МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

ИНСТИТУТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Кафедра «Локомотивы»

ВЫПУСКНАЯ АТТЕСТАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему: «Разработка мероприятий по снижению вредных выбросов тепловозов в эксплуатации»

Руководитель: _ Ф.И.О._____Подпись _____

Слушатель: Ф.И.О._____Подпись_____

Самара 2023

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ....2

ВВЕДЕНИЕ....5

1. ОЦЕНКА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЕПЛОВОЗОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ....7

1.1 Физико-химические основы образования и выделения токсичных веществ в отработавших газах двигателя тепловоза....7

1.2. Разработка методики расчета количества продуктов сгорания топлива в тепловозных дизелях по методу равновесного состава....12

Тепловоз является основным загрязнителем воздуха на железнодорожном транспорте. На его долю приходится не менее половины выбросов окислов азота всей отрасли и значительная часть выбросов сажи. В непосредственной близости от тепловоза предельно-допустимые концентрации (ПДК) по этим ингредиентам превышены в десятки раз и достигают допустимого значения на расстоянии 2,5–4 км, что значительно превышает требования к размерам санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятий, эксплуатирующих тепловозы. На территории Российской Федерации размещены более 120 локомотивных депо и других объектов железнодорожного транспорта, эксплуатирующих тепловозы. Практически на всех этих объектах имеются реостатные станции, предназначенные для испытаний и регулировки тепловозов....12

Во время проведения реостатных испытаний тепловоз работает под нагрузкой в течение длительного времени и выбрасывает непосредственно в атмосферу (без очистки) большое количество вредных веществ. Так, маневровый тепловоз за время испытаний выбрасывает в среднем в атмосферный воздух следующее количество загрязняющих веществ: оксидов азота 30–35 кг; диоксидов углерода 15–20 кг; сажи 2–4 кг; оксидов серы 5–7 кг. При этом концентрация вредных веществ вблизи работающего тепловоза превышает ПДК по оксидам азота в 60–80 раз, по саже в 4–6 раз. Для магистральных тепловозов вышеприведенные цифры значительно выше. Зачастую локомотивные депо располагаются в черте жилой застройки города, оказывая вредное воздействие на окружающую среду и здоровье людей. Часть реостатных станций локомотивных депо располагается в курортных зонах на СКЖД, где требования к качеству атмосферного воздуха значительно выше, чем для населенных мест……13

Следует отметить, что даже при соблюдении существующих технических нормативов выбросов тепловозами уровень фоновых концентраций ВВ в атмосферном воздухе значительно превышает значения установленных ПДК, в особенности по окислам азота и саже, что доказывает актуальность и необходимость проведения дальнейших организационно-технических разработок, направленных на снижение вредного воздействия транспортных средств на воздушный бассейн....13

Поэтому вопрос снижения выбросов вредных (загрязняющих) веществ тепловозными дизелями при их эксплуатации, а также во время реостатных испытаний на пунктах экологического контроля (ПЭК) является важнейшей задачей на железнодорожном транспорте. В последнее время данной проблеме, имеющей государственное значение, уделяется серьезное внимание[1]. 13

Задача снижения эксплуатационных расходов дизельного топлива с одновременным снижением выбросов вредных веществ тепловозными дизелями может быть решена только комплексом мероприятий, направленных на совершенствование конструкции дизеля, системы технического обслуживания и ремонта, повышение качества дизельного топлива и масла, а также применение

альтернативных видов топлив и многофункциональных присадок к топливу. Использование в промышленности и на транспорте альтернативных видов топлив и их добавок может решить многие проблемы глобального характера, а именно:.....14

проблему истощения природных ресурсов (ресурсосбережение);.....14

проблему сохранения озонового слоя (сокращение выбросов парниковых газов); • проблему смога в мегаполисах.....14

Таким образом, использование альтернативных и комбинированных видов топлив, а также добавок к топливу является одним из перспективных направлений улучшения энерго-экологических показателей дизелей локомотивов. Использование добавок к топливу, в том числе водородосодержащих газов, является достаточно перспективным, поскольку позволяет подавать небольшие количества добавок с незначительными изменениями конструкции дизеля[2]. Одним из путей повышения экономичности, снижения токсичности и дымности отработавших газов дизелей является использование водородосодержащих газов в качестве добавок к дизельному топливу.....14

В связи с этим встает необходимость выявить зависимость уровней выбросов вредных веществ от различных добавок водородосодержащих газов к дизельному топливу, а также от процентного соотношения добавки и основного топлива, т.е. дизельного топлива. Для этого была предложена и проверена на адекватность методика расчета количества продуктов сгорания дизельного топлива с добавками водородосодержащих газов, в основу которой положен метод равновесного состава[3], предполагающий равенство количества атомов одноименных элементов, вступающих в реакцию окисления, количеству атомов этих же элементов в конечных продуктах окисления.....14

Далее, в качестве примера, приведена методика расчета количества продуктов сгорания для смеси пропана и дизельного топлива. Для разработки методики было принято допущение, что содержание серы в топливе равно нулю, кроме того, было принято рассматривать 13 веществ, так как именно эти вещества являются основными продуктами сгорания. К ним относятся O, O2, O3, H, H2, OH, H2O, C, CO, CO2, N2, NO, NO2. Для определения содержания указанных веществ в продуктах сгорания используем три уравнения материального баланса.....15

αSC = αpSO;.....15

βp = SO/SN;.....15

γp = SC/SH; где SO, SN, SC, SH – число атомов соответствующего элемента. Выразив число атомов соответствующих элементов через парциальные давления, получаем:.....15

αp(PO + 2PO2 + 3PO3 + POH + PH2O+ PCO + +2PCO2 + PNO + 2PNO2) = = α(PC + PCO + PCO2); βp(PNO2 + 2PN2 + PNO) = PO + 2PO2 + 3PO3 + +POH + PCO + 2PCO2 + PNO + 2PNO2; γp(PH + 2PH2 + POH + 2PH2O) = PC + PCO + PCO2.....15

Для смеси пропана и дизельного топлива значения констант αp, βp, γp необходимо вывести из стехиометрического уравнения: xC + yH + zO +wN = nCO2 + mH2O + pN2, где x = n, y = 2m, z = 2n + m = 2x + y/2. Отсюда γp = x/y; αp = 1/(2+ 1/2γp).....15

Для пропана значения этих констант: γp = ηп0,375; αp = ηп0,3, где ηп – доля пропана в смеси с дизельным топливом. Для дизельного топлива значения этих констант: γp = ηд0,467; αp = ηд0,326, где ηд – доля дизельного топлива в смеси с пропаном. Значение константы βp для пропана и дизельного топлива остается неизменным: βp = 0, 266. Далее задается связь между полным давлением смеси и парциальными давлениями отдельных компонентов с помощью уравнения Дальтона: P = PO + PO2 + PO3 + POH + PH2O + PCO + PCO2 + + PNO + PNO2 + PH + PH2 + PC + PN2. После определения парциальных давлений продуктов сгорания (Pi, Па) и,

при условии постоянства температуры и объема смеси в дизеле в процессе сгорания,

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы охраны окружающей среды в последнее время выдвинулись в число важнейших, которые необходимо решить человечеству. Результаты специальных исследований, выполненных учеными разных стран, показали, что бездумное использование природных ресурсов, неограниченный сброс отходов создали опасность необратимых процессов в биосфере, а именно угрозу самой жизни человека.

Охрана окружающей среды в нашей стране возведена в ранг конституционной нормы. Кроме того, принят ряд специальных постановлений правительства по вопросам охраны природы как в целом, так и по отдельным регионам: бассейнам реки Волги и озера Байкал, Балтийского, Черного и Азовского морей, Арктического бассейна. Бесспорно, что каждое судно в отдельности и весь флот в целом всегда будут являться потенциальными источниками загрязнения водоемов, а так же атмосферного воздуха.

Большой вред окружающей среде наносят отработавшие газы дизелей, в которых содержатся сажа и компоненты неполного сгорания топлива. Все более острой становиться проблема - снижение вредных выбросов с отработавшими газами энергоустановок. Тенденция использования тяжелого топлива на водном транспорте привела к тому, что судовые двигатели внутреннего сгорания стали работать на топливах ухудшенного качества. Кроме прочих неблагоприятных показателей качества утяжеленных и тяжелых топлив нужно отметить повышенное содержание в них серы. Это значит, что в составе отработавших газов существенно повышается содержание серного и сернистого ангидрида, т. е. потенциальных кислотосодержащих продуктов, влияние которых резко отрицательно сказывается на окружающей среде [1].

Деятельность железнодорожного транспорта в наибольшей степени

отражается на атмосфере в районах, где в качестве подвижного состава используются тепловозы с дизельными силовыми установками. Из 87,1 тыс.км железных дорог России протяженность линий, на которых работают тепловозы составляет 47,8 тыс.км.

На маневровой работе занято до 45% эксплуатируемого парка локомотивов и 92% маневровой работы выполняется тепловозами.

Целью данной работы является разработка мероприятий по снижению вредных выбросов тепловозов в эксплуатации.

1. ОЦЕНКА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЕПЛОВОЗОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

1.1 Физико-химические основы образования и выделения токсичных веществ в отработавших газах двигателя тепловоза

Образование токсичных веществ - продуктов неполного сгорания и окислов азота в цилиндре двигателя происходит, в основном, двумя путями. Первая группа токсичных веществ связана с химическими реакциями окисления топлива, протекающими в процессе сгорания - расширения. Вторая группа токсичных веществ образуется при соединении азота и избыточного кислорода в продуктах сгорания .

Основными токсичными веществами - продуктами неполного сгорания - при использовании дизельного топлива среднего элементарного состава являются сажа, окись углерода, углеводороды, альдегиды. Содержание токсичных веществ в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Содержание токсичных веществ в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания, % по объему

Компонент	Бензиновый двигатель	Дизель
Азот	74...77	74...78
Кислород	0,3...10,0	2...18
Водяной пар	3,0...5,5	0,5...9,0
Углекислый газ (диоксид углерода)	5...12	1...12
Оксид углерода (угарный газ)	0,5...12,0	0,005...0,4
Оксиды азота	0,01...0,80	0,004...0,5
Углеводороды	0,2...3,0	0,009...0,3
Альдегиды	До 0,2	0,001...0,009
Сажа, г/м^3	До 0,004	0,01...1,1
Бснз(а)пирен, мкг/ м^3	До 25	До 10
Оксиды серы	До 0,008	0,002...0,02

Оксиды свинца	До 0,02	Отсутствуют

Примечание: в ОГ двигателей содержатся также: свинец, кремний, медь, кальций, цинк, фосфор, марганец, хром, натрий, барий, железо, никель и ряд других веществ, входящие в состав присадок смазочного масла либо являющиеся продуктами износа деталей двигателя, попадающие в КС вместе с маслом.

Рассмотрим подробнее механизмы образования тех из веществ, содержание которых в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания нормируется или предполагается нормировать в будущем.

