

НОРМИРОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ СУДОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (материалы конгресса СИМАС-2016)

В обзоре представлены материалы последнего всемирного конгресса двигателестроителей СИМАС, посвященные современному состоянию и перспективам законодательного ограничения выбросов вредных веществ с отработавшими газами судовых двигателей. С учетом того, что вклад в глобальное загрязнение атмосферы судовыми двигателями несопоставимо мал (по разным оценкам от 2 до 5 %), в сравнении с двигателями наземного транспорта (автомобили, тракторы, тепловозы, строительно-дорожная техника и т. д.), жаркие дискуссии о целесообразности радикального сокращения нормы выбросов NO_x в зонах контроля выбросов (ЕСА) в ближайшей перспективе сразу на 80 %, а также расширение номенклатуры нормируемых компонентов, не прекращаются на всех научных собраниях специалистов отрасли двигателестроения.

Попытка глобального ввода в действие нормативов IMO Tier III пока не увенчалась успехом из-за инфраструктурной, технологической и организационной неготовности судостроителей, судоходных компаний и портов к эксплуатации и обслуживанию судов с двигателями, соответствующими этим трудновыполнимым требованиям. Исключение составляет решение администрации США о введении норматива IMO Tier III в зонах ЕСА на Атлантическом и Тихоокеанском побережье Северной Америки для судов, построенных после 01.01.2016 года. При этом какие-либо сведения об успешном опыте эксплуатации новых судов в этом регионе полностью отсутствуют.

В преддверии запланированного введения нормативов IMO Tier III в Балтийском и Северном морях с 01.01.2021 года весьма актуальным является доклад крупнейшего судовладельца и оператора Германии (компания NSB Niederelbe Schiffahrtsgesellschaft mbH & Co. KG) о проблемах, с которыми столкнутся судовладельцы после вступления в законную силу этого норматива.

Аналитический обзор, посвященный перспективам расширения номенклатуры нормируемых вредных веществ в зонах ЕСА, а именно ограничению выбросов черного углерода (BC), входящего в состав твердых частиц (PM) подготовлен объединенным классификационным обществом DNV & GL. Обзор базируется на результатах недавних исследований, выявивших негативное влияние выбросов PM/BC на климат и на здоровье населения, а также значительный вклад судоходства в интенсивность выбросов PM/BC — как на локальном, так и на глобальном уровнях, особенно в арктических районах, где интенсивность судоходства будет только возрастать. Тематика дискуссий в комитете защиты морской среды IMO по данной проблеме включает вопросы выбора методов измерения выбросов PM/BC от судовых двигателей, а также разработку первоочередных мер по их сокращению. Авторы обращают внимание заинтересованных сторон на необходимость интенсификации совместных исследований, которые пролили бы свет на решение этой чрезвычайно сложную проблему.

Перевод выполнен к.т.н. Г. Мельником

ПРОБЛЕМЫ, С КОТОРЫМИ СТОЛКНУТСЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ВСТУПЛЕНИИ В СИЛУ НОРМАТИВОВ IMO TIER III

**Проблемы техобслуживания и мониторинга главных
судовых двигателей с точки зрения пользователей**

Jorg Erdtmann,

NSB Niederelbe Schiffahrtsgesellschaft mbH & Co. KG

Keith Wilson, Keith Wilson & Associates

Введение

Ввод в действие нормативов IMO Tier III приведет к целому ряду проблем, с которыми столкнутся пользователи двигателей. Проблемы эти связаны с адаптацией двигателей к новым видам топлива и, соответственно, к новым видам смазочных масел, на которых нормальная работа двухтопливных двигателей не гарантируется на 100 %. Особенно это касается двигателей с наддувом, для которых проблема возникновения «помпажа» турбокомпрессоров окончательно не была решена.

В европейских зонах контролируемых выбросов (ЕСА) был зарегистрирован один (пока) случай, когда топливо Exxon HDMA 50 было смешано

с мазутом. Это привело к выпадению в осадок асфальтенов и к необходимости ручной чистки топливного бака. Даже при содержании мазута в пределах 4 % (обычно его гораздо больше) топливный бак нуждается в чистке. Вот почему операторы, фрахтующие суда длительное время, не могут себе позволить иметь на борту разные виды топлива. Назрела необходимость разработки стандарта ISO, который бы регламентировал возможность и правила смешивания новых видов топлив. Такой стандарт должен регламентировать действия оператора, связанные со смешиванием топлив, кроме того, должна быть обеспечена возможность контроля качества смеси и доступность соответствующих топлив в каждом порту. Многие поставщики топлив предлагают узаконить смесь RMD 80 по стандарту ISO 8217.

К тому же существует ряд проблем с мощными четырехтактными двигателями, работающими на судовом маловязком дизельном топливе (MGO) при нахождении судна в зоне ЕСА. Например, на одном из судов за 7 часов работы в

картер вытекло более тонны топлива. Это может вызвать разрушение подшипников или возгорание масла в картере.

При работе на некоторых новых видах дистилтных топлив возможна остановка двухтактного двигателя при маневрировании. Во избежание этого приходится менять уставку минимальной скорости двигателя, что повышает риск аварий.

Все это приводит к повышению эксплуатационных расходов, которые несет оператор (пользователь) двигателя, на фоне роста цен и падения прибыли.

Вероятные последствия вступления в силу Tier III

Для выполнения требований ИМО Tier III потребуются, во-первых, инвестиции в новые технологии и их реализацию; во-вторых, необходимо будет организовать переобучение персонала для эксплуатации, ремонта и обслуживания нового оборудования.

Практически все лицензиары двигателей должны будут снизить выбросы NO_x либо за счет совершенствования рабочего процесса, либо с помощью очистки отработавших газов (ОГ). Попытка глобального ввода в действие нормативов ИМО Tier III пока не увенчалась успехом, за исключением их введения в зонах ЕСА Северо-Американского побережья США и Канады применительно к судам, которые заложены после 1 января 2016 года. Тем не менее, операторам многих судов, работающих на международных линиях, придется эти нормативы выполнять.

Помимо технических трудностей, эксплуатационных затрат и проблем с расходными материалами, для достижения показателей ИМО Tier III необходимо будет вложить от 80 до 100 долларов США на киловатт установленной мощности главного судового двигателя в систему очистки ОГ. То же самое относится и к вспомогательным двигателям. Если взять, например, дизель модели 6S60 ME-C — типичный главный двигатель большого танкера, то его апгрейд с уровня Tier II до уровня Tier III обойдется, в зависимости от мощности, в сумму порядка 1 миллиона долларов США, которые придется затратить на установку либо системы SCR (селективной каталитической очистки), либо системы EGR (рециркуляции отработавших газов). Эти системы до сих пор не стандартизированы и не сертифицированы. Для их сертификации потребуются типовые испытания, что также связано с немалыми расходами. Несколько лучше обстоят дела со вспомогательными двигателями. Уже существуют модели дизель-генераторов с требуемыми характеристиками почти для всего мощностного ряда вспомогательных двигателей, которые, по всей вероятности, вскоре получат типовые сертификаты соответствия.

Технология очистки ОГ (SCR) предусматривает впрыск мочевины в поток отработавших газов, продукты разложения которой реагируют с NO_x в керамическом каталитическом реакторе. Форсунки для впрыска мочевины встраиваются в систему SCR. Мочевина — химикат, поставляемый обычно либо в виде растворимого в воде порошка, либо в виде готовой к употреблению жидкости в пластиковых контейнерах.

В течение 2015 г. цена на мочевины была подвержена резким колебаниям [1]. Она менялась в пределах от 492 до 192 долларов США за метрическую тонну, что происходило на фоне ожидания повышения спроса в связи с ожиданием вступления в силу норматива ИМО Tier III. Цена на мочевины в основном следует за курсом топлива (IFO 380 Rotterdam) и составляет примерно 50 % цены топлива. В настоящее время рынки мочевины носят преимущественно локальный характер, так что цены приходится уточнять через контакты с поставщиками в каждом конкретном порту. Раствор мочевины с концентрацией порядка 32,5 % в виде мельчайших капель впрыскивается в поток отработавших газов с температурой 280–300 °С, где превращается в аммиак [2] — весьма едкое и опасное вещество, что вызывает необходимость специальных мер в случае разгерметизации системы. Необходимый удельный расход мочевины составляет порядка 5 г/кВт·ч [3]. Таким образом, установка мощностью 10 МВт расходует примерно 1,2 т мочевины в сутки — величина далеко не мизерная, которую необходимо учитывать в расчетах запаса воды для разведения реагента, а также при калькуляции затрат на работу с мочевиной. Если учесть потребность охлаждаемых контейнеров в электроэнергии, то окажется, что от вспомогательных двигателей контейнеровозов требуется примерно такая же мощность, как и от главного двигателя, так что необходимое количество мочевины удваивается.

Существуют суда, для которых потребность в воде для разведения мочевины, используемой в главном и вспомогательных двигателях, превышает максимальную производительность бортовой опреснительной установки. Чтобы исключить дефицит пресной воды, необходимо либо запастись дополнительной водой при бункеровке в порту, либо увеличивать производительность бортовой опреснительной установки.

При больших расходах мочевины габариты каталитических реакторов и цистерн для раствора мочевины оказываются весьма значительными, что требует дополнительного пространства и соответственно увеличивает стоимость строящихся судов.

Необходим также тщательный контроль количества и качества впрыскиваемой мочевины.

Передозировка мочевины или отсутствие регулирования температуры приводит к возникновению внутри системы твердых отложений — нитратов и/или сульфата аммония, которые должны вручную удаляться во избежание засорения сотовых каталитических элементов SCR. Для управления впрыском и контроля состояния катализатора необходима замкнутая система управления, обычно называемая детектором NO_x. Последнее сильно осложняет задачу химикам-лаборантам и членам команды судна, работающим с контролирующими газоанализаторами. Для поддержания газоанализаторов в работоспособном состоянии необходимы наличие эталонного газа и периодическая калибровка. Обычно в качестве характерного показателя используется содержание кислорода, однако кислородный датчик крайне чувствителен к влажности. Поэтому, во-первых, обязательно должно быть предусмотрено резервирование датчиков, во-вторых, датчик не должен устанавливаться в местах, промываемых водой, например в зонах, подлежащих промывке турбокомпрессоров препаратом Nut Shell. Впрыск воды сильно затрудняет пробоотбор на малых ходах или при малых нагрузках, где образуется конденсат, что существенно влияет на точность измерений.

Промывка турбокомпрессоров и утилизационных котлов двухтактных или четырехтактных двигателей входит в регламент ежедневного техобслуживания на судне. Практиковавшаяся прежде промывка водой теперь запрещена, поскольку, помимо коррозионного износа котлов и поломок подшипников турбокомпрессоров, она приводит к быстрому засорению катализаторов, после чего их необходимо чистить.

При стоянке в порту очистка котлов производится с помощью обдувочных машин или механических виброщеток. При этом образуется большое количество пыли, что тоже может влиять на работу SCR [12].

