

САНИТАРНАЯ ОЧИСТКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Леонов В.Е.,

Херсонский государственный морской институт

В работе выполнен анализ методов нейтрализации отработавших газов судовых энергетических установок. Рассмотрены преимущества и недостатки таких способов очистки и нейтрализации отработавших газов СЭУ, как конденсация, мембранное разделение, абсорбция, адсорбция, пиролиз, гетерогенно-каталитические методы окисления и восстановления токсичных соединений до нейтральных соединений.

Разработаны предложения по созданию эффективных катализаторов нейтрализации токсичных соединений отработавших газов СЭУ.

Ключевые слова: катализатор, нейтрализация, токсичные вещества, отработавшие газы, пробег катализатора.

Введение. Очистка отработавших газов от токсичных соединений всегда являлась актуальной задачей, которая стоит перед двигателестроением, эксплуатационниками и экологами.

Известно [1-3], что основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются транспорт, энергетика и промышленные предприятия. Загрязнение атмосферного воздуха вредными выбросами в конце XX века стало одной из глобальных экологических проблем. Путь ее решения только один – отработавшие газы двигателей должны быть экологически чистыми. В отработавших газах обнаружено более 250 различных токсичных соединений. По своим химическим свойствам, характеру воздействия на организм человека вещества, содержащиеся в отработавших газах, подразделяются на две группы:

- 1) нетоксичные: азот, кислород, водород, водяные пары, диоксид углерода (98-98,5%);
- 2) токсичные: оксиды углерода, азота, серы, углеводороды, альдегиды, сажа (1,5-2,0%).

Постановка задачи. Для нейтрализации выбросов второй группы в настоящее время разрабатываются и совершенствуются инженерно-технические средства защиты окружающей среды, развиваются основы для создания замкнутых, малоотходных, ресурсосберегающих и безотходных технологических циклов [4, 5].

Для снижения содержания вредных компонентов в отработавших газах судовых энергетических установок (ОГ СЭУ) до предельно-допустимых норм [6, 7] существуют следующие способы очистки:

- 1) физические (конденсация, мембранное разделение);
- 2) физико-химические (абсорбционные, адсорбционные, пиролиз);
- 3) гетерогенно-каталитические – окисление и восстановление;
- 4) перевод СЭУ на газообразное топливо;

5) использование в качестве топлива водно-топливной эмульсии [8].

Необходимо отметить, что согласно требованиям Международной конвенции МАРПОЛ 73/78 Приложение VI ужесточаются требования к снижению уровня токсичности ОГ СЭУ, в частности, к уменьшению содержания серосоединений. Для этого в отдельных районах Баренцева и Северного морей используют малосернистое дизельное топливо (не более 1,5% масс серосоединений).

Конденсация применяется для удаления примесей из газов путем их охлаждения до температуры ниже точки росы удаляемого вещества. Данный метод наиболее эффективен для очистки ОГ от углеводородов и других органических соединений, имеющих достаточно высокую температуру кипения при обычных условиях. Метод применяется в тех случаях, когда выделяемое вещество имеет высокую концентрацию. В большинстве случаев конденсация осуществляется как предварительная стадия с целью уменьшения содержания загрязняющих веществ. Конденсацию проводят при непосредственном или косвенном охлаждении ОГ. Глубокая очистка отработавших газов, насыщенных водяным паром, достигается в результате мокрой, полусухой или сухой очистки. Очистка осуществляется за счет стадии *конденсации*, при которой основное количество водяного пара конденсируется благодаря охлаждению отработавшего газа. Этот процесс выгодно отличается тем, что обеспечивает настолько глубокую очистку отходящих газов от парообразных примесей, частиц пыли и аэрозолей, что их остаточное количество не превышает установленных для очищенных газов ПДК значений.

Мембранное разделение. Вследствие различной скорости прохождения компонентов смеси через *мембрану* происходит концентрационная «поляризация» при которой в пограничном слое около поверхности перегородки накапливается вещество, имеющее наименьшую скорость проникновения. В результате при разделении жидких смесей снижаются движущая сила процесса и, соответственно селективность, производительность и срок службы *мембран*. Кроме того, возможно *осаждение* на *мембране* труднорастворимых *солей*, а также гелеобразование высоко-молекулярных соединений, что приводит к необходимости очистки *мембран*. Для уменьшения влияния концентрационной *поляризации* и улучшения работы *мембран* разделяемую систему перемешивают, что способствует выравниванию *концентраций* компонентов в поверхности перегородки и в ядре потока. *Перемешивание* осуществляют путем увеличения скорости потока (до 3-5 м/с); турбулизацией раствора путем применения специальных вставок в виде сеток, перфорированных или гофрированных листов, спиралей, шариков; использованием *ультразвука*.