Сажа. При сгорании углеводородных топлив в различных горелках и двигателях внутреннего сгорания в отработавших газах может содержаться твердый углеродный продукт в дисперсном состоянии (сажа). Другие твердые углеродистые соединения (пироуглерод и нитевидный углерод) обычно в отработавших газах не содержатся, так как образование их происходит на твердых поверхностях.

Частица сажи это агломерат пакетов (кристаллитов), которые, в свою очередь, состоят из набора отдельных сеток (пластинок) графитовых шестиугольников. Кроме углерода сажа содержит 13% по массе (т. е. 10 30% по числу атомов) водорода, который может быть химически или физически связан с углеродом.

Образование сажи представляет собой объемный процесс термического разложения (пиролиза) углеводородов в газовой (паровой) фазе в условиях сильного недостатка (отсутствия) окислителя (кислорода).

Образование сажи в дизелях может происходить также при попадании струй топлива на сравнительно холодные стенки цилиндра.

Моноксид углерода CO. В двигателях внутреннего сгорания образование окиси углерода может происходить в ходе холоднопламенных реакций, при сгорании топливовоздушных смесей с некоторым недостатком кислорода, а также вследствие диссоциации двуокиси углерода,

происходящей при высоких температурах (более 2000 К). В процессе последующего сгорания и расширении при наличии кислорода возможно горение окиси углерода. Оно происходит по цепному механизму, который установлен на основе работ советских ученых (Я. Б. Зельдовича, Н. Н. Семенова, В. Н. Кондратьева) и который может быть представлен следующими элементарными стадиями.

Зарождение цепей

$H_2O + CO = H_2 + CO_2$; (2)

$H_2 + O_2 = 2OH$. (3)

Продолжение цепей

$OH + CO = C0_2 + H$. (4)

Разветвление цепей

$H + O_2 = OH + O$; (5)

$O + H_2 = OH + H$. (6)

Обрыв цепей на стенках

$2H +$ стенки $= H_2$. (7)

Обрыв цепей в объеме

$CO + O = CO_2$. (8)

Скорость процесса определяет наиболее медленная реакция (4). Таким образом, окисление CO зависит от концентрации водорода и гидроксила в продуктах сгорания.

В дизелях, работающих при $\alpha > 1$, вероятность указанных превращений во фронте пламени мала и в отработавших газах содержится меньше CO, но в цилиндрах находятся дополнительные источники его появления:

низкотемпературные участки пламени стадии воспламенения топлива;

капли топлива, поступающие в камеру на поздних стадиях впрыска и сгорающие в диффузионном пламени при недостатке кислорода;

частицы сажи, образовавшейся в период распространения турбулентного пламени по гетерогенному заряду, в котором при общем избытке кислорода могут создаваться зоны с его дефицитом и осуществляться реакции типа

$2C+O_2 \rightarrow 2CO$ (9)

Величина выбросов CO_2 зависит от физико-химических и теплофизических свойств топлив и их расхода. При использовании в качестве автомобильного топлива водорода в продуктах сгорания CO_2 отсутствует.

Оксиды азота NO_X представляют набор следующих соединений: N_2O, NO, N_2O_3, NO_2, N_2O_4 и N_2O_5. Преобладает NO (99% в бензиновых двигателях и более 90% в дизелях).

В камере сгорания NO может образовываться:

1) при высокотемпературном окислении азота воздуха (термический NO);
2) в результате низкотемпературного окисления азотсодержащих соединений топлива (топливный NO);
3) из-за столкновения углеводородных радикалов с молекулами азота в зоне реакций горения при наличии пульсаций температуры (быстрый NO).

В процессе сгорания топлив окислы азота (практически лишь окись NO) образуются в результате реакций окисления азота кислородом воздуха. В реакции образования NO может участвовать как азот, содержащийся в топливе, так и азот атмосферного воздуха.

В нефтепродуктах содержится до 5% азотистых соединений (0,3—0,6% по весу чистого азота). Основными азотосодержащими компонентами твердого и жидкого топлив являются пиридин и его производные. Азот топлива легче вступает в реакцию окисления, чем атмосферный азот.

Предполагаемый механизм образования NO из топливного азота

$I+R+NO+\ldots$; (13)

$I+NO \rightarrow N_2+\ldots$; (14)

где R — компоненты, не содержащие азота.

Возможно, что I представляет собой NH_2, а R — это OH.

При содержании в топливе азота в количестве 1,4% от веса было зафиксировано в процессе сгорания увеличение выделения NO примерно в 10 раз.

Ряд исследований, выполненных на лабораторных установках с добавкой к топливу азотосодержащих соединений (пиридина, аммиака и др.), показал, что количество образовавшихся окислов азота не зависит от типа азотосодержащего компонента и определяется содержанием чистого азота в топливе.

Установлено также, что степень окисления азота топлива зависит от его концентрации в топливе и от вида пламени. Так, например, при α=1,1 в предварительно перемешанном пламени метана в воздухе и добавке аммиака от 1 до 9,3% степень превращения NH_3 в NO уменьшается с 95 до 63%. В диффузионном пламени NO образуется в 2—3 раза меньше, чем в предварительно перемешанном.

В пламени при сжигании азотосодержащих топлив были зафиксированы концентрации окислов азота, значительно превышающие равновесные:

$$N_2 + O_2 \leftrightarrows 2NO. \quad (15)$$

Это можно объяснить тем, что механизм образования NO включает также реакции (13). (14), поэтому невозможно сравнивать действительные концентрации NO с равновесными по уравнению (15), которое справедливо только для образования NO в зоне продуктов сгорания из атмосферного азота.

Исследования Р. А. Липштейна показывают, что при перегонке нефти азотистые соединения остаются в тяжелых фракциях. Фракции с температурой перегонки до 350°С содержат не более 4% всего азота, находящегося в нефти. Поэтому для дизельных топлив, а тем более бензинов, получаемых из нефти, можно не учитывать при анализе образования NO реакции с топливным азотом.

Однако для используемых в тихоходных дизелях моторных топлив (ДТ-1, ДТ-2, ДТ-3), у которых только 15% составляющих топлив перегоняется до температуры 250°С, а также для мазутов нельзя пренебрегать содержанием топливного азота.

В дизелях альдегиды образуются в период предпламенных реакций, протекающих в период подготовки топливовоздушной смеси к сгоранию, когда процесс окисления протекает при низких температурах (их называют также холодным пламенем). Альдегиды и пероксиды (перекиси) являются типичными продуктами этих реакций. При образовании альдегидов выделяется тепло. В процессе самовоспламенения топлива они активной роли не играют. Как в дизелях, так и в двигателях с искровым зажиганием могут образоваться альдегиды, если часть процесса сгорания протекает при низких температурах, что наблюдается при охлаждении горящей смеси сравнительно холодными поверхностями, ограничивающими камеру сгорания, или при сгорании очень обедненной смеси, характерной для малых нагрузок у дизеля, или сгорание последней порции топлива в бензиновых двигателях, или в конце процесса сгорания в двигателях с послойным смесеобразованием. В процессе сгорания, происходящем при высоких температурах, альдегиды могут сгорать.

В настоящее время широкое применение в настоящее время нашли нейтрализаторы. Они бывают разных видов и различаются по назначению, конструкции и механизмам действия.

1.2. Разработка методики расчета количества продуктов сгорания топлива в тепловозных дизелях по методу равновесного состава

Тепловоз является основным загрязнителем воздуха на железнодорожном транспорте. На его долю приходится не менее половины выбросов окислов азота всей отрасли и значительная часть выбросов сажи. В непосредственной близости от тепловоза предельно-допустимые концентрации (ПДК) по этим ингредиентам превышены в десятки раз и достигают допустимого значения на расстоянии 2,5–4 км, что значительно превышает требования к размерам санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятий, эксплуатирующих тепловозы. На территории Российской

Федерации размещены более 120 локомотивных депо и других объектов железнодорожного транспорта, эксплуатирующих тепловозы. Практически на всех этих объектах имеются реостатные станции, предназначенные для испытаний и регулировки тепловозов.

Во время проведения реостатных испытаний тепловоз работает под нагрузкой в течение длительного времени и выбрасывает непосредственно в атмосферу (без очистки) большое количество вредных веществ. Так, маневровый тепловоз за время испытаний выбрасывает в среднем в атмосферный воздух следующее количество загрязняющих веществ: оксидов азота 30–35 кг; диоксидов углерода 15–20 кг; сажи 2–4 кг; оксидов серы 5–7 кг. При этом концентрация вредных веществ вблизи работающего тепловоза превышает ПДК по оксидам азота в 60–80 раз, по саже в 4–6 раз. Для магистральных тепловозов вышеприведенные цифры значительно выше. Зачастую локомотивные депо располагаются в черте жилой застройки города, оказывая вредное воздействие на окружающую среду и здоровье людей. Часть реостатных станций локомотивных депо располагается в курортных зонах на СКЖД, где требования к качеству атмосферного воздуха значительно выше, чем для населенных мест.

Следует отметить, что даже при соблюдении существующих технических нормативов выбросов тепловозами уровень фоновых концентраций ВВ в атмосферном воздухе значительно превышает значения установленных ПДК, в особенности по окислам азота и саже, что доказывает актуальность и необходимость проведения дальнейших организационно-технических разработок, направленных на снижение вредного воздействия транспортных средств на воздушный бассейн.

Поэтому вопрос снижения выбросов вредных (загрязняющих) веществ тепловозными дизелями при их эксплуатации, а также во время реостатных испытаний на пунктах экологического контроля (ПЭК) является важнейшей задачей на железнодорожном транспорте. В последнее время данной

проблеме, имеющей государственное значение, уделяется серьезное внимание[1].

Задача снижения эксплуатационных расходов дизельного топлива с одновременным снижением выбросов вредных веществ тепловозными дизелями может быть решена только комплексом мероприятий, направленных на совершенствование конструкции дизеля, системы технического обслуживания и ремонта, повышение качества дизельного топлива и масла, а также применение альтернативных видов топлив и многофункциональных присадок к топливу. Использование в промышленности и на транспорте альтернативных видов топлив и их добавок может решить многие проблемы глобального характера, а именно:

проблему истощения природных ресурсов (ресурсосбережение);

проблему сохранения озонового слоя (сокращение выбросов парниковых газов); • проблему смога в мегаполисах.

Таким образом, использование альтернативных и комбинированных видов топлив, а также добавок к топливу является одним из перспективных направлений улучшения энерго-экологических показателей дизелей локомотивов. Использование добавок к топливу, в том числе водородосодержащих газов, является достаточно перспективным, поскольку позволяет подавать небольшие количества добавок с незначительными изменениями конструкции дизеля[2]. Одним из путей повышения экономичности, снижения токсичности и дымности отработавших газов дизелей является использование водородосодержащих газов в качестве добавок к дизельному топливу.