Система SCR также требует периодического прокаливания (выжигания сажи) при температуре более 400 °С. Сигнал на прокаливание поступает от дифманометра с электрическим выходом. Обычно для выжигания сажи используются отработавшие газы, которые в течение 1–2 часов направляются в SCR в обход турбокомпрессора через байпас, причем влияние этой процедуры на динамику двигателя, маневренность судна и расход топлива изучено пока еще недостаточно. Двухтактные двигатели крайне чувствительны к противодавлению ввиду наличия продувки. Достаточно противодавления более 400 мм в.с., чтобы возникла вероятность перегрева и задира поршней. Противодавление 250 мм в.с. и более

заметно увеличивает расход топлива. Менее чувствительны к противодавлению четырехтактные двигатели, обычно используемые на судне в качестве вспомогательных.

Операционные риски

Аэрозоли масла, содержащиеся в ОГ двигателя, отравляют катализатор. Аналогичным образом действует ванадий, обычно присутствующий в мазуте. Он образует на поверхности катализатора плотный слой, устойчивый к выжиганию и снижающий эффективность катализатора. Единственный способ их восстановить — ручная замена дорогостоящих керамических блоков катализатора силами команды или ремонтной бригады. (в предположении, что имеются запасные блоки). На сотовую керамику разрушительно действуют определенные частотные составляющие спектра вибрации. В образующиеся при этом зазоры между блоками уходит часть отработавших газов, которая остается неочищенной. Поэтому необходимы регулярные проверки состояния катализатора, а также наличие полнофункциональной системы пробоотбора, если установка сертифицирована по стандарту приемки «В». Для поддержания системы пробоотбора в работоспособном состоянии с учетом ее чувствительности к влаге и потребности в периодической калибровке, необходимо будет организовать обучение судовых механиков, особенно на контейнеровозах и сухогрузах, где подобные системы встречались достаточно редко. Также необходимо будет обучить персонал процедурам проверки и замены блоков катализатора. В прошлом у многих двигателей слабым местом были клапаны перепуска отработавших газов, которые обычно просто не использовались длительное время, пока не кончался их гарантийный срок. Необходимость поддержания их в рабочем состоянии приведет к росту трудозатрат со стороны команды судна. При неудовлетворительном качестве тяжелого топлива эффективность системы SCR резко снижается.

Следует иметь в виду, что в настоящее время обеспечить надлежащий контроль качества мазута практически нереально. Даже если удастся наладить скрининг 100 % топливных проб с привлечением лабораторий, пользующихся высокой репутацией, работа SCR при использовании мазута сопряжена со значительным риском.

Другой вариант — использование системы EGR — также связан с определенным риском. В этом случае высока вероятность возникновения хорошо известных проблем с перепускными клапанами как двухтактных, так и четырехтактных двигателей. Чтобы предотвратить быстрый износ деталей и исключить возможность ложных срабатываний, необходимы специальные заслонки

в жаропрочном исполнении. Для обеспечения рециркуляции до 30 % загрязненных отработавших газов необходимы устройства для их промывки типа скруббера со всеми характерными для них проблемами, включая кислотную коррозию, а сочетание «черной стали» с нержавеющей типа SUS316L вызывает питтинг деталей из нержавеющей стали. Очистка промывочной воды при использовании сернистого топлива также является проблемной. Присутствие серной кислоты в количестве всего 0,5 % уже приводит к разрушению стенок газоочистителя. Охладитель, скруббер, трубопроводы и вентилятор контура рециркуляции придется изготавливать из дорогой нержавеющей стали.

При условии работы двигателя исключительно на бессернистом топливе использование EGR может оказаться предпочтительным. Однако на сегодняшний день для двигателей мощностью 10 МВт и более SCR, похоже, является единственным приемлемым решением. При этом в 2014–2015 гг. практически никому из судовладельцев не удалось получить коммерческого предложения или хотя бы габаритных чертежей систем EGR и SCR для двухтактных двигателей. В 2015 г. было завершено проектирование и выполнена закладка почти всех судов, намеченных к постройке на ближайшие годы. В первом квартале 2016 г. ведущим двигателестроительным фирмам было заказано менее 10 % двигателей для судов, запланированных к постройке на этот год.

Заказ первых образцов новой техники всегда сопряжен с определенным риском, поскольку лишь опыт эксплуатации позволяет убедиться в том, что «болезни роста» преодолены.

Состояние судоходства на сегодня и на ближайшую перспективу

Кризис балкерных перевозок и потребность в перевозке контейнеров в количестве, превосходящем возможности самых крупных контейнеровозов, привели к тому, что цена за перевозку одного TEU (Twenty Foot Equivalent Unit, т. е. условного двадцатифутового контейнера) опустилась до минимума, вследствие чего заказы новых контейнеровозов будут откладываться во избежание полного коллапса на рынке контейнерных перевозок. Это означает, что оживление спроса на новые суда возможно лишь после того как проблемы с вводом в действие IMO Tier III будут решены, с учетом опыта эксплуатации экспериментальных образцов.

Во избежание проблем, связанных с введением IMO Tier III — как технических, так и экономических (первоначальные затраты, эксплуатационные расходы, включая реактивы, обучение персонала, стоимость техобслуживания и зап-

частей, а также повышенный расход топлива), — на верфях самых разных стран мира заранее были заложены сотни судов, удовлетворяющих требованиям Tier II. Другие возможные решения — продление срока эксплуатации судов, удовлетворяющих требованиям Tier I и Tier II, или их апгрейд путем расширения корпуса судна [13] — технологии, которая позволит к 2025 г. довести показатель EEDI (конструктивный коэффициент энергетической эффективности) до того уровня, которым обладают вновь построенные суда, но с первоначальными затратами на 90 % ниже.

Шансы

В настоящее время спрос на модернизацию двигателей с Tier I до Tier II или с Tier II до Tier III, относительно невелик, однако в будущем он может возрасти, если цена топлива снова будет возрастать. Стремление к экономии топлива может оказаться решающим применительно к двигателям Tier II, однако при этом необходимо будет считаться с требованиями по очистке отработавших газов от NO_x. С точки зрения занимаемого места, это может быть реализовано при апгрейде существующих четырехтактных двигателей [5], [9]. Однако для двухтактных двигателей в настоящее время это почти нереально, учитывая пространственные ограничения и сертификационные требования. Сроки ввода новых нормативов IMO в действие:

1.1.2000 введен глобальный норматив IMO Tier I для вновь строящихся судов. С апреля 2012 г. он приобрел обратную силу для некоторых устаревших дизелей Wartsila и двигателей MAN типа S.

1.1.2011 введен глобальный норматив IMO Tier II для вновь строящихся судов.

1.1.2016 введен локальный норматив США (US ECA) только для вновь строящихся судов.

Литература

1. <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=urea&months=60>
2. Urea Dosing and Injection Systems, W. Addy Majewski https://www.dieselnets.com/tech/cat_scr_mobile_urea_dosing.php
3. MAN Customer Day Hamburg, 27.4.2016.
4. Wartsila NO_x Reducer brochure 2014.
5. MAN Ready for TIER III, EGR Retrofit on new buildings brochure 2016.
6. MAN Technology for Ecology, Medium speed engines for clean air brochure 2016.
7. MAN Selective Catalytic Reduction, The solution for less NO_x brochure 2016.
8. Wartsila Environmental Product Guide 2010, booklet.
9. Wartsila Environmental Solution Retrofit Solution 2013 brochure
10. Cat MAK SCR System, brochure 2015.
11. U.S. EPA Tier 4 Final & IMO III Marine Engine Emissions Technology, [HTTP://WWW.CAT.COM/EN_US/PRODUCTS/NEW/BY-INDUSTRY/MARINE/USEPATIER4FINALMARINEEMIS-SIONS.HTML](http://www.cat.com/en_us/products/new/by-industry/marine/usepatier4finalmarineemissions.html) 2016
12. NSB Solutions, Exhaust Gas Boiler Cleaning Tools, OS@REEDEREI-NSB.COM.
13. NSB Solutions, Ship Widening Patent, OS@REEDEREI-NSB.COM.
14. DNVGL Homepage 2016, <https://www.dnvgl.de/>.

НОРМИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ РМ/ ВС ОТ СУДОВ – ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Torsten Mundt, Malte Zeretzke, DNV GL

Введение

Твердые частицы (РМ) и черный углерод (ВС), составляющий часть общих выбросов РМ, привлекают к себе все более пристальное внимание общественности, поскольку заметно влияют на здоровье людей и на климат. Еще одна причина столь пристального внимания заключается в том, что эти выбросы происходят в непосредственной близости от берега¹. Люди своими глазами видят дымные шлейфы над трубами стоящих в гавани судов, так что и пресса этот факт не может обойти вниманием.

Что касается вклада судоходства в общий объем вредных выбросов, то на этот счет нет единого мнения. Слишком мало объективной информации о том, какова доля судовых двигателей в суммарной объеме антропогенных выбросов черного углерода. Известные результаты оценки выбросов РМ и ВС судовыми двигателями недостаточно достоверны, и делать на их основе окончательные выводы пока преждевременно.

Что касается других источников загрязнения атмосферы, в частности автомобильных двигателей, то для них в последние годы уже введены жесткие заградительные нормативы. В то же время применительно к судовым выбросам подобных нормативов явно недостает — таково, по крайней мере, мнение широкой общественности. Именно поэтому политики и неправительственные организации постоянно призывают к действиям в этом направлении.

В качестве независимой технической организации DNV GL ощущает необходимость глубже разобраться в этом вопросе и получить больше информации о выбросах частиц и черного углерода судовыми двигателями.

Настоящий доклад можно считать введением к более детальному изучению проблемы РМ и ВС. В нем рассматриваются базовые принципы, такие как механизм формирования РМ и ВС в двигателе, их влияние на здоровье людей и климат, общие принципы и различия в способах измерения РМ и ВС. Приводятся данные о существующих (применяемых в смежных секторах) или перспективных технологиях снижения вредных выбросов. Сформулированы проблемы, которые предстоит преодолеть разработчикам новых технологий снижения выбросов.

¹ Согласно 2-му исследованию ИМО по выбросам парниковых газов от судов в зависимости от расстояния до берега:

- .1 в зоне 200 морских миль от берега: 70 %;
- .2 в зоне 50 морских миль от берега: 44 %;
- .3 в зоне 25 морских миль от берега: 36 %.

Предпринята попытка оценить вклад² судоходства в выбросы РМ и ВС на глобальном уровне, несмотря на неполноту и существенную неточность имеющихся данных. Становится ясно, что международному сообществу ученых и исследователей предстоит еще немало потрудиться в этом направлении.

Наконец, в докладе приводятся сведения об экологическом законодательстве в смежных секторах, а также о действующих нормативах по выбросам РМ от судовых двигателей.

Частицы и черный углерод — что это такое?

Под частицами РМ понимают взвесь твердых частиц и капель жидкости в воздухе. Разные частицы (РМ) отличаются между собой размерами и химическим составом. По размерам РМ разделяются на три категории, в зависимости от аэродинамического диаметра — РМ₁₀, РМ_{2,5} и РМ_{0,1} (см. таблицу).

