесткости и электропроводности, принимая во внимание задержку в 30-60 с (в зависимости от расхода жидкости).

Помимо вышеуказанных параметров, влияющих на токсичность, работа самого судового двигателя может существенно воздействовать на эмиссию загрязняющих веществ. В частности давление сгорания продуктов сильно влияет на работу дизельных двигателей и газовых турбин. Влияние на данный параметр оказывается повышением температуры сгорания топлива. Вторым не менее важным показателем является угол опережения зажигания. Считается, что уменьшение угла опережения зажигания приводит к снижению выбросов оксидов азота, хоть и выражается в снижении КПД. Выбросы сажи существенно зависят от наружных загрязнений. Так, при низком коэффициенте наружных загрязнений унос сажи вместе с газами возрастает.

Резюмируя вышесказанное, стоит отметить, что управление токсичностью выхлопных газов судовых энергетических установок представляет собой достаточно сложный процесс, который требует дальнейшего анализа и использования новых подходов в компоновке очистного оборудования и применении новых схем автоматизации.

Литература

1. Митькин, И.П. Эксплуатация судовых энергетических установок / И.П. Митькин // Аллея науки. – 2019. – Т. 1. – № 7 (34). – С. 574-578.
2. Клос, О.В. Результаты исследований по снижению токсичности дизелей судов промышленного флота / О.В. Клос, Ц. Бехрендт, П. Раевски, И.О. Клос, А.В. Моторный, В.В. Пухов, А.А. Минько, А.Г. Филонов // Известия КГТУ. – №34. – С. 211–215.
3. Мурамович, В.Г. Повышение экономических и экологических характеристик судовых двигателей внутреннего сгорания / В.Г. Мурамович, П.Ф. Анисимов, В.В. Петухов, П.Л. Лямин, С.В. Туев // Судостроение. – 2012. – № 1 (800). – С. 38-39.
4. Гладкова, Н.А. Влияние рабочих параметров энергооборудования на экологическую безопасность судовых энергетических установок / Н.А. Гладкова, А.А. Крючков // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – С. 127–133.
5. Епихин, А.И. Обзор современных способов автоматического управления судовых энергетических установок / А.И. Епихин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 54. – С. 153-157.