При *разделении газовых смесей* благодаря высокому коэффициенту *диффузии* компонентов через *мембраны* концентрационная *поляризация* мала и ее можно не учитывать.

Абсорбция. Этот метод заключается в разделении газо-воздушной смеси на составные части путем поглощения одного или нескольких газовых компонентов этой смеси поглотителем (называемым абсорбентом) с

образованием раствора. Жидкость (абсорбент) выбирают из условия растворимости в ней поглощаемого газа, температуры и давления. Если растворимость газов при 0°C и парциальном давлении 103,3 кПа составляет сотни граммов на 1 кг растворителя, то такие газы называются хорошо растворимыми.

Адсорбция. Наиболее широко в качестве адсорбента используется активированный уголь. Он применяется для очистки газов от органических паров, удаления неприятных запахов и газообразных примесей, содержащихся в промышленных выбросах, а также летучих растворителей и целого ряда других газов. В качестве адсорбентов применяются также простые и комплексные оксиды (активированный глинозем, силикагель, активированный оксид алюминия, синтетические цеолиты или молекулярные сита), которые обладают большей селективной способностью, чем активированные угли. Однако они не могут использоваться для очистки влажных газов. Некоторые адсорбенты иногда пропитываются соответствующими реактивами, повышающими эффективность адсорбции, на поверхности адсорбента протекает хемосорбция. В качестве таких реактивов могут быть использованы растворы, которые за счет химических реакций превращают вредную примесь в безвредную.

Пиролиз (пирогенетическое разложение) – особый вид крекинга, осуществляемого при высоких температурах (650-800°C). Пиролиз нефти или нефтепродуктов служит главным образом для получения ароматических углеводородов (толуол, бензол), наряду с которым образуются большие количества газа, кокс и некоторые другие продукты.

Гетерогенно-каталитические методы окисления и восстановления. В методе парофазного каталитического окисления используется гетерогенное каталитическое окисление кислородом воздуха летучих органических соединений. Процесс окисления интенсивно протекает в присутствии медно-хромовых, медно-цинковых, медно-марганцевых катализаторов. При высокой температуре (350...400°C) большинство органических веществ подвергается полному окислению органических веществ, степень превращения $\alpha = 98,5 - 99,9\%$. Применение парофазного окисления наиболее целесообразно в случае вывода технологического потока в виде пара, направляемого в конденсаторы (из выпарных аппаратов ректификационных колонн, сушильных камер). При уменьшении угла опережения впрыска топлива на 4-5°C от штатного снижается максимальная температура цикла, что приводит к уменьшению концентрации оксидов азота (NO_x) в среднем на 30-35%. Увеличение угла опережения повышает концентрацию (NO_x) на 15-17 %.

Результаты исследований. Перевод СЭУ на газообразное топливо, такое как метан, пропан-бутан, водород, позволяет получать в выхлопе экологически чистые отработавшие газы. Сжигание природного газа по газодизельному циклу в сочетании с повышенным наддувом позволяет получить эмиссию NO_x на уровне $3,5 \div 4,0$ г/(кВт·ч), снизить CO_2 на 30 %, что приводит к уменьшению теплового загрязнения окружающей среды и уменьшению штрафов, налагаемых на речной и морской транспорт.

Поэтому при «Разработке эффективных и оптимальных схем очистки ОГ СЭУ» необходимо учитывать тип дизеля, режим его работы, тип топлива и состав его примесей, а также назначение тяговой единицы. Каждый из используемых элементов такой комбинированной системы должен вносить свой вклад в повышение экологической чистоты без ущерба для экономичности двигателей.

Сажа сама по себе нетоксична, но она адсорбирует на поверхности частиц канцерогенные полициклические углеводороды, в том числе наиболее вредный и токсичный бенз(а)пирен. При сгорании сернистых топлив образуются неорганические газы – диоксиды серы – компоненты «кислотных» дождей.

