

## СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

**Избергенкызы Н.**

*Кеме дизельдерге арналған газдардың улағыштығын төмендететін әдістер қарастырылған және шығарылған газдардың қайта айналатын кешенді жүйесі болып табылатын газдардағы азот тотығын төмендетудің перспективалы әдісі көрсетілген.*

*The considered ways of the reduction to toxicity gas for ship diesels and is shown by that perspective method of the reduction nitric oxide in gas is a complex system of the return perfected gas.*

Ужесточение норм на токсичные выбросы в отработавших газах судовых дизельных двигателей, введение в действие Протокола 1997 года МАРПОЛ 73/78 с 1 января 2000 года и норм стандартов (ГОСТ Р51249-99 на продукты неполного сгорания и ГОСТ Р51250-99 по дымности отработавших газов) требует принятия незамедлительных мер по доведению концентрации токсичных выбросов судовых дизелей (как находящихся в эксплуатации, так и вновь проектируемых) в соответствии с перечисленными документами.

Большое скопление судов, работающих в портах, стоянки у причалов, с высокой плотностью населения и в районах, где действуют нормы МАРПОЛ и Казахстанских стандартов, приводят к образованию обширных зон в атмосферном воздухе с повышенной концентрацией опасных токсичных компонентов, выбрасываемых судовыми дизелями с отработавшими газами. В таких зонах резко ухудшается экологическая обстановка, а из-за ограниченности акватории невозможно быстрое рассеивание токсичных выбросов. Помимо этого, при подходе и отходе от причалов, судовые дизели работают на неустановившихся режимах, вызванных разгоном и торможением судна, что также ведет к значительным выбросам токсичных продуктов с отработавшими газами.

В ближайшее время в Казахстане будут вводиться более жесткие требования для дизелей. По данным ЦНИДИ в перспективе зарубежные нормы ужесточаются до 3 раз, в сравнении с существующими в настоящее время. Таким образом, намечается большое поле деятельности по снижению вредных выбросов дизелей, что и определяет высокую актуальность данной проблемы.

Международные экологические организации и ведущие двигателестроительные фирмы проводят постоянные исследования по выявлению влияния на окружающую среду токсичных компонентов, входящих в состав отработавших газов судовых двигателей, и ведут поиски позитивных методов, позволяющих сократить эти выбросы в атмосферу. Фундаментальное практическое исследование за последние 5 лет было осуществлено Регистром Ллойда (Великобритания) [ 1]. Результаты проведенных исследований вызвали большой резонанс у общественных организаций и государственных органов, занимающихся нормированием выбросов токсичных компонентов судовых дизелей.

Таблица 1. Данные Регистра Ллойда по выбросам в отработавших газов судовых энергетических установок судов

Компонент выброса	Малооборотные дизели, кг/т топлива	Среднеоборотные дизели, кг/т топлива
NO <sub>x</sub>	84	59
CO	9	8
HC	2.5	2.7
CO <sub>2</sub>	3165	3250

Из данных таблицы 1. видно, что главным компонентом в токсичных выбросах судовых энергетических установок (СЭУ) являются оксиды азота NO<sub>x</sub>, которые в 40 раз более опасны чем компоненты углеводороды HC и окиси углерода CO.

В последние годы в Казахстане тоже активизировались работы по охране окружающей среды в целом и по ограничению токсичных выбросов СЭУ в частности. Для улучшения экологической обстановки и принятия мер по предотвращению загрязнения окружающей среды в нашей стране были введены нормативные документы, программа по улучшению экологической обстановки и др.

Судовые и тепловозные дизели имеют значительную агрегатную мощность (0.5...4 мВт), а поток отработавших газов, достигающий расхода 0,8...8 кг/с, создает высокий уровень локального загрязнения воздуха, превышающий предельно - допустимую концентрацию (ПДК) в 10...15 раз [2].

Известны способы нейтрализации токсичных составляющих NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> и HC посредством химических реакций в нейтрализаторе. В настоящее время для автомобильных дизелей применяют нейтрализаторы, эффективно снижающие в ОГ только окись углерода и углеводороды. Нейтрализаторы с реагентами на основе драгоценных металлов серебро и платина могут быть

использованы в полной мере при решении проблемы комплексной очистки ОГ для судовых дизелей.