В связи с этим встает необходимость выявить зависимость уровней выбросов вредных веществ от различных добавок водородосодержащих газов к дизельному топливу, а также от процентного соотношения добавки и основного топлива, т.е. дизельного топлива. Для этого была предложена и проверена на адекватность методика расчета количества продуктов сгорания дизельного топлива с добавками водородосодержащих газов, в основу

которой положен метод равновесного состава[3], предполагающий равенство количества атомов одноименных элементов, вступающих в реакцию окисления, количеству атомов этих же элементов в конечных продуктах окисления.

Далее, в качестве примера, приведена методика расчета количества продуктов сгорания для смеси пропана и дизельного топлива. Для разработки методики было принято допущение, что содержание серы в топливе равно нулю, кроме того, было принято рассматривать 13 веществ, так как именно эти вещества являются основными продуктами сгорания. К ним относятся O, O2, O3, H, H2, OH, H2O, C, CO, CO2, N2, NO, NO2. Для определения содержания указанных веществ в продуктах сгорания используем три уравнения материального баланса.

αSC = αpSO;

βp = SO/SN;

γp = SC/SH; где SO, SN, SC, SH – число атомов соответствующего элемента. Выразив число атомов соответствующих элементов через парциальные давления, получаем:

αp(PO + 2PO2 + 3PO3 + POH + PH2O+ PCO + +2PCO2 + PNO + 2PNO2) = = α(PC + PCO + PCO2); βp(PNO2 + 2PN2 + PNO) = PO + 2PO2 + 3PO3 + +POH + PCO + 2PCO2 + PNO + 2PNO2; γp(PH + 2PH2 + POH + 2PH2O) = PC + PCO + PCO2.

Для смеси пропана и дизельного топлива значения констант αp, βp, γp необходимо вывести из стехиометрического уравнения: xC + yH + zO +wN = nCO2 + mH2O + pN2, где x = n, y = 2m, z = 2n + m = 2x + y/2. Отсюда γp = x/y; αp = 1/(2+ 1/2γp).

Для пропана значения этих констант: γp = ηп0,375; αp = ηп0,3, где ηп – доля пропана в смеси с дизельным топливом. Для дизельного топлива значения этих констант: γp = ηд0,467; αp = ηд0,326, где ηд – доля дизельного топлива в смеси с пропаном. Значение константы βp для пропана и дизельного топлива остается неизменным: βp = 0, 266. Далее задается связь

между полным давлением смеси и парциальными давлениями отдельных компонентов с помощью уравнения Дальтона: P = PO + PO2 + PO3 + POH + PH2O + PCO + PCO2 + + PNO + PNO2 + PH + PH2 + PC + PN2. После определения парциальных давлений продуктов сгорания (Pi, Па) и, при условии постоянства температуры и объема смеси в дизеле в процессе сгорания, определяется относительный объем каждого компонента смеси, Па: Pi = PVi/Vn.c., где Vn.c – объем продуктов сгорания, соответствующий концу видимого сгорания, $м^3$; Vi – объем, занимаемый i-м продуктом сгорания, $м^3$; P – давление смеси продуктов сгорания, соответствующее максимальному давлению сгорания, Па. Масса продуктов сгорания определяется по уравнению состояния газов: Pi Vn.c = miRT/μi, где mi – масса i-го продукта сгорания, кг; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К); μi – молярная масса i-го продукта сгорания, кг/моль. Рассмотренная выше методика расчета равновесного состава продуктов сгорания может быть применена для анализа образующихся токсичных веществ при сгорании в цилиндре дизеля дизельного топлива с добавкой пропана. Также данная методика позволяет вести расчет при варьировании количества пропана. При расчете продуктов сгорания дизельного топлива с добавками других водородосодержащих газов значения константαр, βр, γр необходимо вывести из стехиометрического уравнения соответствующего вещества, которое используется в качестве добавки.

С целью проверки адекватности разработанной методики был произведен сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных на пункте экологического контроля (ПЭК) по приборам газового контроля (IMR-1400) с результатами численных экспериментов по предложенной методике. В качестве экспериментальных данных были взяты результаты замеров уровней выбросов вредных веществ (CO, NOx) 59 тепловозов ЧМЭ3 в локомотивном депо Самара. После обработки данных с помощью программы Statistica были получены средние значения уровней выбросов вредных веществ. Как показали результаты сравнения, наблюдается

удовлетворительная погрешность 15 %[4], на основании чего можно сделать вывод о возможности применения предложенной методики для расчетно-теоретического анализа влияния различных добавок водородосодержащих газов к дизельному топливу на уровни выбросов вредных веществ дизелей тепловозов.

1.3. Влияние параметров рабочего процесса дизеля на количество вредных выбросов в отработавших газах двигателя тепловоза

Одними из основных задач для железнодорожного транспорта являются уменьшение потребления дизельного топлива тепловозами на тягу поездов и маневровую работу, следовательно, улучшение экологических показателей тепловозов в соответствии с требованиями международных норм и стандартов.

На железнодорожном транспорте потребляется большое количество жидкого, твердого и газообразного топлива. Топливо на железнодорожном транспорте расходуется в основном на работу локомотивов. Расход топлива тепловозами зависит от большого количества факторов. Условно их можно разделить на конструктивные и эксплуатационные. К первым можно отнести расходные характеристики дизеля, степень отбора мощности на привод вспомогательных агрегатов, уровень потерь в электрической передаче тепловоза и др.; к эксплуатационным факторам — профиль и план пути, массу поездов и их удельное сопротивление движению, способ управления движением, климатические условия, определяющие режимы работы тепловоза. К эксплуатационным факторам следует также отнести качество и цикличность технического обслуживания и ремонта, от которых зависит стабильность расходных характеристик. Для топливной экономичности тепловозов имеет большое значение соответствие конструктивных факторов условиям эксплуатации [4].

Важным источником экономии топлива является повышение

экономичности силовых установок за счет применения более совершенных конструкций дизелей, а именно:

1. Загрузка вагонов наиболее отчетливо влияние загрузки вагонов, т. е. нагрузки на ось вагона, на расход топлива обнаруживается при постоянном весе поезда. Чем меньше загружен вагон, тем более значительно возрастает расход топлива. Такая зависимость объясняется тем, что уменьшение нагрузки на ось вагона сопровождается увеличением его удельного сопротивления.

2. Трудность пути подъемы, уклоны и кривые изменяют полное удельное сопротивление вагонов и тепловоза. Поэтому расход топлива на измеритель существенно зависит от трудности пути в плане и профиле. Во время движения поезда в кривых участках пути возникают силы трения, поэтому увеличивается удельное сопротивление поезда: чем меньше радиус кривой, тем больше удельное сопротивление.

3. Климатические условия температура наружного воздуха, скорость и направление ветра по-разному сказываются на работе тепловоза и движении поезда. Понижение температуры в интервале не ниже минус 15—20^{0}С приводит к увеличению КПД тепловоза. Это проявляется в том, что при одном и том же расходе топлива увеличивается мощность тепловоза. При понижении температуры наружного воздуха увеличивается доля холостой работы дизеля на стоянках из-за необходимости поддерживать температуру воды и масла дизеля. Вследствие этого будет возрастать коэффициент, учитывающий влияние холостой работы дизеля на расход топлива, что вызывает увеличение расхода топлива. Особенно заметное влияние на расход топлива при понижении наружной температуры оказывает сопротивление поезда. В зимнее время сопротивление возрастает за счет увеличения вязкости смазки в буксах. Повышение скорости ветра, особенно когда он направлен в бок поезда, вызывает значительное возрастание сопротивления поезда и увеличение расхода топлива.

Таким образом, наружная температура оказывает влияние на ряд

показателей в работе тепловоза, которые действуют на расход топлива по-разному [2].

Проблемы нормирования расхода топлива и снижения загрязнения атмосферы вредными выбросами тепловозных дизелей тесно взаимосвязаны. Поэтому совершенствование рабочего процесса дизеля для более полного сгорания топлива позволяет снизить выброс сажи в окружающую среду и одновременно уменьшить расход топлива на выполнение одинаковых процессов работы. В то же время увеличение температуры сгорания топлива вызывает повышение выбросов вредных окислов азота. Причинами повышенной токсичности и повышенного расхода топлива дизельных двигателей являются низкое качество топлива; нарушение работы системы топливоподачи (слишком низкий коэффициент избытка воздуха, неравномерная подача топлива по цилиндрам, смещение фаз впрыска, межцикловая неравномерность подачи топлива); повышенный расход масла на угар из-за износа деталей цилиндропоршневой группы.

Повышенная токсичность дизелей определяется следующими факторами:

1. Низкая эффективность каталитических нейтрализаторов. Это связано с тем, что степень сжатия, следовательно, и степень расширения дизелей значительно выше. Поэтому температура отработавших газов недостаточна для эффективной работы нейтрализаторов. В связи с этим не удается добиться снижения выброса оксидов азота, которые в несколько десятков раз более токсичны, чем окись углерода (CO).

2. Повышенный выброс на некоторых режимах, особенно во время прогрева, продуктов неполного сгорания с характерным неприятным запахом.

3. Частицы сажи являются носителями канцерогенов. Попадая в дыхательные пути, они вызывают раковые опухоли. Из-за того, что ни в одной из стран до сих пор нет быстродействующих газоанализаторов, нет и возможности нормировать их выброс.

Основным источником загрязнения атмосферы являются отработавшие газы дизелей тепловозов. Так при работе магистральных тепловозов в атмосферу выделяются отработавшие газы, по составу аналогичные выхлопам автомобильных дизелей. Одна секция тепловоза выбрасывает в атмосферу за час работы приблизительно 28 кг оксида углерода, 17,5 кг оксидов азота, до 2 кг сажи [3]. Но тепловозные дизели при поездной работе имеют более стабильный режим нагрузок, так как регулирование скорости производится с помощью электротрансмиссии, а дизель работает с малыми отклонениями частот вращения. В связи с этим выделение загрязняющих веществ значительно сокращается. Вместе с тем, маневровые тепловозы работают в переменных режимах с частыми троганиями, ускорениями и торможениями. В этом случае выброс отработавших газов значительно возрастает.

Одним из радикальных методов снижения загрязнения атмосферы является нормирование эмиссии загрязнителей и организация регулярного контроля за соблюдением установленных норм. Нормированию и сокращению вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания подлежат лишь основные

составляющие, к которым относятся окись углерода (CO), окислы азота (NO) и дополнительно углеводороды (CH).

Количество отработавших газов локомотива за час работы определяется по формуле [1]:

$$M_{Zi} = 14{,}3 b_{ei} N_{ei} \alpha_i , \quad (1)$$

где 14,3 теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг дизельного топлива;

b_{ei} удельный расход топлива тепловозом на соответствующей позиции контроллера машиниста, кг/кВт ч;

N_{ei} мощность дизеля на соответствующей позиции

α_i коэффициент избытка воздуха.

В настоящее время проблемам экологической безопасности уделяется

больше внимания на международном, государственном и местных уровнях. Но медленное претворение в жизнь необходимых для улучшения ситуации мер, продолжение вредной деятельности и зачастую недостаточное финансирование для обновления износившегося оборудования, всё это, к сожалению, указывает на то, что в ближайшее время нереально ожидать значительных улучшений.