Основным источником антропогенных РМ является горение продуктов, содержащих углеводороды, в том числе уголь, все виды топлива и биомассы. Все эти продукты используются как топливо в быту, в промышленности, в сельском хозяйстве, на железных дорогах, на флоте и на сухопутном транспорте. Другим источником РМ являются лесные пожары.

В состав РМ входят различные химические элементы. Один из них — ВС. Кроме того, в их состав могут входить органические вещества (ОМ), различные металлы, нитраты, сульфаты и другие компоненты. Источники различных РМ, образующихся при горении, показаны на рис. 1. Некоторые компоненты РМ, такие как ВС, ОМ и металлы, состоят в основном из частиц, которые образуются в результате сгорания и присутствуют в отходящих газах. Вторичные частицы, включая NO_x и SO_x — это газы, находящиеся в выпускном тракте двигателя. На выходе из выпускной трубы они превращаются в конденсат и вступают в реакции, образуя различные формы частиц (например, нитрат аммония и серную кислоту).

Категория	Обозначение	Диаметр ³
Крупные частицы	РМ ₁₀	< 10 мкм
Тонкие частицы	РМ _{2,5}	< 2,5 мкм
Ультратонкие частицы	РМ _{0,1} или UFP	< 0,1 мкм

³ Наиболее точное научное определение: 50 % диаметра проскока (точное определение — см. VDI 2066 лист 10).

² На основании анализа литературы на данном этапе.

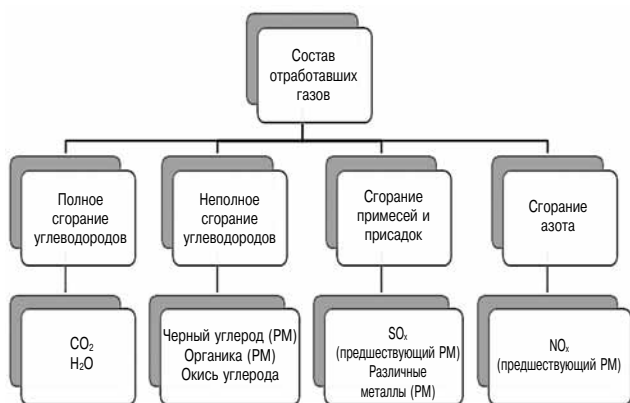


Рис. 1. Продукты, присутствующие в отработавших газах

Как показал анализ источников, определения черного углерода, встречающиеся в научной литературе, неоднозначны и не всегда согласуются друг с другом. Общепринятое ныне определение было предложено в 2013 г. Бондом и др. [1]. Кроме термина «черный углерод», используются «элементарный углерод», «углеродосодержащая фракция» и «сажа». Международная Морская Организация (ИМО) использует следующее определение, предложенное Бондом с соавторами.

Черный углерод, это вещество, которое:

- является сильным поглотителем видимого света, с сечением массового поглощения не менее 5 мг при длине волны 550 нм;
- обладает жаростойкостью, т. е. сохраняет форму при высоких температурах, испаряясь лишь при температуре порядка 4000 К;
- не растворяется водой, органическими растворителями, включая метанол и ацетон, и другими атмосферными аэрозолями;
- существует в виде множества мелких углеродных шариков.

Влияние РМ на климат

Можно отметить несколько механизмов влияния РМ на климат. Самым непосредственным образом это влияние проявляется в увеличении поглощения и рассеяния света. В этом смысле

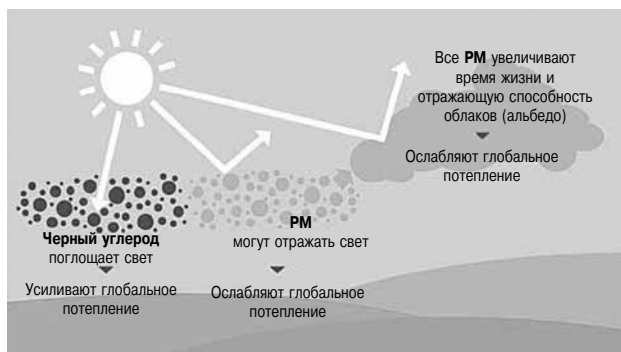


Рис. 2. Иллюстрация климатического эффекта частиц

наиболее значимой частью РМ является черный углерод, влияние которого на климат проявляется в усилении глобального потепления из-за собственного РМ поглощения света.

Кроме того, РМ способствует образованию облаков и продлевает срок их существования (косвенное влияние на климат). Это свойство аэрозолей РМ, как и их взаимодействие с облаками, способствует ослаблению глобального потепления, следовательно, имеет охлаждающий эффект [2] (рис. 2).

Влияние РМ на здоровье людей — размер имеет значение

Согласно оценке Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), в 2012 г. РМ стали причиной преждевременной смерти примерно 3,7 миллиона человек. Причина заключается в том, что длительные и даже кратковременные контакты с РМ увеличивают риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний и болезней органов дыхания, как хронических, так и острых, а также рака легких [3].

Болезнетворные свойства частиц объясняются токсичностью компонентов РМ и физическим внедрением частиц в слизистые оболочки легких и других органов тела [4]. Любые твердые частицы — РМ₁₀, РМ₂₅ или РМ₀₁ — влияют на человеческий организм отрицательно, однако сильнее всего это влияние проявляется у самых мелких частиц, поскольку они глубже проникают в легкие и могут даже попадать непосредственно в кровь.

Согласно ряду исследователей [5–8], наиболее разрушительным для человеческого здоровья из всех компонентов РМ является черный углерод. Поскольку организация точных исследований в этой области является делом чрезвычайно сложным, приходится считаться с наличием значительных пробелов как в результатах, так и в корпусе доступной литературы.

Эмиссия и иммиссии

Одним из неперемных условий любого исследования в области загрязнения воздуха является необходимость четко разделять пути прохождения вредных компонентов от каждого их источника (например, выпускной трубы) до объекта поражения (окружающей среды или человеческого существа). В частности, нужно научиться различать эмиссии и иммиссии.

Эмиссии (выбросы) — это загрязняющие атмосферу вещества, которые вылетают из выпускной трубы двигателя, или, вообще говоря, из любой дымовой трубы. Эти «эмиссии» выбрасываются из трубы в атмосферу, где подвергаются разного рода химическим и физическим превращениям. Они переносятся потоками воздуха (ветром) и где-то оседают в результате

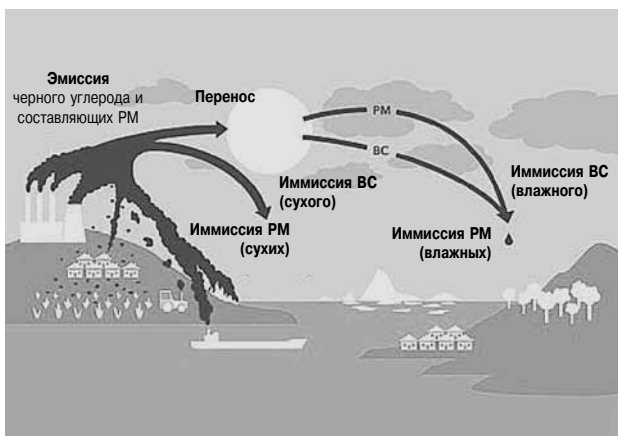


Рис. 3. Различие между эмиссиями и иммиссиями

различных атмосферных процессов (осадки, дождь). Если загрязняющие вещества проникают в любую систему, влияющую на человеческий организм или состояние окружающей среды, их называют иммиссиями. (Иммиссия — восприятие организмами или экосистемой вредных веществ, содержащихся в окружающей среде и поступивших в нее из источников эмиссии). Это определение иллюстрируется рис. 3.

Говоря о вредном влиянии частиц, находящихся в отработавших газах дизеля, необходимо провести четкое различие между эмиссиями и иммиссиями, поскольку в данном аспекте имеют значение именно иммиссии. Когда речь идет о законодательных нормативах или о мерах по снижению выбросов в любой из промышленных отраслей, то почти всегда при этом подразумеваются эмиссии.

Учет выбросов РМ и ВС

Общая практика состоит в том, что выбросы РМ и ВС привязываются к потреблению топлива в пределах определенного сектора (отрасли) хозяйственной деятельности, даже если этот сектор сводится к одному единственному источнику. Допустим, суммарное годовое потребление топлива судовыми двигателями оценивается примерно в «х» тонн мазута (НФО), при этом считается, что коэффициент выбросов РМ равен 6,2 кг/т НФО⁵. Получаем результат, отнесенный к «х» тоннам топлива. Вопрос, однако, в том, насколько точно указанный коэффициент выбросов учитывает все многообразие рабочих режимов судов и другие влияющие факторы. Существует несколько моделей для оценки расходов топлива и различных веществ, загрязняющих атмосферу. Главная проблема состоит в том, чтобы полученные результаты были надежными и качественными. При сопоставлении разных моделей нужно учитывать

⁵ Эти цифры приводятся в качестве примера.

причины значительного расхождения соответствующих результатов. Эти причины могут быть следующими:

➤ Трудно сравнивать локальные и глобальные результаты, поскольку на локальном уровне от *глобальных моделей* особая точность не требуется. Иначе они становятся чересчур сложными. При прогнозировании глобальных климатических эффектов используется большее количество усредненных коэффициентов.

➤ *Локальные модели* подробно учитывают факторы местного масштаба, например, волнение, ветер (когда речь идет об особенностях местности, как, например, мелководье, приливы и отливы), а также размеры судов, использование топлива и рабочие условия (когда речь идет об источниках загрязнения). Попытки построения глобальной модели на основе подобных локальных условий путем простого масштабирования встречают значительные трудности.

➤ Коэффициенты выбросов РМ и ВС обычно «страдают» чрезмерным обобщением и упрощением.

➤ Лишь в редких случаях учитываются (если учитываются вообще) такие параметры, влияющие на выбросы двигателем РМ и ВС, как нагрузка, тип двигателя, системы впрыска, возраст двигателя и его техническое состояние.

➤ Качество топлива учитывается лишь в форме самой грубой классификации (мазут либо дизель).

➤ Непросто найти достаточно точные и надежные данные по коэффициентам выбросов. Далеко не все суда имеют бортовые средства измерения выбросов. Далее необходимо, чтобы условия пробоотбора, а также рабочие режимы и параметры двигателя были сравнимы и репрезентативны. И еще: для формирования более надежной базы данных необходимо иметь больше информации по типам судов и режимам их работы.

Выброс частиц, вклад судоходства

Согласно исследованию ЕС [9], судоходство в водах стран ЕС генерирует 10–20 % от мировых выбросов РМ_{2.5}. Далее, согласно этому же источнику, называемые в литературе коэффициенты выбросов РМ варьируются в пределах от 1,5 до 2,1 тонн на килотону CO₂. Суммарный выброс CO₂ от судов международных линий в 2012 г. составил 796 мегатонн [10], что составляет порядка 2,2 % от мировых выбросов CO₂ за этот год. Следует также различать «общее судоходство», включающее также международные перевозки, и национальное судоходство. С учетом последнего, выбросы CO₂ от «общего судоходства» за 2012 г. составят 949 мегатонн, или 3,1 % глобальных выбросов CO₂.