Однако, при наличии в составе судовых топлив серы (в массовых долях от 0,0001 до 0,05) существенно понижаются надежность и срок службы таких нейтрализаторов. Поэтому неэффективно использование реагентов в нейтрализаторах для судовых дизелей для снижения NOx в ОГ.

В настоящее время в судовых энергоустановках применяются нейтрализаторы, в которых реагентами для снижения NOx используют аммиак или мочевины. Аммиак при разложении токсичен, поэтому в нейтрализаторах для судовых энергоустановок рекомендуется использование мочевины.

Одним из перспективных методов снижения в ОГ окиси азота является метод рециркуляции отработавших газов [3]. Отработавшие газы, идущие на рециркуляцию сокращают процентное содержание кислорода в камере сгорания, в результате чего понижаются скорость сгорания и температура в локальных зонах двигателя. Кроме того, в рециркулируемом газе содержится много воды. РОГ (рециркуляция отработавших газов) увеличивает объем остаточных газов, в горючей смеси цилиндра, снижая температуру горения смеси и уменьшая временной интервал действия в локальных зонах высокой температуры (свыше 2200K°).

Механизм действия РОГ может быть объяснен следующим образом.

Парциальное давление кислорода в горючей смеси цилиндра падает, но объем топлива, необходимого для его горения (следовательно, местного отношения воздух-топливо) остается постоянным. Таким образом, большая масса газа должна пройти через фронт пламени. Этот увеличенный массовый расход в результате РОГ ведет к большей массе в зоне горения. При том же объеме добавленного тепла и приблизительно при той же продолжительности горения из-за наличия большего количества остаточных газов в зоне горения в результате получается более низкая температура. Удельная теплоемкость рециркулирующего выхлопного газа больше, чем у воздуха, так как содержание в выхлопных газах паров воды и двуокиси углерода с более высокими удельными теплоемкостями, чем у азота и кислорода воздуха. Поэтому наличие трехатомных газов и ведет к уменьшению температуры пламени внутри камеры сгорания и к снижению NOx. Кроме того, чем меньше кислорода в камере сгорания, тем меньше его соединится с азотом, образуя NOx.

Таким образом, эффект снижения температуры РОГ основан исключительно на чисто рециркулирующем выхлопном газе, снижения NOx в котором можно достичь при заданной степени РОГ, что следовательно, является прямой функцией отношения воздух-топливо.

Повышенный расход топлива связан с РОГ из-за замедленной скорости выделения тепла. В верхнем диапазоне нагрузки двигателя расход топлива постепенно увеличивается с возрастанием степени РОГ. При 20%-ной степени РОГ расход топлива увеличивается на 10...20 г/кВт·ч, в среднем диапазоне нагрузок двигателя расход топлива растет линейно со степенью РОГ, а в нижнем диапазоне нагрузки РОГ незначительно влияет на расход топлива. Рабочие точки характеристики двигателя, которые включают повышенный расход топлива, сопровождаются также большим выбросом сажи.

Применение 10%-ной рециркуляции ОГ может снизить NOx приблизительно на 30% без существенного повышения (на 3-4%) расхода топлива, хотя дымность ОГ незначительно увеличивается.

По данным работ [4] при доле рециркуляции 20% уменьшение выброса оксидов азота может достигать 60%. Однако уже при доли рециркуляции РОГ более 10-15% наблюдается ухудшение топливной экономичности на 4-7%.

Наиболее подходящий для морского транспорта способ - РОГ, который конструктивно значительно проще, чем способы рассмотренные выше. Кроме того, РОГ в условиях работы на широких водных пространствах, где имеет место рассеивание токсичных компонентов, может быть просто отключено. Эта особенность системы РОГ особенно ценна, так как большинство известных способов снижения NOx, основанных на снижении максимальной температуры цикла, сопровождается ухудшением топливной экономичности ДВС.

Одно из преимуществ РОГ - небольшие материальные затраты по сравнению с другими способами снижения NOx. В случае применения РОГ нет необходимости использования сложных и дорогостоящих устройств, изготовление которых для крупногабаритных судовых дизелей вызывают большие технические трудности.