1.4. Разработка методики оценки параметров рабочего процесса серийного дизеля с учетом угла опережения подачи топлива

Основными параметрами топливоподачи, которые оказывают наибольшее существенное влияние на рабочий процесс дизеля, являются: качество распыливания топлива, характеристика впрыскивания, способ смесеобразования и т. д. Однако для организации рабочего процесса крайне важными являются не только количественные и качественные показатели процесса топливоподачи, но и привязка процесса топливоподачи к положению поршня в рабочем цилиндре двигателя на такте сжатия.

Существенное влияние на весь процесс сгорания топлива в рабочем цилиндре оказывает начальный этап поступления топлива в камеру сгорания до его воспламенения и сгорания. Этот период получил название периода задержки самовоспламенения топлива τ.

На развернутой индикаторной диаграмме рабочего процесса дизеля (рис. 5.20) продолжительность этого периода определяется как угловой промежуток от момента поступления первых порций топлива в рабочий цилиндр (точка 1) и до момента отрыва линии сгорания от линии сжатия (точка 2). Под линией сжатия подразумевается кривая изменения давления в рабочем цилиндре при отсутствии подачи топлива, под линией сгорания кривая изменения давления при сгорании топлива.

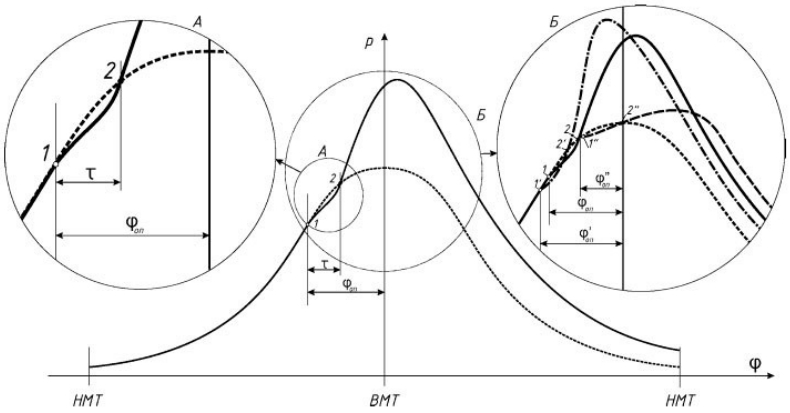


Рис.1.1. Период задержки самовоспламенения и его влияния на рабочий процесс двигателя

На протяжении периода задержки самовоспламенения протекает ряд последовательно-параллельных физико-химических процессов, получивших название предпламенных.

При попадании в рабочий цилиндр первых порций топлива часть теплоты заряда расходуется на их прогрев и испарение. В результате температура и давление в цилиндре несколько снижаются, кривая сгорания идет ниже кривой сжатия (позиция А на рис. 1.1).

По мере испарения топлива начинаются химические реакции образования первичных комплексов, получивших название предпламенных реакций. Эти реакции могут носить как экзо-, так и эндотермический характер. Только после накопления в камере сгорания продуктов первичных реакций начинается их взаимодействие с кислородом воздуха, носящее, как правило, цепной характер и сопровождающиеся выделением большого количества тепла. Повышение температуры заряда приводит к повышению давления, в результате чего кривая сгорания пересекает кривую сжатия, что и соответствует моменту окончания периода задержки самовоспламенения.

Продолжительность периода задержки самовоспламенения в основном определяется температурой заряда на момент впрыска топлива, свойствами самого топлива, качеством его распыливания. Последнее в значительной степени зависит от показателей работы топливной аппаратуры.

Для получения заданного характера изменения давления в рабочем цилиндре нужно учитывать время, необходимое на предпламенные процессы. Для этого момент начала подачи топлива устанавливают раньше теоретически определенного момента начала тепловыделения на величину задержки самовоспламенения. На практике влияние периода задержки самовоспламенения на рабочий процесс учитывается путем установки угла опережения подачи $\varphi_{оп}$.

С увеличением $\varphi_{оп}$ топливо в цилиндр впрыскивается раньше (точка 1` на рис. 5.22), что приводит к его более раннему воспламенению. В результате большее количество теплоты выделяется еще до прихода поршня в ВМТ, что приводит к более резкому возрастанию давления и росту его максимального значения. Рабочий процесс становится более динамичным и более жестким. С дальнейшим увеличением угла опережения такая тенденция будет ослабевать, так как топливо будет впрыскиваться в среду с более низкой температурой и давлением, а это приведет к увеличению периода задержки самовоспламенения.

С увеличением $\varphi_{оп}$ экономичность дизеля сначала возрастает, так как некоторое увеличение работы сжатия до ВМТ с избытком компенсируется повышением термического КПД цикла вследствие подвода теплоты к рабочему телу при более высокой температуре. При больших значениях угла $\varphi_{оп}$ работа сжатия существенно возрастает и становится больше, чем выигрыш в термическом КПД, поэтому экономичность дизеля падает.

С уменьшением угла $\varphi_{оп}$, особенно до значений, соответствующих началу сгорания топлива после ВМТ (точка 1` на рис. 1.2), происходит снижение механической напряженности двигателя, но одновременно снижается и его экономичность. Сгорание основной порции топлива смещается на линию расширения, что повышает температуру отработавших газов и теплонапряженность деталей цилиндропоршневой группы.

Очевидно, что угол опережения впрыска должен увеличиваться с повышением оборотов двигателя, чтобы обеспечить необходимый временной

промежуток на протекание предпламенных процессов. Кроме того, изменение нагрузки на двигатель, давление наддува, внешних условий, сорта топлива могут потребовать корректировки угла опережения подачи топлива.

Угол опережения является важным параметром воздействия на показатели рабочего процесса, экономичность двигателя, его экологические показатели. В этой связи основная масса топливных систем современных судовых дизелей оборудуются устройствами для автоматического изменения данного параметра в зависимости от режима работы двигателя. Устройство таких систем нами было рассмотрено в предыдущих разделах. Следует отметить, что наиболее полно реализовать принцип выбора оптимального угла опережения удается только в системах с электронным управлением топливоподачей.

В ряде современных высоко- и среднеоборотных дизелей предусмотрено изменение характера протекания рабочего процесса в зависимости от нагрузочно-скоростного режима. В частности, переход с классического цикла со смешанным подводом теплоты на режимах малых и средних нагрузок на цикл Миллера на режимах нагрузок, близких к максимальным.

Такой переход сопровождается одновременным изменением фаз газораспределения и топливоподачи. На рисунке 5.23 представлен вариант технического решения, позволяющего осуществлять такой переход, который разработан фирмой MaK и реализован в двигателях серий M 20–M 43.

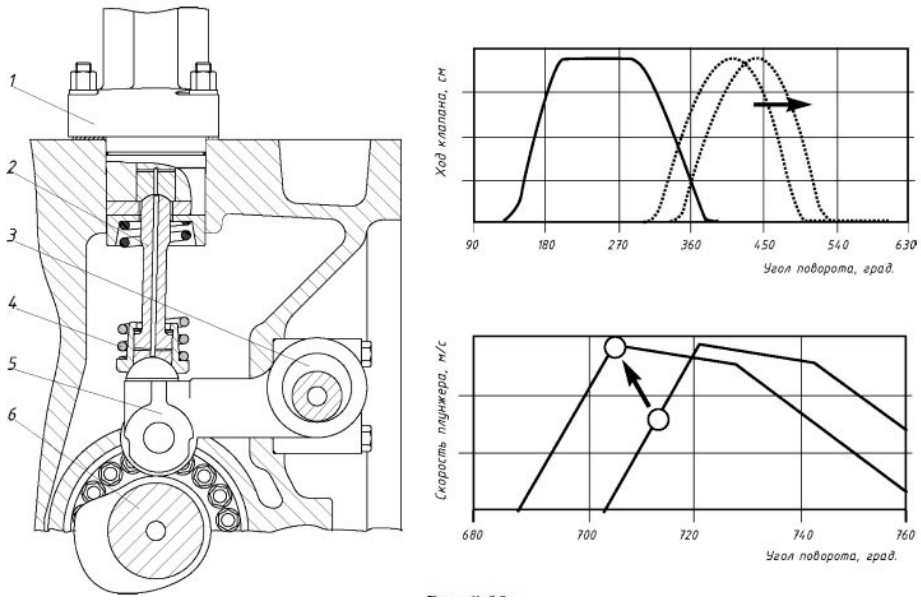


Рис.1.2. Механизм угла опережения впрыска и фаз газораспределения двигателя

Принцип работы устройства основан на изменении положения ролика рычажного толкателя относительно кулачковой шайбы распределительного вала. Для этого ось рычага закреплена эксцентрично на валу, который имеет возможность проворачиваться на угол, близкий к 180°. В результате толкатель совершает поступательное движение, изменяя угол опережения подачи топлива и углы начала открытия и закрытия впускного клапана.

Привод эксцентричных валов роликовых толкателей осуществляется от пневматического серводвигателя через систему шестерен. Предусмотрен также и ручной перевод двигателя с одного режима на другой.

Изменение угла опережения в данной конструкции позволяет не только обеспечить оптимальный закон тепловыделения на режиме максимальной мощности, но и улучшить условия распыливания топлива при снижении нагрузки за счет смещения начала впрыска на более скоростной участок подъема плунжера.

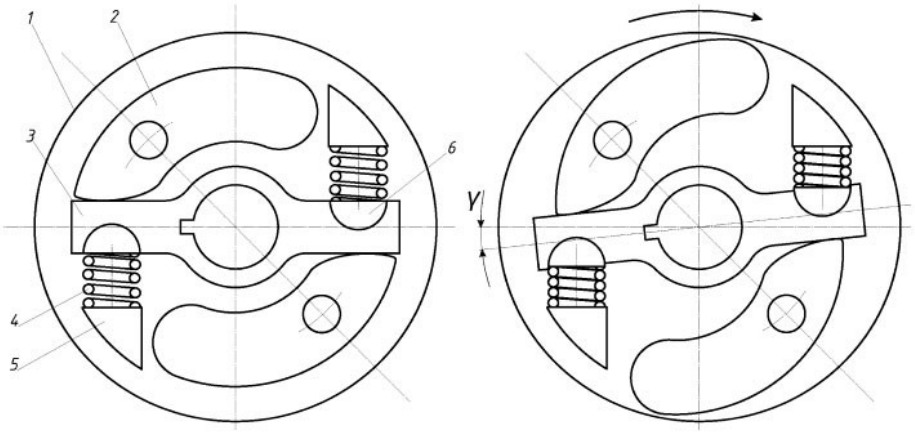


Рис.1.3. Центробежная муфта изменения угла опережения впрыска

На высокооборотных двигателях, которые работают на разных скоростных режимах, находят применение автоматические муфты опережения впрыска центробежного типа. Они предназначены для автоматического изменения угла опережения впрыска топлива при изменении числа оборотов коленчатого вала двигателя. Схематически работа такой муфты показана на рисунке 5.25. В корпусе муфты, через который осуществляется ее привод, смонтирована полумуфта, через которую приводится вал ТНВД блочного типа. Полумуфта имеет выступы, которые с одной стороны нагружены пружинам, а с другой упираются в эксцентрики, выполненные на неуравновешенных грузах. Таким образом, полумуфта занимает определенное положение относительно корпуса. При увеличении частоты вращения на неуравновешенную часть грузов начинает действовать центробежная сила. Под действием этой силы грузы, преодолевая усилие пружин, раздвигаются и через эксцентрики, проворачивая полумуфту на угол γ против направления вращения корпуса, изменяют тем самым угол опережения подачи.