Учет выбросов черного углерода

Согласно расчетам 2000 г., во всем мире годовой выброс ВС составлял порядка 7500 килотонн, при этом наблюдался огромный разброс данных, полученных из различных источников — от 2000 до 29 000 килотонн в год (см. Калькулятор Компонентов Вредных Выбросов — Speciated Pollutant Emissions Wizard [SPEW] [1]). Примерно 60 % суммарных выбросов ВС поступает от объектов энергетики, в число которых входят основные антропогенные источники — транспорт, промышленность, котельные и электростанции. Остальные 40 % — это открытый огонь (пожары), которые могут быть как антропогенного, так и природного происхождения. Пожары чаще всего происходят в тропических лесах, тогда как большинство объектов энергетики расположено в северном полушарии.

Распределение выбросов ВС от объектов энергетики (которые в сумме составляют порядка 4500 Гт в год) рассмотрено в работе [1].

Современные оценки выбросов РМ и ВС весьма приблизительны. Ощущается острая необходимость в более достоверных оценках объемов выбросов и в более глубоком понимании процессов формирования РМ и ВС.

Измерения выбросов частиц

Во многих областях техники, связанных с производством и применением двигателей, существуют нормативы, регламентирующие допустимые объемы РМ на стороне как эмиссии, так и имиссии. Исходя из этого, разработан целый ряд методик и средств измерения, приспособленных для определенных условий, с учетом целей выполняемых измерений. Например, измерения выбросов на электростанциях ведутся при температуре 160 °С, при которой обеспечено испарение воды и летучих органических соединений (VOC). Затем полученное количество «пыли» относится к выбрасываемому количеству (расходу) сухого вещества [11, 12]. Методика измерения выбросов для двигателей внедорожной техники (ISO 8178:2006 [13]) требует, чтобы температура среды была в пределах от 42 до 52 °С, а измеренное количество РМ относится к мощности двигателя [г/кВт]. Эта методика распространяется также на суда речного флота. Для судов морского флота она тоже применима, хотя и не обязательна с точки зрения действующего законодательства. Тем не менее, DNV GL обладает обширным опытом измерения выбросов РМ по стандарту ISO 8178:2006 на судах морского флота.

Измерения выбросов черного углерода

На сегодняшний день ни в одной промышленной отрасли не существует нормативов, регламентирующих выбросы ВС от каких-либо

источников. Поэтому никто и не занимался разработкой стандартного метода измерения ВС в выпускной/дымовой трубе судового двигателя. Существует и коммерчески доступно большое количество методов и приборов для измерений в исследовательских целях содержания ВС, причем каждый из этих методов выбирает одно из свойств черного углерода в качестве основы для измерений. Одни способы предусматривают непрерывное (полунепрерывное) измерение, другие основаны на отборе пробы с фильтра [14].

В последнее время в ИМО обсуждались следующие методы измерений.

➤ **Фотоакустический метод:** Частицы нагреваются лазерным лучом за доли секунды, и так же быстро охлаждаются. Попеременный нагрев и охлаждение частиц сопровождается их тепловым расширением и последующим сжатием, что порождает волны давления, воспринимаемые приборами как звук. Метод основан на поглощении света. Светопоглощение ВС значительно сильнее, чем у других частиц, а в качестве меры количества поглощенного света используется издаваемый звук [14, 15].

➤ **Лазерно-индуцированная инкаандесценция (ЛИ).** Частицы нагреваются лазерным лучом до 4000 К. При этой температуре ВС начинает светиться, затем испаряется и испускает излучение черного тела. Последнее используется для обнаружения и определения массы. Однако существует и вторичный эффект, а именно — рассеяние лазерного луча, которое может быть использовано для определения размеров частиц ВС [14, 16].

➤ **Пропускание через фильтр.** Проба отработавших газов пропускается через фильтр, на котором собираются частицы. При этом ведется непрерывное измерение пропускаемого и поглощаемого фильтром света. Масса ВС рассчитывается на основе эмпирических коэффициентов ослабления на единицу массы, причем выбор этих коэффициентов является предметом постоянных дискуссий [17–19]. Должна существовать возможность найти общепринятый коэффициент для хорошо известного источника, например двигателя [20]. Как говорилось выше, данному методу свойственно множество разного рода систематических погрешностей, однако на рынке предлагается большое количество промышленных систем измерения, в которых эти погрешности существенно снижены [14, 21, 16].

➤ **Дымовое число фильтра (FSN).** Ведется непрерывное измерение обратного рассеяния накапливающегося на фильтре слоя частиц. FSN — параметр, стандартизованный в ISO 10054:1998. Метод FSN подвергается критике со стороны многих метеорологов, поскольку он

игнорирует большинство систематических погрешностей, присущих измерениям на основе светопропускания [14]. Однако многие специалисты энергично выступают в защиту FSN. Их аргументы — обширная база имеющихся данных, относительная дешевизна аппаратуры, а также тот факт, что данный метод — самый популярный среди двигателестроителей.

Разные методы измерения дают сильно различающиеся результаты, а попытки сравнения этих результатов сталкиваются с серьезными трудностями и чреваты значительными погрешностями [14, 17, 22–24]. При сравнении результатов измерения черного углерода необходимо убедиться в том, что во всех случаях был использован один и тот же метод измерения. Каждому методу измерения присущи свои погрешности, достоинства и недостатки. Например, многие методы, основанные на эффекте светопоглощения, страдают от того, что результаты измерений могут зависеть от покрытий, от присутствия других поглощающих или рассеивающих свет частиц или даже газов, в зависимости от длины волны, используемой при измерениях [18, 21]. Если используется метод на основе фильтрации, то надо учесть, что сам фильтр тоже поглощает и рассеивает свет, и во многих системах предусмотрена соответствующая поправка. Есть методы, основанные на тепловой стабильности ВС, но они чувствительны к обугливанию других частиц. Здесь также существуют усовершенствованные методы, менее чувствительные к указанным эффектам [24, 25].

Нормирование выбросов для других видов транспорта

Предельно допустимые выбросы частиц от транспортных двигателей сильно зависят от вида транспорта. Наиболее жесткие нормы установлены для дорожного транспорта, поскольку именно в этом секторе расходы топлива максимальны, кроме того, автомобильные выбросы концентрируются в непосредственной близости от жилых кварталов. В настоящее время автотранспорт является единственным сектором, в котором нормируются не только масса частиц, но и их число (EURO6). В последнем случае учитывается эффект от присутствия ультратонких частиц, составляющих наибольшую долю общего количества частиц, но лишь малую часть их общей массы [26].

Для других групп источников загрязнения, например, судов внутреннего плавания и тепловозов, ограничивается масса частиц, а нормативы, по сравнению с EURO6, носят менее жесткий характер. Однако следует признать, что различие в испытательных циклах практически исключает саму возможность сравнения между

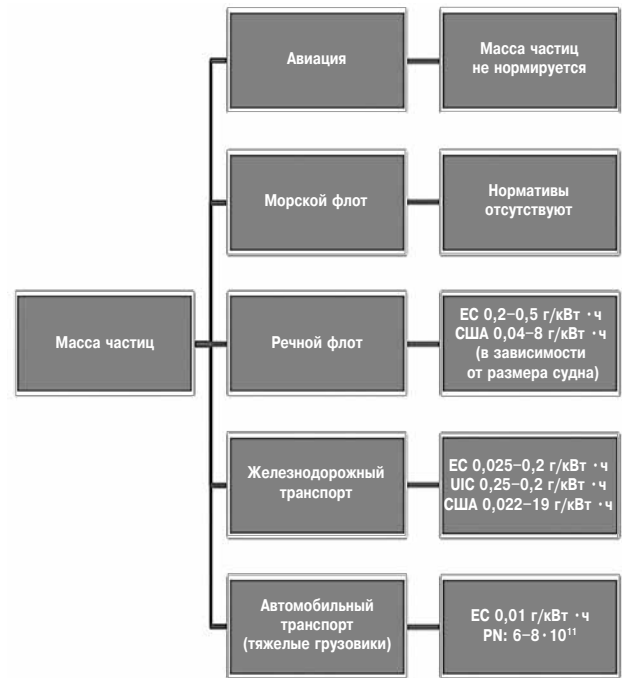


Рис. 4. Предельно допустимые выбросы РМ согласно источникам Союза Машиностроителей Германии (VDMA) [27]

показателями выбросов частиц от автомобильных [в г/км] и промышленных [в г/кВт·ч] двигателей. Что касается авиации, то там какие-либо ограничения на выброс частиц вообще отсутствуют. Нормы ИМО косвенно ограничивают выбросы частиц, устанавливая предельно допустимое содержание серы в топливе для судовых двигателей. Как известно, при снижении содержания серы в топливе выбросы частиц уменьшаются.

Ни для одного вида транспортных двигателей какие-либо ограничения на выброс черного углерода нигде не установлены.

Позиция ИМО — история

ИМО и ее подкомитет по защите морской окружающей среды (MEPC) с начала 1990-х годов прилагают большие усилия, чтобы привлечь внимание к проблеме выброса частиц от морских судов. Протокол МР/CONF 3/34 1997 г. (MARPOL, Приложение VI) ограничивает содержание серы в топливе, используемом на судах гражданского флота, в особенности в зонах ограниченных выбросов. Не ограничивая выбросы РМ напрямую, ИМО сознательно принимает меры, косвенно лимитирующие массовый выброс частиц. Поскольку побочные продукты химических реакций — сера и вода — являются наиболее весомыми массовыми составляющими РМ, ограничение содержания серы в топливе означает также ограничение массовых выбросов РМ. ИМО постоянно принимает меры для снижения массовых выбросов РМ от морских судов путем

ужесточения предельно допустимого содержания серы в топливе как на международном, так и на локальном уровнях. Впрочем, основной задачей в этом случае является борьба с другими негативными воздействиями данного вида РМ на окружающую среду, а именно, с кислотными дождями и подкислением чувствительных участков водных бассейнов.

Как уже говорилось, неблагоприятное воздействие РМ проявляется следующим образом:

- прямой вред, наносимый человеческому здоровью;
- потемнение заснеженных областей земной поверхности из-за снижения отражательной способности покрова, что ускоряет таяние снега и льда.

Однако часть РМ, состоящая из серы, к глобальному потеплению отношения не имеет. Наиболее грозные последствия глобального потепления, в особенности таяние полярного ледяного покрова из-за снижения его отражательной способности, лежали в основе дискуссий, уже более шести лет ведущихся в подкомитетах ИМО по предотвращению загрязнений и реагированию (PPR, ранее называвшийся «BLG» — Bulk Liquids and Gases) и по охране морской среды (MEPC — Marine Environment Protection Committee). Принимая во внимание сложность цепи превращений «эмиссии» частиц в «иммиссию», соответствующие отрицательные эффекты и другие факторы, ИМО в качестве первого шага выработала компромисс относительно определения той части РМ, которая подлежит дальнейшему обсуждению, а именно, черного углерода (см. выше). На заседании MEPC 68 в мае 2015 г. комитет согласился принять определение, предложенное PPR 2 (в январе 2015 года) Бондом и др. [1]. Это определение теперь принято в качестве основы для дальнейшей деятельности. Необходимо интенсифицировать научные исследования в области измерения ВС на судах, в связи с чем ИМО обратилась к странам-членам организации с предложением провести добровольные исследования в отношении черного углерода. Результаты этих исследований должны быть тщательно проанализированы и обобщены. Такая работа была проведена лишь однажды. Теперь она должна быть продолжена.