В результате анализа, проведенного автором установлено, что наиболее важными режимами работы дизеля 6Ч18/22, с точки зрения необходимости снижения токсичности ОГ, являются режимы нагрузки 60...70% вплоть до холостого хода, когда удельные выбросы NOx превышают существующие нормы ГОСТ Р-5151249-99. Поэтому нет необходимости осуществлять перепуск части ОГ обратно на впуск дизеля на режимах нагрузки более 70% потому, что на этих режимах работы дизеля удельные выбросы NOx ниже существующих требований ГОСТ Р-5151249-99 и норм МАРПОЛ, а эффективность рециркуляции сводится к отрицательному эффекту (наблюдается рост продуктов неполного сгорания СО, НС, дымности ОГ и удельного эффективного расхода топлива). Однако отрицательное воздействие рециркуляции на работу дизеля в широком диапазоне нагрузок

(от холостого хода до номинального режима) можно уменьшить, если использовать для этой цели систему регулирования РОГ.

В результате проведенного анализа различных способов уменьшения токсичности ОГ установлено, комплексное снижение вредных выбросов в ОГ судового дизеля до уровня современных требований может быть осуществлено путем внедрения комбинированной системы, включающей фильтр - нейтрализатор и систему частичной рециркуляции отработавших газов.

В связи с увеличением расхода топлива при работе комбинированной системы снижения вредных выбросов ОГ судовых дизелей для повышения их экономичности такую систему предлагается включать только в местах повышенных экологических требований (черта города, порт и т.п.).

Одной из важных задач исследований является комплексное снижение токсичности ОГ судового пропульсивного дизеля с помощью системы частичной рециркуляции ОГ на впуск двигателя в комбинации с фильтром - нейтрализатором с разработкой закона регулирования доли РОГ, что является новым, так как такие вопросы еще не рассматривались. В связи с изложенным ниже приводится анализ способов регулирования РОГ.

Автором проведен обзор патентной литературы в направлении поиска и анализа существующих способов регулирования РОГ.

В результате системного подхода к оценке множества различных способов регулирования количества ОГ в системах РОГ проведена их классификация. Способы регулирования разделены на основные направления.

Анализ показывает, что имеется значительное количество разнообразных способов и конструкций для регулирования РОГ. В основном все перечисленные конструкции касаются автомобильных и тракторных дизелей. Однако какие либо рекомендации по регулированию РОГ для среднеоборотных судовых дизелей отсутствуют.

### **Выводы:**

1. В результате анализа установлено, что вредные выбросы ОГ судовых дизелей находящихся в эксплуатации 64 15/18, 64 18/22, 64 16/22,5 в ряде случаев находятся на границе существующих норм ГОСТ Р-51 249-99 (и требований МАРПОЛ) или превышает их. Учитывая постоянное возрастание требования к токсичным выбросам ОГ задача снижения токсичных выбросов ОГ судовых дизелей является актуальной;
2. Проведенный анализ показал, что эффективными способами снижения токсичных выбросов ОГ являются: нейтрализация токсичных составляющих NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> и HC посредством химических реакций в нейтрализаторе, применение водотопливных эмульсий, понижение температуры воздуха в цилиндр, уменьшение угла опережения подачи топлива и т.д. Наиболее

доступным с точки зрения реализации на судах находящихся в эксплуатации является применение комбинированной системы состоящей из фильтра - нейтрализатора в совокупности с системой рециркуляции ОГ;

3. Разработать инженерную методику оценки изменения удельных выбросов оксидов азота в ОГ при рециркуляции, и методику расчета рабочего процесса в цилиндре дизеля при рециркуляции ОГ;

4. Для проектирования системы РОГ необходимо разработать инженерную методику расчета показателей дизеля и методику расчета параметров системы рециркуляции ОГ.

### **Литература:**

1. IMAC, Exhaust Emission Measurement. / Recommendations for Reciprocating Engines and Gas Turbines./MARINE LOG.-1991.-112.-53p.
2. Бордуков В. Т., Новиков Л.А. Повышение экологической чистоты эксплуатируемых дизельных установок речных судов и тепловозов. Доклад НТСФЦП "Возрождение Волги" СП. 1998. С.2-5,21-25.
3. Костин А.К. Пугачев Б.П. Кочинев Ю.Ю. Работа дизелей в условиях эксплуатации. -Л.: Машиностроение, 2006. -200с.
4. Морозов К.А. Токсичность автомобильных двигателей : МАДИ (ТУ)1997.-М-84с.