В настоящее время продолжается поиск конструктивных решений, альтернативных топлив, присадок для снижения загрязнений атмосферы отработавшими газами СЭУ. Наиболее эффективными направлениями из них являются следующие:

- совершенствование конструкций камер сгорания двигателей;
- совершенствование способов смесеобразования и сгорания;
- применение присадок к топливу, снижающие содержание загрязняющих веществ в отработавших газах СЭУ;
- применение газообразных топлив;
- применение катализаторов.

Анализ применяемых методов и конструктивных решений, показывает, что разработка и использование эффективных катализаторов является простым и экономичным направлением снижения выбросов не только оксидов углерода, но и других токсичных органических веществ отработавших газов СЭУ.

Современные комплексные системы очистки отработавших газов для дизелей состоят из каталитических и жидкостных нейтрализаторов, а также сажевых фильтров. Для уменьшения дымности дизельного двигателя создана присадка на основе бария, которая снижает выброс сажи на 70-90% и одновременно уменьшает содержание бенз(а)пирена на 45%.

На основании проведенного анализа и обобщения методов очистки ОГ СЭУ и проведенных нами исследований представляется эффективным комплексная очистка, включающая очистку ОГ СЭУ от сажи и гетерогенно-каталитическую очистку от токсичных соединений.

Выводы. Для этого нами сформулированы следующие требования к катализатору очистки ОГ СЭУ:

- 1) высокая каталитическая активность;
- 2) низкая стоимость за счет исключения из состава катализаторов драгоценных металлов;
- 3) длительный технологический пробег катализатора (не менее 100.000 км);
- 4) высокая механическая прочность;
- 5) стабильность на истирание и пылеобразование при вибрационных и колебательных воздействиях на катализатор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толшин В.И., Якунчинков В.В. Режимы работы и токсичные выбросы отработанных газов судовых дизелей. – М.: МГАВТ, 1999. – 190 с.
2. Антонов В.Ф. Мембранный транспорт // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №6. – С. 14-20.
3. Хванг С.-Т. Мембранные процессы разделения / Хванг С.-Т., Каммермейер К.; пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 463 с.
4. Леонов В.Е. Теоретические основы защиты окружающей среды: учебное пособие. – Новосибирск: НГАВТ, 2003. – 178 с.
5. Леонов В.Е. Основы экологии и охраны окружающей среды: монография / Леонов В.Е., Ходаковский В.Ф., Куликова Л.Б.; под редакцией Леонова В.Е. – Херсон: Изд-во ХГМИ, 2010. – 352 с.
6. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения: ГОСТ Р 51250-99. – [Введен 2000-01-01]. – М.: Госстандарт России, Издательство стандартов, 2000. – 15 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения: ГОСТ Р 51249-99. – [Введен 2000-01-01]. – М.: Госстандарт России, Издательство стандартов, 2000. – 20 с.
8. Горячкин А.В., Мандровский В.В., Заднепрный А.В. Повышение эффективности СЭУ танкеров при сжигании водотопливных эмульсий // Науковий вісник ХДМІ. – 2010. – № 1(2). – С. 149-156.

Леонов В.Є. САНІТАРНЕ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

У роботі виконано аналіз методів нейтралізації відпрацьованих газів суднових енергетичних установок. Розглянуто переваги і недоліки таких способів очищення і нейтралізації відпрацьованих газів СЕУ, як конденсація, мембранне розділення, абсорбція, адсорбція, піроліз, гетерогенно-каталітичні методи окислення і відновлення токсичних з'єднань до нейтральних з'єднань.

Розроблено пропозиції по створенню ефективних каталізаторів нейтралізації токсичних з'єднань відпрацьованих газів СЕУ.

Ключові слова: каталізатор, нейтралізація, токсичні речовини, відпрацьовані гази, пробіг каталізатора.

Leonov V.E. SANITARY CLEANING OF EXHAUST GASES FROM SHIP POWER PLANTS

The analysis of methods of neutralization of exhaust gases from ship power plants (SPP) is carried out in the paper. Advantages and disadvantages of such methods of cleaning and neutralization of exhaust gases from ship power plants as condensation, membrane separation, absorption, pyrolysis, heterogeneous catalytic methods of oxidation and reduction of toxic compounds up to neutral compounds are considered. Proposals are worked out to create effective catalysts for neutralization of toxic compounds in exhaust gases from SPP.

Key words: exhaust gases, neutralization, ship power plant, toxic compounds.