Механизм формирования РМ

Продуктами идеального сгорания углеводородов являются только CO_2 и H_2O . Однако идеальное сгорание практически неосуществимо по двум причинам:

- наличие множества примесей как в топливе, так и в воздухе;
- неравномерность распределения реагентов в камере сгорания, приводящая к неполному сгоранию.

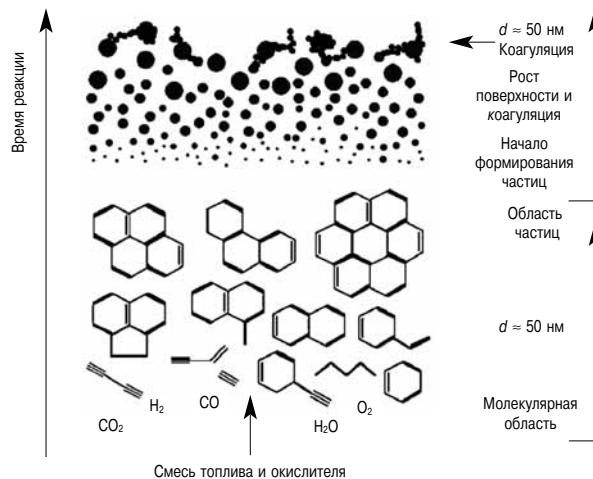


Рис. 5. Рост первичных молекулярных образований и коагуляция сажи [29]

На формирование таких примесей влияют, во-первых, конструкция/конфигурация двигателя, во-вторых — рабочие параметры, такие как нагрузка двигателя, качество топлива, давление и температура окружающего воздуха.

Химические и физические процессы формирования ВС изучены далеко не полностью, особенно те, что происходят на ранней стадии образования ВС. Значение подобных исследований состоит в том, что они помогают не только снизить влияние вредных выбросов, но и улучшить параметры процесса сгорания, снизив, в частности, расход топлива. Общий характер процесса, происходящего на молекулярном уровне и ведущего к сажеобразованию, проиллюстрирован рис. 5.

Экспериментальные исследования формирования ВС в дизеле, которые велись главным образом в автомобильной промышленности, выявили следующие стадии процесса сгорания, связанные с формированием ВС:

- формирование ВС в зонах обогащенной неоднородной смеси;
- образование ВС из топлива, впрыскиваемого в факел;
- образование ВС из топлива, впрыскиваемого в горящие газы;
- окисление ВС, снижающее их выброс.

Опыт автомобильной промышленности может быть с успехом использован и в главных судовых двигателях большой мощности, выбросы от которых могут быть снижены за счет правильной настройки упомянутых выше параметров.

Технологии снижения вредных выбросов

Для снижения выброса частиц есть два пути — либо предотвращать или уменьшать их образование («внутренний» способ, предполагающий оптимизацию параметров рабочего процесса, о чем говорилось выше), либо удалять их из потока отработавших газов (т. е. очистка ОГ).

«Внутренние» мероприятия (совершенствование рабочего процесса)

Источником выброса частиц является рабочий процесс дизельного двигателя. Образование частиц особенно интенсивно происходит в областях камеры сгорания с пониженным содержанием кислорода. Однако по мере развития процесса сгорания большая часть этих РМ окислится. Следовательно, для снижения выброса частиц из цилиндра двигателя есть две возможности:

- избегать образования в камере сгорания областей с пониженным содержанием кислорода;
- интенсифицировать процесс окисления в цилиндре двигателя.

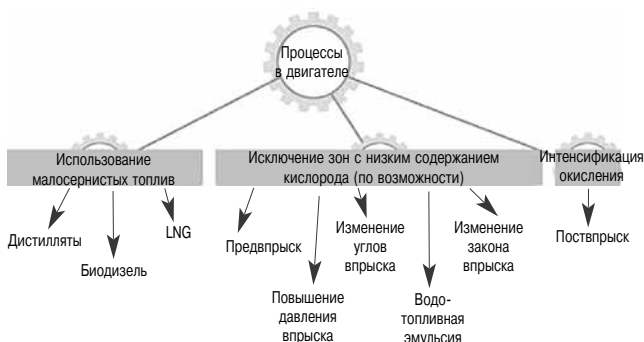


Рис. 6. Обзор «внутренних» способов снижения выбросов частиц

На рис. 6 показаны различные «внутренние» технологии снижения выброса частиц, включая использование малосернистого топлива, изменение параметров рабочего процесса и применение водотопливной эмульсии. В большинстве случаев эти технологии могут быть реализованы (или усовершенствованы) за счет применения системы топливоподачи типа common rail (CR). Многофазный впрыск, обеспечиваемый системами CR, способствует значительному снижению выбросов частиц. Следует, однако, иметь в виду, что улучшение параметров сгорания (в данном случае это означает повышение температуры сгорания) обычно влечет за собой рост выбросов NO_x . У специалистов это называется «PM/ NO_x trade-off», т. е. компромисс между РМ и NO_x .

Есть еще один способ снижения выбросов частиц — использование водотопливной эмульсии в традиционных механических системах впрыска. В этом случае снижение выбросов частиц сопровождается также небольшим уменьшением расхода топлива. Но в системах CR водотопливная эмульсия не только не снижает выбросы частиц, но может приводить к повышенному износу двигателя из-за возникновения кавитации. Впрочем, данная технология в дизелях

используется достаточно редко. Однако иногда она применяется при модернизации существующих механических систем впрыска, поскольку дает заметное даже на глаз снижение дымности и некоторое повышение КПД.

«Внешние» мероприятия (очистка ОГ)

Существует целый ряд средств очистки отработавших газов, приводящих к снижению выбросов частиц. Многие из них снижают выбросы РМ лишь в качестве побочного эффекта, так как их основной задачей является очистка ОГ от других загрязнителей. Наиболее известные средства этой группы — фильтры, скрубберы, катализаторы SCR и циклоны (рис. 7).

В автомобильной промышленности и в сухопутных энергоустановках применяются разного рода фильтры. Причем в автомобильной промышленности используются только фильтры закрытого типа. Для работы на тяжелых топливах с высоким содержанием серы закрытые фильтры непригодны [28], так как они легко забиваются. Еще один важный момент заключается в том, что в ловушках частиц обычно имеется слой катализатора, задача которого — снизить температуру начала регенерации. Это означает, что окисление сажи (эффект авторегенерации) будет начинаться при температурах более низких, чем температура окисления сажи в обычных условиях (порядка 550°C). В судовых установках одной из главных проблем является использование мазутов с примесями тяжелых металлов, отравляющих катализатор и снижающих его способность к авторегенерации.

В других секторах промышленности использование открытых фильтров, менее подверженных засорению, является одним из возможных методов снижения выбросов частиц [28], однако в таких фильтрах трудно обеспечить устойчивость слоя

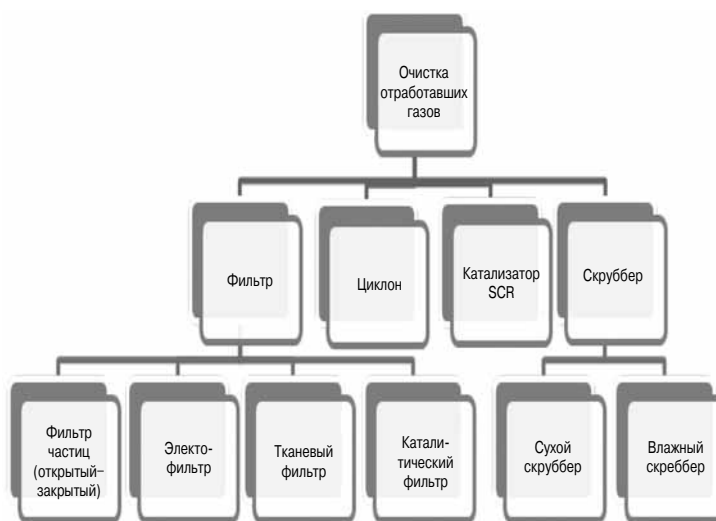


Рис. 7. Обзор методов очистки отработавших газов от частиц

катализатора при работе двигателя на тяжелом топливе. В промышленных установках используются другие виды фильтров, например, из фильтровальной ткани, каталитические (аналогичные тканевым, но из другого материала) и электрические, обычно используемые в угольных электростанциях. Такие фильтровальные системы в принципе могут уменьшить выбросы частиц от судовых двигателей, но их работоспособность в судовых условиях еще нуждается в проверке.

То же самое можно сказать и о циклонах. В циклоне используется центробежная сила, действующая на частицы в конической камере. Циклон может обеспечить только осаждение частиц достаточно крупного размера [29].

Хорошо известным устройством для снижения выбросов SO_x от судов является скруббер. Помимо SO_x , скруббер удаляет в качестве побочного эффекта и частицы [28].

Другой метод, обычно применяемый в автомобильных двигателях для удаления NO_x , также способствует удалению частиц, поскольку нитраты (соли NO_x) тоже относятся к частицам. Селективное каталитическое восстановление (SCR) снижает содержание NO_x в отработавших газах, уменьшая тем самым содержание частиц [30].

Проблемы установки очистных устройств на судне

Очевидно, что установка некоторых из описанных выше очистных устройств на борту судна встречает значительные трудности, и не только из-за пространственных ограничений на судне. Следует учитывать также и вес подобных устройств. Кроме того, необходимо принимать во внимание стоимость монтажа. Есть еще одно важное обстоятельство — главные судовые двигатели мощностью более 1 МВт работают, как правило, на мазуте, и конструкция системы очистки газов должна это учитывать. Самое важное — обеспечить безопасную и надежную работу двигателя. Это, в частности, означает, что должен быть обеспечен достаточно большой срок жизни очистных устройств, причем отказ системы газоочистки не должен приводить к остановке двигателя. Надо осознавать, что работоспособность главного двигателя — важнейшее условие безопасности судна, поскольку безопасность обездвиженного судна подвергается серьезному риску, особенно вблизи берега.

Заключение

Вопрос о нормировании выбросов частиц судовыми двигателями является предметом обсуждения уже не один десяток лет. Термин «PM» ассоциируется с вредоносным воздействием как на человеческий организм, так и на климат Земли. ИМО уже откликнулась на общественный запрос, введя ограничения на содержание серы в топливе, тем самым косвенно лимитируя

выбросы частиц. Глобальный план ограничения количества серы в топливе был принят MARPOL (в редакции 2008 г.). Лет пять назад ИМО присоединилась к всемирному обсуждению проблемы черного углерода, в попытках решить проблему его воздействия на Арктику, так как существующие модели земного климата не в состоянии объяснить масштабы влияния черного углерода на таяние льдов. Согласно последним исследованиям снижение альбедо оказывает на климат более серьезное воздействие, чем предполагалось ранее, а модели для прогнозирования погоды требуют непрерывной корректировки на основании последних исследований. Требуются также более точные данные о фактическом количестве выбросов BC, чтобы можно было понять, какие именно факторы и параметры работы двигателей на него влияют. Имеются в виду нагрузка двигателя, качество топлива, состояние двигателя, и т. п.