Продолжительность впрыскивания (угол $\varphi_{ппф}$) также оказывает большое влияние на рабочий процесс. Для повышения экономичности и снижения температуры отработавших газов необходимо обеспечить сравнительно небольшое значение угла $\varphi_{ппф}$ на номинальном режиме. Этот угол можно уменьшить путем увеличения максимального давления впрыска или

увеличения эффективного проходного сечения распылителя. В первом случае возрастут механические нагрузки на детали топливной аппаратуры, а во втором — на режимах малых нагрузок будет низкое давление впрыскивания, что приведет к ухудшению распыливания топлива.

2. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЕПЛОВОЗОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

2.1. Влияние системы наддува на параметры рабочего процесса и экологические характеристики двигателя тепловоза

Эксплуатационная надежность локомотивного парка в целом характеризуется процентом неисправных локомотивов и удельным количеством отказов ($1/10^6$).

Заходы локомотивов на неплановый ремонт по вине агрегатов наддув составляют по сети железных дорог около 19% от числа заходов по отказам оборудования дизеля.

Для выявления основных видов отказов обработан статистический материал о надежности агрегатов наддува (турбокомпрессоров) локомотивного депо Карасук Западно - Сибирской железной дороги с эксплуатационным парком локомотивов типа ТЭ10. Дизели 10Д100 этих тепловозов оборудованы турбокомпрессорами ТК-34 разных модификаций.

Количество неплановых ремонтов на 1 млн. км пробега составило: за 2020 г. - 16 случаев; за 2021 г. - 9,5 случаев; за 2023 г. - 14,3 случаев;

Случаи возникновения неисправностей по вине агрегатов наддува составляют 70-80% от числа порч по дизелю.

Наибольшее количество отказов происходит по причине закоксовывания соплового аппарата турбины (64,1%) от числа отказов за весь период наблюдения), количество отказов, возникающих из-за излома лопаток направляющего аппарата компрессора, составляет - 17,9%), отказы по причине излома вала ТК - 12,9% и отказы по причине износа лабиринтовых колец - 5,1%). Большее число отказов агрегатов наддува (71,8%) происходит до текущего ремонта ТР-2, на котором, по правилам деповского ремонта, осуществляется полная ревизия турбокомпрессора и необходимый его ремонт. Очевидно, возникает необходимость для

исключения внезапных отказов проводить ревизию и ремонт ТК на каждом ТР-1, что значительно повышает эксплуатационные затраты. Детали выпускного Детали выпускного тракта тепловозных дизелей и проточная часть газовой турбины ТК в процессе эксплуатации загрязняется продуктами неполного сгорания топлива.

В практике эксплуатации известны различные мероприятия и инженерные решения по снижению интенсивности нагароотложений в турбокомпрессоре.

В результате загрязнения решеток уменьшаются площади проходного сечения элементов турбины, что влечет за собой увеличение давления газа в выпускном коллекторе перед турбиной. Чем больше давление газа перед турбиной, тем больше располагаемый теплоперепад, мощность и частота вращения турбины, но при этом ухудшается рабочий процесс в цилиндре дизеля из-за отклонения отношения давления наддува и давления газа перед турбиной от своего оптимального значения (P,/P, = 1,15 - 1,40), при котором обеспечивается наилучшее наполнение и продувка цилиндров воздухом. В результате несколько увеличивается температура выхлопных газов и ухудшается экономичность двигателя.

Характерный признак загрязнения проточной части турбины – одновременное повышение давления наддува, частоты вращения ТК и температуры выхлопных газов.

В газовом тракте количество загрязнений (золоотложений) зависит от качества топлива (содержания смолистых веществ, серы, механических примесей и золового остатка).

Отложения на лопатках турбины разделяются на три типа: зольные сухие пеплообразные отложения толщиной 0,1 - 0,3 мм, обладающие относительно высокой шероховатостью; сажистые мазеобразные отложения, достигающие толщины до 3 мм; твердые пористые отложения, образующиеся вследствие выгорания отложений второго типа. Схема осевой турбины представлена на рисунке 2.1

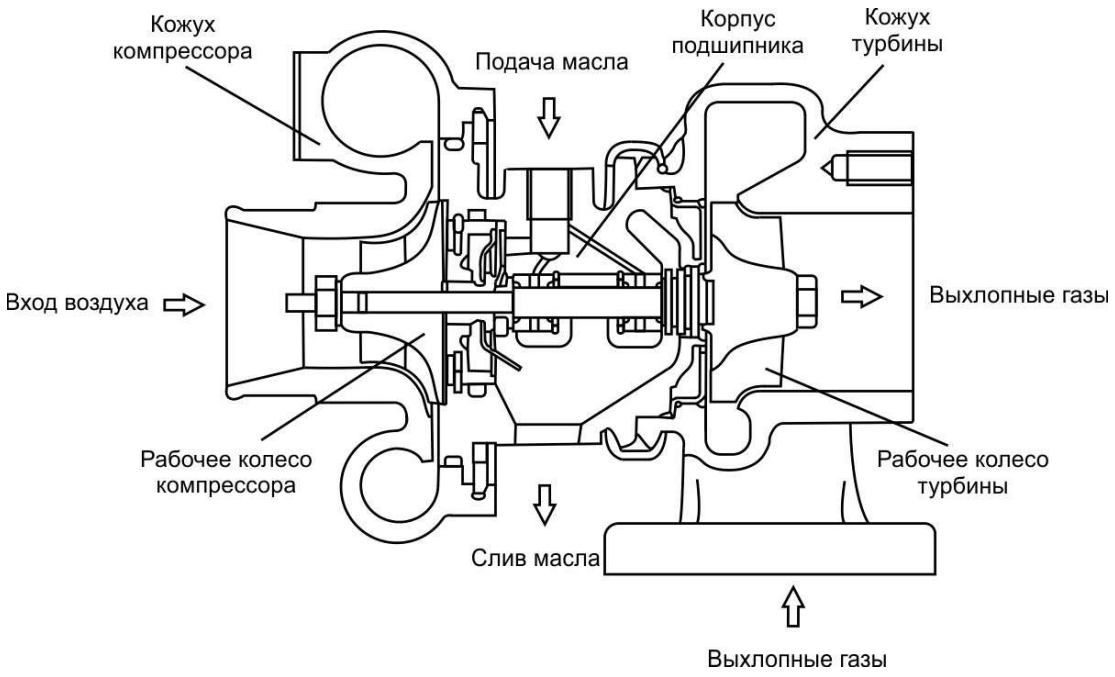


Рис.2.1. Схема осевой турбины

Возникновение отложений начинается с образования на лопатках смолисто-лаковой пленки, появляющейся в результате как высокотемпературного окисления продуктов сгорания топлива непосредственно на металлической поверхности, так и конденсации различных продуктов окисления выпускных газов.

При температуре газов в турбине t_r, < 300°С отложения имеют консистенцию густой мази с большой смолистостью. Толщина слоя стабилизируется на уровне 2 - 3 мм. При снижении t_r до 200°С вязкость отложений уменьшается. Переход дизеля на режим работы с t_r, > 300°С приводит к прекращению роста отложений и их высушиванию и уплотнению. При t_r > 400°С жидкость полностью выпаривается из-под слоя отложений, вследствие чего образуются отложения третьего типа. Эксплуатация дизеля при t_r > 500°С может привести к отслаиванию отложений, однако это требует многочасовой работы на форсированном режиме, причем каждый кратковременный сброс нагрузки приводит к частичной или полной реставрации отложений. Следовательно, появление

отложений - неизбежный фактор эксплуатации; тип отложений и их толщина зависят от режимов работы дизеля и сорта применяемого топлива.

Схема наддува дизеля представлена на рисунке 2.2.

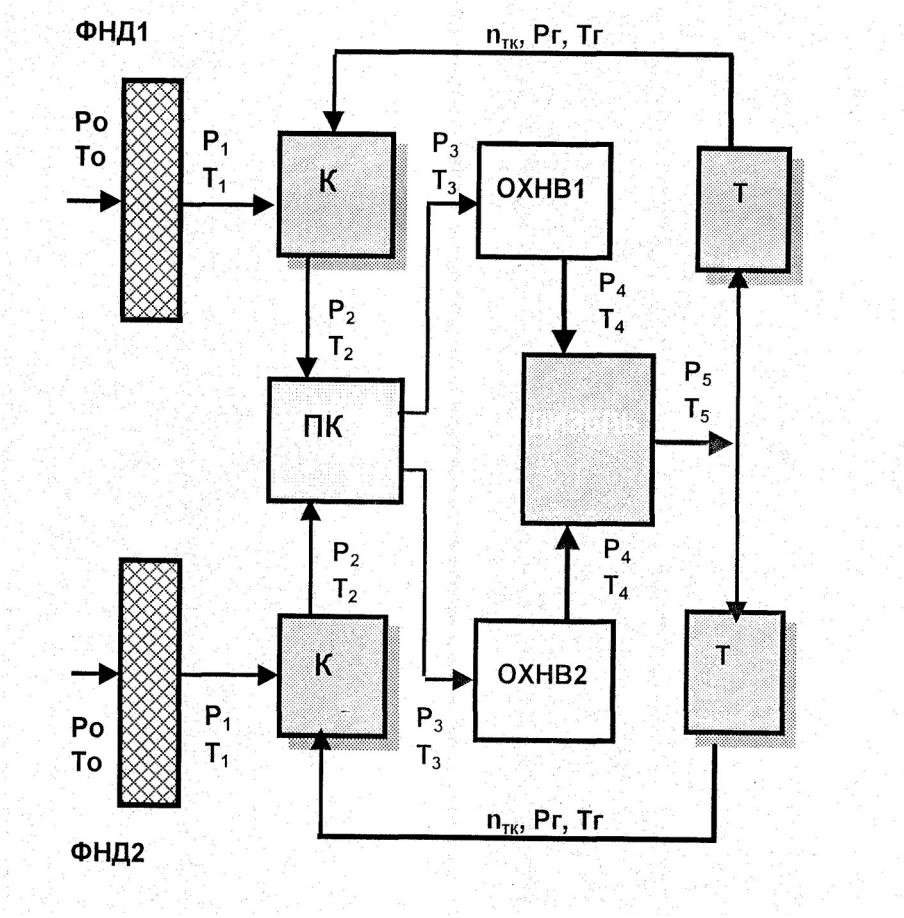


Рис.2.2. Схема наддува дизеля

При проведении реостатных испытаний параметры потока газов замерялись в пяти точках газовоздушного тракта (рис. 4.3) дизеля при известной мощности дизель-генераторной установки и частоте вращения ротора турбокомпрессора.