6. Голиков, В.А. / Управление процессом фильтрации продуктов сгорания на судовых энергетических установках / В.А. Голиков, М.В. Голубев // Сборник научных трудов SWorld.– 2013.– Т. 2.– № 2.– С. 15-18.
7. Никитин, В.С. Современное состояние и перспективы развития отечественных корабельных дизельных энергетических установок / В.С. Никитин, В.Н. Половинкин, В.В. Барановский // Труды Крыловского государственного научного центра.– 2017.– № 2 (380).– С. 70-91.
8. Таманджа, И. Результаты испытаний на токсичность отработавших газов судовых дизелей 1С 17,5/24 И 4С 8,5/11 по нагрузочной характеристике при работе на дизельном и биодизельном топливе / И. Таманджа, Н.Н. Шуйтасов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология.– 2011.– № 1.– С. 147-156.
9. Горелик, Г.Б. Возможности и перспективы применения водотопливных эмульсий в судовых дизелях в качестве альтернативного топлива / Г.Б. Горелик, А.Ю. Коньков, Е.И. Кончаков // Морские интеллектуальные технологии.– 2017.– № 3-2 (37).– С. 101-106.
10. Истомин, В.И. Повышение экологической безопасности судов путем рециркуляции части выпускных газов дизелей / В.И. Истомин, С.Е. Тверская, В.В. Хлебникова // Энергетические установки и технологии.– 2019.– Т. 5.– № 1.– С. 160-165.
11. Голубев, М.В. Автоматизация судовой системы очистки дымовых газов / М.В. Голубев // Электротехнические и компьютерные системы.– 2013.– № 10 (86).– С. 074-079.
12. Жуков, В.А. Измерительные приборы для определения состава отработавших газов судовых двигателей внутреннего сгорания / В.А. Жуков, С.А. Шербан // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология.– 2020.– № 2.– С. 100-110.
13. Туркин, А.В. Экспериментальное исследование эффективности многосекционного комплексного устройства очистки выхлопных газов судового двигателя / А.В. Туркин, В.А. Туркин // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология.– 2015.– №4.– С. 79-85.
- Anisimov, V.V. Petuhov, P.L. Lyamin, S.V. Tuev // Sudostroenie. 2012. № 1 (800). S. 38-39.
4. Gladkova, N.A. Vliyanie rabochnih parametrov ergooborudovaniya na ekologicheskuyu bezopasnost' sudovyh energeticheskikh ustanovok / N.A. Gladkova, A.A. Kryuchkov // Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. S. 127–133.
5. Epihin, A.I. Obzor sovremennyh sposobov avtomaticheskogo upravleniya sudovyh energeticheskikh ustanovok / A.I. Epihin // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2018. № 54. S. 153-157.
6. Golikov, V.A. / Upravlenie processom fil'tracii produktov sgoraniya na sudovyh energeticheskikh ustanovkah / V.A. Golikov, M.V. Golubev // Sbornik nauchnyh trudov SWorld.– 2013.– Т. 2.– № 2.– С. 15-18.
7. Nikitin, V.S. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya otechestvennyh korabel'nyh dizel'nyh energeticheskikh ustanovok / V.S. Nikitin, V.N. Polovinkin, V.V. Baranovskij // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. 2017. № 2 (380). S. 70–91.
8. Tamandzha, I. Rezul'taty ispytaniy na toksichnost' otrabotavshih gazov sudovyh dizelej 1СН 17,5/24 I 4СН 8,5/11 po nagruzochnoj harakteristike pri rabote na dizel'nom i biodizel'nom toplive / I. Tamandzha, N.N. SHujtasov // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2011. № 1. S. 147-156.
9. Gorelik, G.B. Vozmozhnosti i perspektivy primeneniya vodotoplivnyh emul'sij v sudovyh dizelyah v kachestve al'ternativnogo topliva / G.B. Gorelik, A.YU. Kon'kov, E.I. Konchakov // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2017. № 3-2 (37). S. 101–106.
10. Istomin, V.I. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti sudov putem recirkulyacii chasti vypusnyh gazov dizelej / V.I. Istomin, S.E. Tverskaya, V.V. Hlebnikova // Energeticheskie ustanovki i tekhnologii. 2019. Т. 5. № 1. S. 160–165.
11. Golubev, M.B. Avtomatizaciya sudovoj sistemy ochistki dymovyh gazov / M.V. Golubev // Elektrotekhnicheskie i komp'yuternye sistemy. 2013. № 10 (86). S. 074–079.
12. ZHukov, V.A. Izmeritel'nye pribory dlya opredele-niya sostava otrabotavshih gazov sudovyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya / V.A. ZHukov, S.A. SHerban // Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2020. № 2. S. 100–110.
13. Turkin, A.V. Eksperimental'noe issledovanie effektivnosti mnogosekcionnogo kompleksnogo ustrojstva ochistki vyhlopnyh gazov sudovogo dvigatelya / A.V. Turkin, V.A. Turkin // Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2015. №4. S. 79–85.

REFERENCES

1. Mit'kin, I.P. Ekspluatatsiya sudovyh energeticheskikh ustanovok / I.P. Mit'kin // Alleya nauki. 2019. Т. 1. № 7 (34). S. 574–578.
2. Klyus, O.V. Rezul'taty issledovaniy po snizheniyu toksichnosti dizelej sudov promyslovogo flota / O.V. Klyus, С. Bekhrendt, P. Raevski, I.O. Klyus, A.V. Motornyj, V.V. Puhov, A.A. Min'ko, A.G. Filonov // Izvestiya KGTU. №34. S. 211–215.
3. Muramovich, V.G. Povyshenie ekonomicheskikh i ekologicheskikh harakteristik sudovyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya / V.G. Muramovich, P.F.