Лишь после того как ИМО выяснит, что означают выбросы черного углерода для судоходства в 2015 г., данная проблема и ее возможное влияние соответствующих нормативных изменений на судостроение должны быть исследованы заново, «с чистого листа». Само по себе правильное определение BC было несомненным достижением, однако это определение имеет один существенный недостаток. Имеющаяся в продаже аппаратура для измерения BC разрабатывалась и использовалась для измерения «иммиссии» BC. Это означает, что данная аппаратура дает правильные результаты лишь когда она используется там, где обеспечена достаточно большая степень разбавления отработавших газов воздухом, например, в Арктике. Мы пока не знаем, обеспечит ли она такую же точность при измерениях в дымовой трубе, где концентрация загрязнителей может быть на несколько порядков выше. Стандартной методики подобных измерений на сегодняшний день не существует. А это значит, что необходимо провести серии измерений с тем, чтобы набраться больше опыта, протестировать имеющуюся измерительную аппаратуру и сравнить результаты с теми, которые были получены при измерениях выбросов PM традиционными методами.

Еще одна проблема при квантификации BC состоит в том, что BC определяется следующими четырьмя свойствами: способностью поглощать свет, жаростойкостью, нерастворимостью в воде и существованием в виде мелких сферических коагулятов углерода. Существующая аппаратура для измерений BC не позволяет проводить такие измерения, применяя все четыре критерия одновременно. Значит, необходимы дополнительные исследования, которые бы включали испытания различных измерительных приборов, реагирующих

на разные отличительные признаки ВС, и последующую сверку результатов, которые должны быть достаточно близкими, или (в идеале) одинаковыми.

Обзор нормативных документов, действующих в других секторах транспортных двигателей, показал, что законодательства, ограничивающего выбросы ВС, до сих пор не существует. В других секторах действующие нормативные документы ограничивают выбросы РМ, при этом их предельно допустимый уровень зависит от характера применения транспортного средства (автомобили, поезда, внесосейные транспортные средства, и т. д.) — хотя очевидно общее движение в сторону ужесточения предельных выбросов РМ. Учитывая трудности, с которыми нам пришлось столкнуться в попытках измерить выбросы ВС от судоходства, было бы преждевременным делать какие-то прогнозы относительно возможных вариантов нормирования выбросов ВС в будущем.

Оптимальные технологии снижения выбросов ВС можно будет назвать, лишь выяснив, насколько каждая из них применима в судовых условиях. Так, например, если действующие нормативы ограничивают по преимуществу выброс крупных частиц, способ очистки ОГ должен быть иным, нежели в случае ограничения выбросов более мелких частиц.

Учитывая необходимость дальнейших исследований, касающихся нормирования выбросов ВС от судоходства, мы бы рекомендовали операторам использовать свои суда с максимально возможной эффективностью. Снижение расхода топлива уменьшает общий уровень выбросов, а оптимизация режимов работы двигателя ведет к снижению выбросов РМ и ВС.

DNV GL по-прежнему будет внимательно следить за всеми дискуссиями, касающимися черного углерода и твердых частиц, и готова консультировать по этому поводу любые заинтересованные организации.

Литература

1. Bond T.C., Doherty S.J., Fahey D.W., Forster P.M., Bernsten T., Deangelo B.J., et al. «Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment». *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 2013. Vol. 118, pp. 5380–5552.
2. IPCC, *Climate Change, The Physical Science Basis*, 2013.
3. WHO, Fact sheet № 313 «Ambient (outdoor) air quality and health», 2014.
4. WHO, «Review of evidence on health aspects of air pollution», REVHIAAP Project, 2013.
5. Cassee F., «Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission», *Inhalation Toxicology*. 2013, pp. 802–812.

6. Tuomisto J., «Uncertainty in mortality response to airborne fine particulate matter: Combining European air pollution experts» *Reliability Engineering and System Safety*. 2008, pp. 732–744.

7. Grahame T., «Public health and components of particulate matter: The changing assessment of black carbon», *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2014, pp. 620–660.

8. Oeder S., «Particulate Matter from Both Heavy Fuel Oil and Diesel Fuel Shipping Emissions Show Strong Biological Effects on Human Lung Cells at Realistic and Comparable In Vitro Exposure Conditions», *PLoS*, 2015.

9. EEA European Environment Agency, «The impact of international shipping on European air quality and climate forcing», 2013.

10. Smith T.W.P., Jalkanen J.P., Anderson B.A., Corbett J.J., Faber J., Hanayama S., O'Keefe E., Parker S., Johansson L., Aldous L., Raucci C., Traut M., Ettinger S., Nelissen D., Lee D.S., Ng S., Agrawal A., Winebrake J. and Hoen M. «Third IMO GhG Study 2014», International Maritime Organization (IMO), London, UK, June 2014.

11. European Parliament and the Council of the European Union, Directive 2010/75 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), 2010.

12. European Committee for Standardization, EN 13284–1:2001 Stationary source emissions — determination of low range mass concentration of dust, 2002.

13. ISO 8178:2006, Reciprocating internal combustion engines — Exhaust emissions measurement, 2006.

14. M.H.M.G.C.R.B.D. Lack DA, «Characterizing elemental, equivalent black, and refractory black carbon aerosol particles: A review of techniques, their limitations and uncertainties», *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2013. Vol. 406, pp. 99–122.

15. Arnott W.P., Moosmoller H., Rogers C.F., Jin T., Bruch R. «Photoacoustic spectrometer for measuring light absorption by aerosol: Instrument description», *Atmospheric Environment*. 1999. Vol. 33, pp. 2845–2852.

16. Kondo Y., Sahu L., Moteki N., Khan F., Takegawa N., Liu X, et al. «Consistency and Traceability of Black Carbon Measurements Made by Laser-Induced Incandescence, Thermal-Optical Transmittance, and Filter-Based PhotoAbsorption Techniques», *Aerosol Science and Technology*. 2011. Vol. 45, pp. 295–312.

17. Slowik J.G., Cross E.S., Han J-H, Davidovits P., Onasch T.B., Jayne J.T., et al. «An Inter-Comparison of Instruments Measuring Black Carbon Content of Soot Particles», *Aerosol Science and Technology*. 2007. Vol. 41, pp. 295–314.

18. Andreae M.O., Gelencser A. «Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols», *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2006. Vol. 6, pp. 3131–3148.

19. Zhi G., Chen Y., Xue Z., Meng F., Cai J., Sheng G., et al. «Comparison of elemental and black carbon measurements during normal and heavy haze periods: implications for research», *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014. Vol. 186, pp. 6097–6106.

20. Sheridan P.J., Arnott W.P., Ogren J.A., Andrews E., Atkinson D.B., Covert D.S., et al. «The Reno Aerosol Optics Study: An Evaluation of Aerosol Absorption Measurement Methods», *Aerosol Science and Technology*. 2005. Vol. 39, pp. 116.

21. Snyder D.C., Schauer J.J. «An inter-comparison of two black carbon aerosol instruments and a semi-continuous elemental carbon instrument in the urban environment», *Aerosol Science and Technology*. 2007. Vol. 41, pp. 463–474.

22. Bond T.C., Doherty S.J., Fahey D.W., Forster P.M., Bernsten T., Deangelo B.J., et al. «Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment», *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. Vol. 118, pp. 5380–5552, 2013.

23. Hitzemberger R., Petzold A., Bauer H., Ctyroky P., Poursmaeil P., Laskus L., et al. «Intercomparison of thermal and optical measurement methods for elemental carbon and black carbon at an urban location», *Environmental Science and Technology*. Vol. 40, pp. 6377–6383, 2006.

24. Watson J.G., Chow J.C., Chen L.-W.A. «Summary of methods and comparison studies for organic and elemental carbon: Implications for visibility and global warming», *Regional and Global Perspectives on Haze*, pp. 679–716, 2004.

25. Birch M.E., Cary R.A. «Elemental Carbon-Based Method for Monitoring Occupational Exposures to Particulate Diesel Exhaust», *Aerosol Science and Technology*. Vol. 25, pp. 221–241, 1996.

26. Kelly F.J. and Fussell J.C. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter, *Atmospheric Environment*, 2012.

27. VDMA, Abgasgesetzgebung Diesel- und Gasmotoren, 2008.

28. Buchholz B. «Vorlesung Schiffsdieselmotoren», in *Universität Rostock, Lehrstuhl für Kolben- und Stromungsmaschinen*, Rostock, 2015.

29. «BVT-Merkblatt zu Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie», Berlin, 2003.

30. K.W.R.M. Dr. Holger Sinzenich, «Selektive katalytische Reduktion: Abgasnachbehandlung zur Verringerung von Stickoxidemissionen», 2014.

31. Muller L. «Characteristics and temporal evolution of particulate emissions from a ship diesel engine», *Applied Energy*. Vol. 1, pp. 1–32, 2015.

32. Donnet J.-B. Carbon Black, 2nd ed., Mulhouse: Marcel Dekker Inc., 1993.

33. Bockhorn. «Soot formation in Combustion, Round Table Discussion. Springer Verlag, Heidelberg», 1991.

34. Pischinger. «Soot Formation and Oxidation in Diesel engines», RWTH Aachen, pp. 1–10, 1993.

35. Rabe R. «Potenziale einer Voreinspritzung zur Steuerung der Verbrennung an schweroltauflughen Großdieselmotoren», Rostock, 2014.

36. Scarpete P.D.E.D. «Diesel-Water Emulsion, an Alternative Fuel to Reduce Diesel Engine Emissions. A Review», *Machines, Technologies, Materials*, № 7/2013, July 2013.

ЮБИЛЕЙ!



Валентину Иннокентьевичу Иовлеву 70 лет!

9 декабря 2018 года
исполнилось 70 лет

**Валентину Иннокентьевичу Иовлеву,
кандидату технических наук,
директору ООО «Турбоком»**

Валентин Иннокентьевич после окончания Ленинградского политехнического института в 1972 г. поступил на работу в отдел агрегатов наддува Центрального научно-исследовательского дизельного института (ЦНИДИ), где сформировались его профессиональные качества талантливого исследователя, организатора и исполнителя крупных научных проектов, связанных с развитием конструкций турбокомпрессоров для дизелей различного назначения.

Профессиональная деятельность В.И. Иовлева охватывала широкий круг вопросов, связанных с расчетами газодинамических процессов в проточных частях турбокомпрессоров, проектированием испытательных стендов, испытаниями турбин, исследованиями уплотнений, изобретательством и патентоведением.

В 1982 году он защитил кандидатскую диссертацию и вскоре возглавил отдел агрегатов наддува. После банкротства ЦНИДИ дальнейшее развитие научного потенциала и традиций коллектива Валентин Иннокентьевич продолжил в качестве директора созданного на базе отдела агрегатов наддува ООО «Турбоком».