Тепловозный двигатель 1 ОД 100 представляет собой сочетание поршневой машины с самовоспламенением от сжатия, газовых турбин, компрессоров и воздухоохладителей, объединенных обшим рабочим телом, совершающим единый рабочий цикл.

Изменение в режиме работы или техническом состоянии любого из этих агрегатов скажется на работе всего двигателя. Поэтому рабочий процесс двигателя с турбонаддувом надо рассматривать как совокупность рабочих

процессов, происходящих в компрессоре, в цилиндрах дизеля и в турбине, взаимно влияющих один на другой, но представляющих единый комплекс.

Влияние параметров турбокомпрессора на характеристики рабочего процесса двигателя изучено недостаточно; они настолько сложны, что часто бывает затруднительной даже качественная оценка взаимосвязи между параметрами двигателя и турбокомпрессора.

2.2. Применение альтернативных топлив и топливной присадки с целью снижения экологического воздействия тепловозного дизеля на окружающую среду

Применение альтернативного (тяжелого) топлива или его смесей с дистиллятным дизельным топливом изменяет (относительно принятых в стандартах на дизельные топлива) плотность, вязкость, содержание серы и примесей в составе топлива.

Широкие эксплуатационные испытания тепловозов на тяжелых сортах нефтяного топлива в различных условиях эксплуатации были проведены в США. Величина среднего суммарного испытательного пробега составляла 68,8-820 тыс. км, а продолжительность 6-18 месяцев. Типы тепловозов были выбраны: грузовой, пассажирский, маневровый и толкач мощностью от 1110 до 1650 л.с. при частотах вращения коленчатого вала от 625 до 1000 мин'"; двух и четырехтактные дизели с диаметром цилиндра от 215 до 323 мм и ходом поршня от 254 до 393,7 мм; с числом цилиндров от 6 до 16.

Было установлено, что при работе указанных тепловозных дизелей на тяжелом топливе с вязкостью до 2ГВУ50 и содержанием серы 1,0 % износы цилиндровых втулок достигали 0,75 мм/1000 час, а при содержании серы до 1,5 % износы составляли в среднем 1,0 мм/1000 час. В то же время износы втулок при работе на дистиллятном дизельном топливе составляли

соответственно 0,4 мм/1000 час и 0,5.мм/1000 час при вязкости топлива до 1,7°ВУз8/133 - 136/.

Перерасход тяжелого топлива (при равной его вязкости с дизельным за счет нагрева) и при нагрузке 25 % от номинальной превышал 4 %. При нагрузках 75-100% возможна эксплуатация дизелей на различных сортах тяжелого топлива вязкостью до 12°ВУ5о с незначительным понижением экономичности рабочего процесса.

Сорт топлива влияет на качество сгорания и образование продуктов неполного сгорания. Имеется большой опыт по сжиганию различных топлив в дизелях. Как показала практика последних лет, тяжелые топлива в современных судовых дизелях сгорают еще недостаточно качественно, особенно в средне- и высокооборотных дизелях, что сопровождается повышенным выделением сажи в отработавших газах. В то же время традиционное топливо для дизелей (дизельное топливо) во многих случаях заменяется на худшие сорта, более тяжелые остаточные продукты переработки нефти. Например, речной флот уже сейчас потребляет до 25 % тяжелых топлив, и доля их будет постоянно увеличиваться. Поэтому перед современным дизелестроением стоит сложнейшая задача - создать двигатели, работающие на тяжелых сортах топлива с высокой экономичностью, надежностью и минимальным выбросом вредных веществ в атмосферу.

На рабочий процесс дизеля практически оказывают влияние все физико-химические характеристики топлива и прежде всего состав углеводородов, входящих в топливо. Углеводородный состав топлива характеризует его физические и химические свойства, воспламеняемость, вязкость, фракционный состав и т.д.

Немаловажную роль в полном сгорании топлива играет химический и физический аспект, связанный с подачей топлива в цилиндр и его смесеобразованием. Сгорание топлива в дизеле имеет специфическую особенность. В этих двигателях сгорание протекает в топливном факеле, где содержатся жидкие и газообразные горючие продукты.

Сгорание топлива в факеле во многом зависит от оптимизации степени гомогенизации заряда к началу воспламенения. Для различных топлив эта степень будет различной. Легкое топливо (например, бензин) будет быстрее испаряться в камере сгорания дизеля, чем тяжелое.

В таблице 2.1 приведены основные параметры рабочего процесса, полученные в результате испытаний дизеля на опытных топливах (ОТ-1 ... ОТ-6) при различных нагрузках.

Таблица 2.1

Основные параметры рабочего процесса опытного дизеля

Топливо	Нагрузка, кВт	φ, ºПКВ	dP/d φ, МПа/ ºПКВ	Pmax, МП а	тс, °ПКВ	Дымность, усл. ед.
Дизельное ДЛ (ОТ - 1)	0,95	6,8	0,36	7,0	11,3	16
	1,98	7,5	0,34	7,7	13,4	34
	2,64	8,0	0,39	8,1	15,3	55
	3,23	8,4	0,47	8,7	17,6	78
Облегченное дизельное ДЗ	0,91	7,2	0,38	7,0	10,4	16
(ОТ - 2)	1,83	7,6	0,39	7,7	12,4	30
	2,79	8,2	0,42	8,5	14,3	56
	3,08	8,3	0,47	8,7	16,4	68
Реактивное ТС-1	0,88	8,4	0,48	7,4	8,3	5
(ОТ-3)	1,83	9,0	0,53	8,2	11,2	12
	2,49	9,6	0,60	8,6	13,1	30
	3,49	10,0	0,76	9,6	15,9	80
Легкий каталитический	1,10	7,5	0,44	7,2	9,5	14,3
газойль	1,83	8,2	0,48	7,9	11,6	31,0
(ОТ-4)	2,60	9,0	0,56	8,6	13,4	68,1
	3,20	9,5	0,64	9,3	15,8	83,1
Смесь 1 : 1 дизельного	0,88	9,4	0,55	8,1	8,7	30,0
топлива ДЛ с дистилятом	1,83	9,5	0,57	8,6	.11,0	55,5
коксования (ОТ -5)	2,57	10,0	0,70	9,1	13,1	85,0
	3,23	10,4	0,83	9,9	15,0	96,4
Вакуумный газойль	0,88	5,7	0,35	6,8	12,0	18,0
(ОТ-6)	1,76	6,7	0,36	7,6	14,0	44,0
	2,57	7,8	0,43	8,5	16,2	77,0
	3,01	9,0	0,55	9,0	18,5	93,0

Данные таблицы свидетельствуют о том, что дымность зависит от группового углеводородного состава. Максимальное значение дымности (30 ... 96,4 %) имеет топливо ОТ − 5 с наибольшим содержанием

ароматических углеводородов. Минимальную дымность отработавшего газа имеют топлива ОТ - 1 и ОТ - 2 приблизительно с одинаковым содержанием алканоциклановых и ароматических углеводородов.

Особый интерес представляет полнота сгорания альтернативных топлив, как возможных в перспективе заменителей нефтяных. Уже иметься некоторая информация о качестве сгорания ряда топлив из углей и сланцев, спиртов и другое. Экспериментально установлено, что синтетические жидкие топлива из углей и сланцев сгорают в дизелях приблизительно по тому же принципу, что нефтяные топлива. Легкие сорта синтетических топлив сгорают как дизельное топливо, при этом показатели дымности и токсичности отработавших газов их мало отличаются от отработавших газов, полученных при сжигании дизельного топлива.

Работа дизелей на смесях нефтяного топлива со спиртами существенно изменяет пропорциональное отношение вредных выбросов. При работе дизеля с большой частотой вращения количество токсичных компонентов возрастает, кроме окислов азота. Содержание сажи на всех частотах вращения с добавкой метанола снижается. Добавка к дизельному топливу аммиака снижает дымность отработавших газов, но повышает содержание NOx.

Таким образом, использование альтернативных топлив в судовых дизелях речного флота не вызывает опасения с точки зрения повышенного загрязнения воздушного бассейна [1].

Обобщение данных о величине износа цилиндровых втулок различных типов тепловозных дизелей на железных дорогах США показало, что применение тяжелых сернистых топлив при отсутствии высокощелочных смазочных масел приведет к сокращению межремонтных сроков работы ЦПГ для многооборотных дизелей при величинах допустимого износа цилиндровых втулок за 1000 час работы 0,65 мм по нормам МПС РФ или 0,63 мм по нормам американских фирм.

Лабораторией локомотивного оборудования ВНИИЖТ были выполнены исследования характеристик рабочего процесса дизеля Д50 на сырой нефти, моторном топливе ДТ и стандартном дизельном топливе.

За время испытаний на моторном топливе ДТ использование номинальной мощности дизеля Д50 составило 79 %, при этом удельный расход моторного топлива, без учета его расхода на холостом ходу, составил 195 г/(элс-ч), что на 5,3 % больше, чем при работе на дизельном дистиллятном топливе. В среднем удельный расход топлива ДТ составил 200 г/(элс-ч) в диапазоне нагрузок, соответствующих 400-700 мин.

Испытания дизеля Д50 на моторном топливе ДТ и сырой нефти показали, что эти топлива можно эффективно использовать со специальными присадками к топливу и маслам. Хорошие результаты были получены в случае применения к топливу ДТ присадки ВНИИ НП-101.

Испытания двухтактного дизеля 2Д100 на сырой нефти были проведены в ВНИИЖТ на тепловозе ТЭ3 при переменной нагрузке, близкой к эксплуатационной, на экспериментальном кольце в течение 1200 часов. В топливной системе тепловоза был установлен подпорный клапан для предотвращения образования газовых пробок в нагревательной линии топливного насоса высокого давления (ТНВД). В нефть добавляли присадку ВНИИ НИ-101 в количестве 0,7 % по массе.

Было установлено, что на больших нагрузках недожог топлива при работе на нефти и дизельном топливе примерно одинаков. На малых нагрузках в случае использования нефти недожог увеличивается на 50-60 % и дымность двигателя 2Д100 возрастает в 4-5 раз. При работе на нефти было признано целесообразным войлочные фильтрующие пластины заменять или регенерировать их не реже, чем через 36-40 часов работы. Для повышения эффективности очистки тяжелого топлива было рекомендовано применять центробежные сепараторы с, различными приводами. Была предложена передвижная установка для экипировки тепловозов тяжелым топливом, в

которой предусмотрена обработка тяжелого топлива с помощью центробежных сепараторов, фильтров и присадок типа ВНИИНП-101.

В лаборатории тепловозных и судовых двигателей Харьковского политехнического института были выполнены сравнительные испытания тепловозного дизеля типа Д70 (16ЧН24/27) на тяжелом топливе ДТ-2 и стандартном дизельном марки ДЛ по ГОСТ 4749-73.

Работа дизеля на холостом ходу и при запуске на дизельном топливе и переходе на тяжелое ДТ-2 по внешним признакам ничем не отличалась. При повышении температуры топлива ДТ-2 с 65 до 128 °С расход топлива уменьшался на 4,5-7 %, причем-С понижением нагрузки расход топлива снижался более интенсивно. При температуре топлива ДТ-2, равной 70 °С, удельный расход составлял 147,7 г/(элс-ч). Сравнения показали, что при работе на тяжелом топливе температура выпускных газов выше на 5-20 °С.

Скорость нарастания давления в цилиндре находится в линейной зависимости от температуры топлива. Исследования работы дизеля на топливе ДТ-2 при номинальной нагрузке показали, что при повышении температуры топлива с 65 до 128 °С период задержки воспламенения уменьшался, а интенсивность сгорания увеличивалась, что приводило к повышению индикаторного КПД.

Таким образом, коплексный анализ результатов испытаний, как зарубежных тепловозных дизелей различных модификаций, так и отечественных аналогов показал, что тепловозные дизели могут эксплуатироваться на тяжелых сортах топлива, включая сырую нефть, при условии выполнения комплекса инженерно-технических, конструкторских и организационных мероприятий.

Постоянное совершенствование конструкции, разработка новых материалов и технологий в области дизелестроения позволяют использовать в настоящее время в судовых, тепловозных и транспортных дизелях топливо широкого фракционного состава.

Применение топлива утяжеленного фракционного состава (УФС) и легких газойлей каталитического крекинга (ЛГКК) в смеси с синтетическими парафиновыми углеводородами (СНУ) является одним из путей расширения ресурсов дизельных топлив. По энергетическим показателям топливо УФС и топливо, содержащее ЛГКК, соответствуют стандартному дизельному топливу, а по воспламеняемости, оцениваемой ЦЧ, УФС даже превосходит дизельное топливо.

Добавка 30% СНУ к топливу УФС снижает содержание смолистых соединений до требований ГОСТа к топливу "Л", вязкость и плотность падают до значений, близких к показателям арктического дизельного топлива. Добавка СПУ сокращает весь период сгорания, то есть делает цикл термодинамики более выгодным.

Дизельное топливо с пониженным содержанием легких фракций (ДТ ПЛФ) предназначается для применения в быстроходных дизелях. Данное топливо отличается от стандартного дизельного топлива повышенной вязкостью, плотностью и температурой вспышки. Производство топлив ДТ ПЛФ позволяет вовлечь в горючее до 55-75% фракций, выкипающих при температуре до 360°С, в результате чего появляется возможность увеличить общий объем дизельного топлива, снизить цену и дефицитность продукции.

Наиболее близкими по физико-химическим параметрам к стандартному дизельному топливу являются дизельные топлива УФС и ДТ ПЛФ, но производство топлива ДТ ПЛФ дает возможность увеличить выход дизельных фракций при переработке нефтяного сырья за счет вовлечения более тяжелых фракций.

При использовании в среднеоборотных тепловозных дизелях низкосортных топлив необходимо применение комплексных топливных присадок, способствующих: предотвращению образования лаковых пленок на деталях топливной аппаратуры и защиты от коррозии; обеспечению наибольшей теплоты сгорания топлива; уменьшению нагарообразования в

цилиндрах; снижению температуры застывания топлива; уменьшению дымности и токсичности выпускных газов.

2.3. Оценка экологического воздействия дизеля, работающего по газодизельному циклу на окружающую среду

Твердые частицы (сажа)

Расчет выбросов твердых частиц сажи, B_c, (г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами в единицу времени при сжигании минерального топлива, определяется по формуле

$$Bc = GcAx(1-\eta), \quad (2.1)$$

где G_c - расход мазута на сжигание, г/с;

A - зольность мазута, %;

χ - константа, зависящая от типа топки и качества используемого мазута;

η - доля твёрдых частиц, улавливаемых в золоуловителях.

$$Bc = 353,65 \cdot 0,14 \cdot 0,01 \cdot (1 - 0) = 0,495 \text{ г/с}$$

Монооксид углерода

Расчет выбросов монооксида углерода, Bco, (г/с), при сжигании топлива определяется по формуле

$$Bco = 0,001 R_{CO} B(1-q_4/100), \quad (2.2)$$

где Rco - выход монооксида углерода при сжигании топлива определяется по формуле

Rco = q3 R Qir (2.3)

где q3 - потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания монооксида углерода;- низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;- потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

$R_{CO} = 0{,}2 \cdot 0{,}65 \cdot 40{,}53 = 5{,}269$ г/с,

$Bco = 0{,}001 \cdot 5{,}269 \cdot 353{,}65 (1 - 0{,}1/100) = 1{,}862$ г/с

Сернистый ангидрид

Расчет выбросов оксидов серы в пересчете на сернистый ангидрид, BSO2, (г/с), определяется по формуле

BSO2 = 0,02BSr(1 - η’SO2)(1-η”SO2) (2.4)

где Sr - содержание серы в топливе в рабочем состоянии;

η’SO2 - доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива;

η”SO2 - доля улавливаемых оксидов серы.

$Bso_2 = 0{,}02 \cdot 353{,}65 \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}02) \cdot (1 - 0) = 6{,}932$ г/с

Оксиды азота

Количество оксидов азота выбрасываемых в единицу времени, BNOX, (г/с), рассчитывается по формуле

= 0,001BQirKNOX·(1-β) (2.5)

где KNOx - параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на 1 ГДж теплоты при использовании топлива;

β - коэффициент, зависящий от степени снижения оксидов азота в результате применения технических решений.

В пересчёте на NO2 : NO2 = 0,8NOX (2.6)

В пересчёте на NO : NO = 0,13NOX (2.7)

$B_{NO_x} = 0,001 \cdot 353,65 \cdot 40,53 \cdot 0,1 \cdot (1-0) = 1,433$ г/с,

$NO_2 = 0,8 \cdot 1,433 = 1,146$ г/с,

$NO = 0,13 \cdot 1,433 = 1,186$ г/с

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества, см, мг/м3, при выбросе газовоздушной смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии хм, м, от источника и определяется по формуле

$$c_м = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \wedge T}} \quad (2.8)$$

где А − коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

М − масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; − безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

т и n - коэффициенты, учитывающие условия выхода газо-воздушной смеси из устья источника выброса;− высота источника выброса над уровнем земли, м, (в данном случае 16 м);

η − безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, η = 1;

ΔТ − разность между температурой выбрасываемой газо-воздушной смеси Тг и температурой окружающего атмосферного воздуха Тв °С, (100°С);− расход газо-воздушной смеси, м3/с, определяемый по формуле

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0 ,(2.9)$$

где D − диаметр устья источника выброса, м, (принимаем 0,7 м);

ω0 − средняя скорость выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса, м/с, (4,25м/с).

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot (0,7)^2}{4} \cdot 4,25 = 1,635$$ м3/с

Значение коэффициента А, соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным: 200 − для Европейской территории РФ.

Значение безразмерного коэффициента F принимается:

а) для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т. п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) - 1;

б) для мелкодисперсных аэрозолей при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов не менее 90 % - 2; от 75 до 90 % - 2,5; менее 75 % и при отсутствии очистки - 3.

Значения коэффициентов m и n определяются в зависимости от параметров f, $\upsilon_м$, $\upsilon_м'$ и fe.

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T} ; \quad (2.10)$$

$$\upsilon_м = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}} ; \quad (2.11)$$

$$\upsilon_м' = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H} ; \quad (2.12)$$

$$f_e = 800 (\upsilon_м')^3 . \quad (2.13)$$

$$f = 1000 \cdot \frac{4,25^2 \cdot 0,7}{16^2 \cdot 100} = 0,494,$$

$$\upsilon_м = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,635 \cdot 100}{16}} = 1,411,$$

$$\upsilon'_м = 1,3 \cdot \frac{4,25 \cdot 0,7}{16} = 0,242,$$

$$f_e = 800 \cdot (0,242)^3 = 11,338.$$

Коэффициент m определяется в зависимости от f и определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \text{ при f <100;(2.14)}$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,494} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,494}} = 0,99.$$

Коэффициент n при f < 100 определяется в зависимости от $\upsilon_м$ по формуле

$$n = 0,532\upsilon_м^2 - 2,13\upsilon_м + 3,13 \text{ при } 0,5 \le \upsilon_м < 2; \quad (2.15)$$

$$n = 0,532 \cdot 1,411^2 - 2,13 \cdot 1,411 + 3,13 = 1,184$$

Расстояние хм, м, от источника выбросов, на котором приземная концентрация с, мг/м3, при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения см, определяется по формуле

$$x_м = \frac{5 - F}{4} d H, \quad (2.16)$$

где безразмерный коэффициент d при f < 100 находится по формуле

$$d = 4,95\upsilon_м \left(1 + 0,28\sqrt[3]{f}\right) \text{ при } 0,5 < \upsilon_м \le 2; \quad (2.17)$$

$$d = 4,95 \cdot 1,411 \cdot \left(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,494}\right) = 8,53$$

Приземная концентрация вредных веществ с, мг/м3, в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях х, м, от источника выброса определяется по формуле

$$c = s_1 c_м \text{ , (2.18)}$$

где s1 − безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения х/хм и коэффициента F по формулам

$$s_1 = 3(x/x_м)^4 - 8(x/x_м)^3 + 6(x/x_м)^2 \quad \text{при } x/x_м \le 1; \tag{2.19}$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13(x/x_м)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < x/x_м \le 8; \tag{2.20}$$

При х=50:

$$s_1^{50} = 3 \cdot (0,366)^4 - 8 \cdot (0,366)^3 + 6 \cdot (0,366)^2 = 0,466,$$

при х=100:

$$s_1^{100} = 3 \cdot (0,733)^4 - 8 \cdot (0,733)^3 + 6 \cdot (0,733)^2 = 0,939,$$

при х=200:

$$s_1^{200} = \frac{1,13}{0,13 \cdot (1,465)^2 + 1} = 0,884,$$

при х=400:

$$s_1^{400} = \frac{1,13}{0,13 \cdot (2,931)^2 + 1} = 0,534,$$

при х=1000:

$$s_1^{1000} = \frac{1,13}{0,13 \cdot (7,327)^2 + 1} = 0,142.$$

По формуле (2.8) находим максимальные значения приземных

концентраций вредных веществ

$$c_м^c = \frac{200 \cdot 0,495 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1,184 \cdot 1}{16^2 \sqrt[3]{1,635 \cdot 100}} = 0,083 \text{ мг/м3},$$

$$c_м^{co} = \frac{200 \cdot 1,862 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1,184 \cdot 1}{16^2 \sqrt[3]{1,635 \cdot 100}} = 0,312 \text{ мг/м3},$$

$$c_м^{so_2} = \frac{200 \cdot 6,932 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1,184 \cdot 1}{16^2 \sqrt[3]{1,635 \cdot 100}} = 1,161 \text{ мг/м3},$$

$$c_м^{NJ_2} = \frac{200 \cdot 1,146 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1,184 \cdot 1}{16^2 \sqrt[3]{1,635 \cdot 100}} = 0,192 \text{ мг/м3},$$

$$c_м^{NO} = \frac{200 \cdot 0,168 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1,184 \cdot 1}{16^2 \sqrt[3]{1,635 \cdot 100}} = 0,031 \text{ мг/м3}.$$