В новых экономических условиях были продолжены исследования в области газовой и роторной динамики, вибропрочности элементов турбокомпрессоров и совместные работы с заводами-производителями дизелей по модернизации и ремонту турбокомпрессоров российского и иностранного производства, созданию турбокомпрессоров нового поколения.

*Коллектив ООО «Турбоком»
и редакция журнала «Двигателестроение»
поздравляют Валентина Иннокентьевича
с юбилеем и желают ему здоровья
и успехов в его научной
и производственной деятельности.*

УДК 621.43

Чайнов Н.Д., Краснокутский А.Н., Капшуков А.В. Методика расчета герметичности газового стыка форсированного среднеоборотного дизеля // Двигателестроение. — 2018. — № 4. — С. 3–7.

Ключевые слова: среднеоборотный дизель, элементы газового стыка, тепловое и напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, силовые шпильки, усилия затяжки, распределение давления в прокладке.

Представлена методика расчета герметичности газового стыка форсированного среднеоборотного дизеля при назначенной величине усилий предварительной затяжки силовых шпилек. В основу методики положен анализ теплового и напряженно-деформированного состояния элементов, образующих газовый стык, выполненный с применением объемных конечно-элементных моделей. Приведена оценка уровня напряжений в базовых деталях, формирующих газовый стык, и локального распределения давления по площади уплотняющей прокладки при различных усилиях затяжки силовых шпилек.

Ил. 6. Библ. 5.

УДК 621.43.056

Пацей П.С., Галышев Ю.В. Влияние формы камеры сгорания и выпускных каналов на показатели газового двигателя // Двигателестроение. — 2018. — № 4. — С. 8–12.

Ключевые слова: газовый двигатель, искровое зажигание, бедная газовая смесь, форма камеры сгорания, геометрия выпускных каналов, закрутка заряда, численное моделирование рабочего процесса.

Представлены результаты исследования влияния формы камеры сгорания и ориентации выпускных каналов на турбулизацию и закрутку заряда, скорость сгорания обедненной газо-воздушной смеси, значения индикаторных и экологических показателей газового двигателя. Выполнено математическое моделирование внутрицилиндровых процессов при сгорании газового топлива. Показано, что замена одного из двух штатных выпускных каналов на тангенциальный позволяет создать в камере сгорания вихревое движение, увеличить турбулентность и скорость горения обедненной газо-воздушной смеси, что обеспечивает повышение эффективного КПД. Моделирование процессов в камере сгорания выполнено с использованием программы Ansys Forte.

Табл. 1. Ил. 3. Библ. 25.

УДК 621.43

Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизельных двигателей применением биотоплива // Двигателестроение. — 2018. — № 4. — С. 13–17.

Ключевые слова: высокооборотные дизели, биотопливо, метанол, этанол, спирто-топливная эмульсия, этиловый эфир рапсового масла, снижение вредных выбросов с отработавшими газами.

Обоснованы и экспериментально подтверждены преимущества и эффективность применения биотоплива различного состава в целях снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами малоразмерных высокооборотных дизельных двигателей. Разработаны рецептуры оптимального состава спирто-топливных эмульсий на основе водного раствора метилового (МТЭ) и этилового (ЭТЭ) спиртов, а также топливной смеси из метанола и метилового эфира рапсового масла (МЭРМ). Показано, что работа двигателей размерности Ч11/12,5 и Ч10,5/12 на альтернативных биотопливах обеспечивает сокращение выбросов вредных веществ с отработавшими газами в следующих пределах: по NO_x — на 30–47 %, по CO — на 30–48 %, по дымности ОГ — в несколько раз. Снижение содержания углерода в составе альтернативных биотоплив обеспечивает сокращение выбросов углекислого газа (CO_2) более чем на 10 %.

Табл. 3. Ил. 4. Библ. 10.

УДК 55.42.03; 55.03.01

Задорожная Е.А., Маслов А.П., Левцов М.В. Методология формирования единого информационного пространства для создания силовых модулей на основе CALS/ИПИ технологий // Двигателестроение. — 2018. — № 4. — С. 18–23.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, единое информационное пространство, силовые модули и их элементы, технологии CALS / ИПИ, прогностическое моделирование.

Приведено описание методологии формирования единого информационного пространства для создания силовых модулей на основе поршневых ДВС. На примере оптимизации конструкции шатуна W-двигателя показано, что архитектура информационного пространства может быть использована для разработки и совершенствования конструкций различных типов двигателей с учетом конкретных производственных требований и условий эксплуатации на этапе проектирования. Внедрение информационной системы позволит значительно снизить стоимость производства новых продуктов, быстро реагировать на изменения рынка и потребности заказчиков, а также создавать конкурентоспособные силовые модули с широким участием отечественных специалистов. Ил. 8. Библ. 25.

УДК 621.436.12.13

Сорокин В.А. Проблемы реновации судовых ДВС // Двигателестроение. — 2018. — № 4. — С. 24–30.

Ключевые слова: судовые ДВС, объекты реновации, ресурсосбережение, восстановительный ремонт, вторичный жизненный цикл, утилизация.

Сформулированы основные положения и проблемы процессов реновации судовых ДВС и их элементов, не выработавших назначенный ресурс как формы их утилизации с частичным возвратом затраченных материальных и энергетических ресурсов при постройке судна. Рассмотрены основные этапы производственного процесса реновации судовых ДВС и их элементов как совокупности работ по восстановлению потребительских свойств объектов реновации для возможного их использования в новых жизненных циклах. Показано, что развитие процессов реновации позволяет экономить сырье, материалы, энергоресурсы, а также снижать негативное влияние на окружающую среду. Табл. 1. Библ. 11.

УДК 62-79

Нечаев В.В., Головкин К.В. Метод оценки технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя по величине давления газов в картере // Двигателестроение. — 2018. — № 4. — С. 31–34.

Ключевые слова: автомобильные ДВС, диагностирование, прокрутка коленчатого вала, цилиндропоршневая группа, неплотность сопряжений, давление газов в картере, браковочные критерии.

Выполнен анализ экспресс-методов технического диагностирования цилиндропоршневой группы поршневого двигателя, выявлены основные недостатки и пути их устранения. Приведено описание метода диагностирования состояния деталей цилиндропоршневой группы двигателя автомобильной техники при холодной холостой прокрутке коленчатого вала. Метод основан на измерении давления газа в картере неработающего двигателя, значение которого зависит от суммарной величины неплотностей в сопряжении зеркало цилиндра-поршневого кольца-поршень. На основании результатов апробации метода при диагностировании двигателей с различным ресурсом предложены значения браковочных критериев. Табл. 1. Ил. 2. Библ. 4.

УДК 355.673:621.182/621.18

Смирнов А.В., Бондарев А.В., Александров С.В. Экспериментальные исследования сжигания твердого топлива в комбинированных установках энергообеспечения с активными котлами-утилизаторами // Двигателестроение. — 2018. — № 4. — С. 35–39.

Ключевые слова: Дизель-генератор, отработавшие газы, утилизация тепла, активный котел-утилизатор, горение твердого топлива, высокотемпературный кипящий слой.

Выполнены экспериментальные исследования автономной комбинированной установки выработки электроэнергии дизель-генератором и тепла активным котлом-утилизатором, работающим на твердом топливе. Утилизация тепла отработавших газов дизеля осуществляется за счет их подачи в топку котла высокотемпературного кипящего слоя. Получены экспериментальные данные изменения коэффициента полезного действия котла, экономии твердого топлива, установлены предельные значения коэффициента избытка кислорода в зависимости от объема отработавших газов, подаваемых в топку котла-утилизатора. Сравнение теоретических и экспериментальных данных представлено в графической форме и демонстрирует хорошую сходимость. Ил. 12. Библ. 4.

УДК 621.43

Нормирование вредных выбросов судовыми двигателями. Состояние и перспективы. (материалы конгресса CIMAC-2016) // Двигателестроение. — 2018. — № 4. — С. 40–53.

Ключевые слова: Судовые дизели, зоны контроля выбросов, стандарт IMO Tier III, черный углерод, твердые частицы, методы измерения, перспективы нормирования

Дискуссии о целесообразности назначения в ближайшей перспективе новых зон контроля выбросов (ECA), где выбросы NO_x судовыми дизелями должны быть снижены на 80 %, не прекращаются на всех научных собраниях специалистов отрасли двигателестроения. Попытка глобального ввода в действие нормативов IMO Tier III пока не увенчалась успехом из-за инфраструктурной, технологической и организационной неготовности судостроителей, судоходных компаний и портов к эксплуатации и обслуживанию судов с двигателями, соответствующими этим требованиям. Анализ проблем судовладельцев при введении нормативов IMO Tier III в Балтийском и Северном морях с 01.01.2021 г., представлен в докладе компании «NSB Niederelbe Schiffahrtsgesellschaft mbH & Co. KG» (Германия).

Аналитический обзор, посвященный перспективам нормирования в зонах ECA выбросов черного углерода (BC), входящего в состав твердых частиц (PM), подготовлен объединенным классификационным обществом DNV & GL. Тематика дискуссий в комитете защиты морской среды IMO по данной проблеме включает вопросы выбора методов измерения выбросов PM/BC от судовых двигателей, а также разработку первоочередных мер по их сокращению. Ил. 7. Библ. 50.

UDC 621.43

Chainov N.D., Krasnokutsky A.N. and Kapshukov A.V. Analysis of a gas joint in a high-powered medium-speed diesel engine for leak-tightness // *Dvigatelistroyeniye*. — 2018. — № 4. — P. 3–7.

Keywords: Medium-speed diesel engine, gas joint components, mechanical and thermal stresses, finite element method, tie rods, pull-force, pressure distribution in a gasket.

A method is offered for analysis of a gas joint a high-powered medium-speed diesel engine for leak-tightness, when a known pull-force is exerted to the tie rods. The method in question is based on FEM analysis of mechanical and thermal stresses in gas joint components. Stress magnitudes in gas joint components are evaluated, as well as local pressure distribution in a gasket vs. tie rod pull-force. 6 ill., 5 ref.

UDC 621.43.056

Patsey P.S. and Galyshev Yu.V. Gas engine performance as a function of geometry of combustion chamber and outlet ducts // *Dvigatelistroyeniye*. — 2018. — № 4. — P. 8–12.

Keywords: gas engine, spark ignition, lean combustible mixture, combustion chamber geometry, outlet duct geometry, fuel charge swirl, numerical simulation of combustion process.

The authors investigated dependence of such parameters as charge turbulization & eddy formation, velocity of fuel/air mixture combustion, indicating and environmental performance of a gas engine on combustion chamber geometry and inlet duct orientation. Numerical simulation of combustion process was carried out. Then one of two inlet valves was replaced with tangential-type one, in order to induce swirls, increase flow turbulence and combustion velocity, which, in turn, results in higher fuel efficiency. Combustion process was simulated with Ansys Forte code.

1 table, 3 ill., 25 ref.

UDC 621.43

Likhanov V.A. and Lopatin O.P. Biofuel as a means to improve diesel engine performance // *Dvigatelistroyeniye*. — 2018. — № 4. — P. 13–17.

Keywords: high-speed diesel engine, biofuel, methanol, ethanol, spirit-fuel emulsion, rapeseed oil ether, improvement of emission performance.

Biofuel is shown as a means to substantially improve emission performance of a small high-speed diesel engine. The authors offered optimum compositions of spirit-fuel emulsions of ethyl and methyl alcohol, as well as those consisting of methanol and rapeseed oil methyl ether. As far as diesel engines D/S = 11/12,5 and D/S = 10,5/12 are concerned, change from conventional to alternative fuels results in emission reducing as follows: NO_x — by 30–47 %, CO — by 30–48 %, smoke (FSN) — several times as low. Due to lower carbon contents, using biofuel results in decrease in CO₂ emissions by more than 10% (as compared with conventional fuel). 3 tables, 4 ill., 10 ref.

UDC 55.42.03; 55.03.01

Zadorozhnaya E.A., Maslov A.P. and Levtsov M.V. Shaping of unified information space for the development of power modules, using CALS technologies // *Dvigatelistroyeniye*. — 2018. — № 4. — P. 18–23.

Keywords: reciprocating engine, unified information space, power units and their components, CALS technologies, predictive modelling.

A method is described of how to form unified information space for designing power units built around reciprocating engines. Optimization of W-engine connecting rod is taken as an example of CALC usage for diesel engine development, taking account of its application and manufacturing methods. CALC implementation allows to considerably reduce costs of new products, rapidly respond to market demand and customers' needs, and develop competitive power units. 8 ill., 25 ref.

UDC 621.436.12.13

Sorokin V.A. Renovation of marine diesel engines: issues // *Dvigatelistroyeniye*. — 2018. — № 4. — P. 24–30.

Keywords: marine diesel engines, candidates for renovation, resource saving, renewal, secondary life cycle, utilization.

Basic principles and problems are set forth of renovation of marine diesel engines and their components whose usefulness is not yet outlived, as a form of their utilization so as material and energy resources involved in their production would be partially re-covered. Main stages of renovation are considered as sequence of jobs targeted at recovery of consumer properties of items under renovation to an extent allowing their further operation in new life cycles. More extensive renovation is shown as a driver of energy & material saving and mitigation of environmental impact.

1 table, 11 ref.

UDC 62-79

Nechaev V.V. and Golovko K.V. Crankcase gas pressure as an indicator of sleeve assembly soundness // *Dvigatelistroyeniye*. — 2018. — № 4. — P. 31–34.

Keywords: automobile engine, diagnostics, cranking, sleeve assembly, leak-tightness, crankcase gas pressure, non-conformance criteria.

Rapid methods of sleeve assembly testing for leak-tightness are compared. The article is focused on the cranking method. The method is based on measurement of crankcase gas pressure during cranking, which pressure depends on gas leak rate through the clearance between sleeve and piston / piston ring. The method was tested on engines with different life cycles. Based on the test results, non-conformance criteria have been derived.

1 table, 2 ill., 4 ref.

UDC 355.673:621.182/621.18

Smirnov A.V., Bondarev A.V. and Alexandrov S.V. Experimental investigation of firing solid fuel in hybrid power plants featuring active waste heat boilers // *Dvigatelistroyeniye*. — 2018. — № 4. — P. 35–39.

Keywords: Diesel-generator, exhaust gas, heat recovery, active waste heat boiler, combustion of solid fuel, high-temperature fluidized bed.

The experiment was carried out on stand-alone combined-cycle power plant featuring diesel-generator and active waste heat boiler operating on solid fuel. Waste heat was recovered by feeding exhaust gas to high-temperature fluidized bed of a waste heat boiler. The test allowed to derive values of increase in boiler efficiency, solid fuel saving, and upper limit of excess oxygen ratio as a function of exhaust gas flowrate to the waste heat boiler. The test results largely agreed with respective calculated values.

12 ill., 4 ref.

UDC 621.43

Exhaust emissions from ships. Regulatory issues. Current situation and prospects. (based on CIMAC-2016 papers) // *Dvigatelistroyeniye*. — 2018. — № 4. — P. 40–53.

Keywords: Marine engines, controlled emission zones, IMO Tier III, black carbon, particulates, measurement methods, regulatory outlook

Appropriateness of expectable new controlled emission zones (ECA), where upper limit of NO_x emissions from ships should be decreased by 80%, remains to be one of the most arguable issues discussed by engine specialists.

Global coming into force of IMO Tier III requirements was not a success, because shipbuilders, ship owners and port authorities found themselves unready as yet to operate and serve ships powered by engines meeting the above requirements. Problems faced by ship owners when IMO Tier III entries into force for Baltic and Northern seas since 01.01.2021 are presented in paper prepared by Schiffahrtsgesellschaft GmbH & Co KG (Germany). A regulatory outlook for emissions of black carbon (BC), which is one of particulate matter (PM) compositions, is prepared by DNV & GL Classification Society. Subject matter of discussions in IMO Committee concerning this problem includes methods of measuring PM/BC emissions from ships and most urgent measures for their abatement.

7 ill., 50 ref.

Перечень статей, опубликованных в журнале «Двигателестроение» за 2018 год

РАСЧЕТЫ. КОНСТРУИРОВАНИЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. Румб В.К., Хоанг Ван Ты. Особенности расчета осевых колебаний судовых валопроводов (№ 1. С. 3–7).
2. Пономарев А.С., Метелев А.А., Абызов О.В., Елизаров К.Э., Давыдов А.А. Повышение технико-экономических показателей дизеля ЗМЗ-51432.10CRS за счет применения электронной системы управления отечественного производства (№ 1. С. 8–12).
3. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях — развитие научного направления в МГТУ им. Н.Э. Баумана (№ 1. С. 13–15).
4. Мягков Л.Л., Сивачев С.М., Стрижов Е.Е., Чирский С.П. Топологическая оптимизация поршня высокофорсированного дизеля (№ 2. С. 3–10).
5. Плескачевский Ю.Г., Дружинин П.В., Шерстнёв А.В. Бинарный рабочий цикл — новое техническое решение в ДВС (№ 2. С. 11–14).
6. Малозёмов А.А., Кукис В.С., Гимазетдинов Р.Р. Разработка математической модели и программного обеспечения для имитационного моделирования поршневых ДВС (№ 3. С. 3–9).
7. Чайнов Н.Д., Краснокутский А.Н., Капшуков А.В. Методика расчета герметичности газового стыка форсированного среднеоборотного дизеля (№ 4. С. 3–7).
8. Пацей П.С., Гальшев Ю.В. Влияние формы камеры сгорания и выпускных каналов на показатели газового двигателя (№ 4. С. 8–12).

СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЕЙ. АГРЕГАТЫ

1. Галиев Р.К., Гаффаров Г.Г., Гаффаров А.Г., Коваленко С.Ю. Обеспечение надежности газовых двигателей ПАО КамАЗ применением модернизированных турбокомпрессоров ТКР 7С-6 (№ 2. С. 15–19).
2. Циплёнкин Г.Е., Иовлев В.И. Повышение эффективности работы двигателя на низких нагрузках за счет оптимизации системы наддува (№ 2. С. 20–28).

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

1. Пунда А.С., Гурьев Ю.Г. Исследование рабочего процесса двухтактных двухтопливных судовых дизелей для крупнотоннажных морских судов (№ 2. С. 29–34).
2. Федянов Е.А., Левин Ю.В., Шумский С.Н., Захаров Е.А. Влияние добавок свободного водорода на экологические показатели роторно-поршневого двигателя (№ 2. С. 35–38).
3. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизельных двигателей применением биотоплива (№ 4. С. 13–17).

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Иванов Д.А., Зюкин В.С., Колосков А.А. Изменение механических свойств элементов конструкции авиационной техники под действием нестационарных дозвуковых воздушных потоков (№ 3. С. 10–13).

ИПИ-ТЕХНОЛОГИИ

1. Задорожная Е.А., Маслов А.П., Левцов М.В. Методология формирования единого информационного пространства для создания силовых модулей на основе CALS/ИПИ технологий (№ 4. С. 18–23).

ТОПЛИВО. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Плотников С.А., Зубакин А.С. Анализ процесса сгорания генераторного газа и его смеси с бензином в поршневом двигателе (№ 3. С. 14–18).

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. Иванов А.К., Гальшев Ю.В. Оценка влияния эксплуатационных факторов на эффективность работы нейтрализатора автомобильного бензинового двигателя (№ 1. С. 16–19).
2. Иванченко А.А., Ватолин Д.С. Опыт эксплуатации двухтопливных дизелей MAN L51/60DF (№ 1. С. 20–26).
3. Сорокин В.А. Проблемы реновации судовых ДВС (№ 4. С. 24–30).
4. Нечаев В.В., Головкин К.В. Метод оценки технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя по величине давления газов в картере (№ 4. С. 31–34).

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

1. Сайданов В.О., Ландграф И.К., Касаткин М.А. Энергетические установки на основе топливных элементов (окончание) (№ 1. С. 27–29).

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

1. Бондарев А.В., Морозов Б.И., Смолинский С.Н., Росляков Е.М. Сравнительная оценка эффективности капитальных вложений при модернизации систем теплоснабжения на основе теории производственных функций (№ 1. С. 30–33).
2. Смирнов А.В., Бондарев А.В., Александров С.В., Болбышев Э.В. Разработка дизельных теплоэлектростанций с активными котлами-утилизаторами высокотемпературного кипящего слоя (№ 3. С. 19–23).
3. Бондарев А.В., Болбышев Э.В., Смирнов А.В. Автоматизация угольных котлов малой мощности с топками высокотемпературного кипящего слоя и рециркуляцией дымовых газов (№ 3. С. 24–28).
4. Смирнов А.В., Бондарев А.В., Александров С.В. Экспериментальные исследования сжигания твердого топлива в комбинированных установках энергоснабжения с активными котлами-утилизаторами (№ 4. С. 35–39).

ГИПОТЕЗЫ И ДИСКУССИИ

1. Дунаев А.В., Пустовой И.Ф. Механизмы образования триботехнических покрытий при использовании геомодификаторов трения (№ 3. С. 29–34).

НОВОСТИ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

1. Развитие топливной аппаратуры для двухтопливных двигателей (материалы конгресса СИМАС-2016) (№ 1. С. 34–58).
2. Совершенствование подшипников скольжения в системе коленвала поршневого двигателя (материалы конгресса СИМАС-2016) (№ 2. — С. 39–52).
3. Новые технологии в двигателестроении (материалы конгресса СИМАС-2016) (№ 3. С. 35–54).
4. Нормирование вредных выбросов судовыми двигателями. Состояние и перспективы (материалы конгресса СИМАС-2016) (№ 4. С. 40–53).

КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ

1. Научно-практическая конференция «Современные теплоэнергетические установки — проблемы и перспективы развития». Конференция посвящена 115-летию со дня рождения профессора А.Н. Ложкина, основателя кафедры двигателей и тепловых установок. Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева. (№ 2. С. 38).
2. Всероссийский форум «Двигатель России». Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого Сессия «Развитие силовых установок для морского и речного транспорта» (№ 4. 2 стр. обложки).