По формуле (2.18) находим приземные концентрации вредных веществ на различных расстояниях:

для сажи

$c^{50} = 0,466 \cdot 0,083 = 0,039$ мг/м3,

$c^{100} = 0,939 \cdot 0,083 = 0,078$ мг/м3,

$c^{200} = 0,884 \cdot 0,083 = 0,073$ мг/м3,

$c^{400} = 0,534 \cdot 0,083 = 0,044$ мг/м3,

$c^{1000} = 0,142 \cdot 0,083 = 0,012$ мг/м3,

для монооксида углерода

$c^{50} = 0,466 \cdot 0,312 = 0,145$ мг/м3,

$c^{100} = 0,939 \cdot 0,312 = 0,293$ мг/м3,

$c^{200} = 0,884 \cdot 0,312 = 0,276$ мг/м3,

$c^{400} = 0,534 \cdot 0,312 = 0,167$ мг/м3,

$c^{1000} = 0,142 \cdot 0,312 = 0,044$ мг/м3,

для сернистого ангидрида

$c^{50} = 0,466 \cdot 1,161 = 0,541$ мг/м3,

$c^{100} = 0,939 \cdot 1,161 = 1,090$ мг/м3,

$c^{200}=0,884\cdot1,161=1,026$ мг/м3,

$c^{400}=0,534\cdot1,161=0,621$ мг/м3,

$c^{1000}=0,142\cdot1,161=0,165$ мг/м3,

для диоксида азота

$c^{50}=0,466\cdot0,192=0,089$ мг/м3,

$c^{100}=0,939\cdot0,192=0,180$ мг/м3,

$c^{200}=0,884\cdot0,192=0,169$ мг/м3,

$c^{400}=0,534\cdot0,192=0,103$ мг/м3,

$c^{1000}=0,142\cdot0,192=0,027$ мг/м3,

для оксида азота

$c^{50}=0,466\cdot0,031=0,014$ мг/м3,

$c^{100}=0,939\cdot0,031=0,029$ мг/м3,

$c^{200}=0,884\cdot0,031=0,027$ мг/м3,

$c^{400}=0,534\cdot0,031=0,017$ мг/м3,

$c^{1000}=0,142\cdot0,031=0,004$ мг/м3.

Значение ПДВ для одиночного источника с круглым устьем при фоновой концентрации Сф определяется по формуле

$$ПДВ=\frac{(ПДК-C_{ф})H^2}{AFmn\eta}\sqrt[3]{V_i}\Delta T, \quad (2.21)$$

$$ПДВ^{c}=\frac{(0,15-0,12)\cdot16^2}{200\cdot1\cdot0,99\cdot1,184\cdot1}\cdot\sqrt[3]{1,635\cdot100}=0,179 \text{ г/с},$$

$$ПДВ^{CO}=\frac{(5-4)\cdot16^2}{200\cdot1\cdot0,99\cdot1,184\cdot1}\cdot\sqrt[3]{1,635\cdot100}=5,970 \text{ г/с},$$

$$ПДВ^{SO_2}=\frac{(0,5-0,25)\cdot16^2}{200\cdot1\cdot0,99\cdot1,184\cdot1}¿\sqrt[3]{1,635\cdot100}=1,493 \text{ г/с},$$

$$ПДВ^{NO_2}=\frac{(0{,}2-0{,}15)\cdot 16^2}{200\cdot 1\cdot 0{,}99\cdot 1{,}184\cdot 1}¿\sqrt[3]{1{,}635\cdot 100}=0{,}299 \text{ г/с},$$

$$ПДВ^{NO}=\frac{(0{,}4-0{,}15)\cdot 16^2}{200\cdot 1\cdot 0{,}99\cdot 1{,}184\cdot 1}\cdot\sqrt[3]{1{,}635\cdot 100}=1{,}493 \text{ г/с}.$$

Далее расчет производиться для конкретных точек, удаленных от источника.

По формуле(2.20) находим безразмерный коэффициент

при х=783:

$$s_1^1=\frac{1{,}13}{0{,}13\cdot(5{,}74)^2+1}=0{,}210,$$

при х=805:

$$s_1^2=\frac{1{,}13}{0{,}13\cdot(5{,}898)^2+1}=0{,}205,$$

при х=588:

$$s_1^3=\frac{1{,}13}{0{,}13\cdot(4{,}31)^2+1}=0{,}330.$$

Следовательно, по формуле (2.18) приземная концентрация в данных точках для сажи

$c_1^1=0{,}21\cdot 0{,}083=0{,}017$ мг/м3,

$c_1^2=0{,}205\cdot 0{,}083=0{,}017$ мг/м3,

$c_1^3=0{,}330\cdot 0{,}083=0{,}027$ мг/м3,

для монооксида углерода

$c_1^1=0{,}21\cdot 0{,}312=0{,}066$ мг/м3,

$c_1^2=0{,}205\cdot 0{,}312=0{,}064$ мг/м3,

$c_1^3=0{,}330\cdot 0{,}312=0{,}103$ мг/м3,

для сернистого ангидрида

$c_1^1=0{,}21\cdot 1{,}161=0{,}244$ мг/м3,

$c_1^2=0{,}205\cdot 1{,}161=0{,}238$ мг/м3,

$c_1^3 = 0,330 \cdot 1,161 = 0,383$ мг/м3,

для диоксида азота

$c_1^1 = 0,21 \cdot 0,192 = 0,040$ мг/м3,

$c_1^2 = 0,205 \cdot 0,192 = 0,039$ мг/м3,

$c_1^3 = 0,330 \cdot 0,192 = 0,060$ мг/м3,

для оксида азота

$c_1^1 = 0,21 \cdot 0,031 = 0,007$ мг/м3,

$c_1^2 = 0,205 \cdot 0,031 = 0,006$ мг/м3,

$c_1^3 = 0,330 \cdot 0,031 = 0,010$ мг/м3.

После проведения расчета фактических выбросов загрязняющих веществ при сжигании минерального топлива, выделяющихся в атмосферный воздух при эксплуатации тепловоза рассеивания все данные сведем в таблицу.

Таблица 2.2

Расчет выбросов и рассеивания загрязняющих веществ

Показатель	Единица измерения	Значение
Расход топлива, В	г/с, (т/год)	353,65(5500)
Масса выбросов загрязняющих веществ, М:	г/с (т/год)	
С		0,495(7,698)
СО		1,862(28,958)
SO2		6,932(107,806)
NO		0,186(2,893)
NO2		1,146(17,823)
Средняя скорость истечения газовоздушной смеси, vср	м/с	4,25
Диаметр источника выброса загрязняющих веществ, Д	м	0,7
Расход газовоздушной смеси, V	м3/с	1,635
Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, А		200
Безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, F		1
Высота источника выброса Н	м	16
Разность между температурой выбрасываемой газо-воздушной смеси, ΔТ	°С	100
параметр f		0,494
параметр Vм		1,411

коэффициент, m		0,990
коэффициент, n		1,184
Максимальная приземная концентрация загрязняющих веществ	мг/м3	
C		0,083
CO		0,312
SO2		1,161
NO		0,031
NO2		0,192
показатель d		8,530
Расстояние от источника Хм на котором концентрация вредных веществ будет достигать максимального значения	м	
отношение X/Xм:	м	
X=50		0,366
X=100		0,733
X=200		1,465
X=400		2,931
X=1000		7,327
Коэффициент s1 для расстояния X:		
X=50		0,466
X=100		0,939
X=200		0,884
X=400		0,534
X=1000		0,142
Концентрация загрязняющих веществ на расстоянии X по SO2:	мг/м3	
X=50		0,541
X=100		1,090
X=200		1,026
X=400		0,621
X=1000		0,621

По данным таблицы 3 можно сделать вывод, что основным загрязняющим веществом является сернистый ангидрид, так как его значение предельно допустимой концентрации составляет 0,5 мг/м^3, а максимально − приземная концентрация составила 1,161мг/м^3.

Таблица 2.3

Максимально - приземные концентрации загрязняющих веществ

Наименование, координаты расчетных точек	Наименование загрязняющих веществ	
	максимальная концентрация с фоном	максимальная концентрация без фона
сажа		
Расчетная точка №1	0,137	0,017
Расчетная точка №2	0,137	0,017
Расчетная точка №3	0,147	0,027

Из таблицы 2.4 и в соответствии с расчетами видно, что во всех

расчетных точках существует превышение по саже, которое в сумме с фоновыми концентрациями значительно превышает предельно допустимые концентрации.

Таблица 2.4

Сводная таблица загрязняющих веществ при сжигании минерального топлива до проведения природоохранных мероприятий

Показатель	Сажа	Оксид углерода	Диоксид серы	Диоксид азота	Оксид азота
Расход топлива, г/с (т/год)	353,65(5500)	353,65(5500)	353,65(5500)	353,65(5500)	353,65(5500)
Объем газовоздушной смеси, м3/с	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635
ПДК, мг/м3	0,15	5,0	0,5	0,2	0,4
Фактическая концентрация, мг/м3	0,083	0,312	1,161	0,031	0,192
ПДВ г/с, (т/год)	0,179(2,784)	5,970(92,845)	1,493(23,219)	0,299(4,650)	1,493(23,219)
Максимально-разовый выброс, г/с	0,495	1,862	6,932	1,146	0,186
Валовый выброс загрязняющих веществ, т/год	7,698	28,958	107,806	17,823	2,893
Превышение концентрации загрязняющих веществ, раз	2,765	−	4,643	3,833	−

В соответствии с таблицей 5 можно подвести общий итог о том, что при эксплуатации судна атмосферный воздух загрязняется такими веществами, как сажа, диоксид серы и диоксид азота. Значит далее разработаем природоохранные мероприятия, с помощью которых будет производиться максимальная очистка от этих веществ, а затраты будут минимальными.

Приземные концентрации на различных расстояниях и в заданных точках равны: 0,1ПДК по саже, 1ПДК по сернистому ангедриду, 1ПДК по диоксиду азота. Все изолинии изображены в приложении А.

2.4. Методы воздействия на рабочий процесс дизеля с целью уменьшения количества вредных выбросов в отработавших газах

Подавление отходящих газов двигателей внутреннего сгорания делится на ряд методов:

Методы внутреннего подавления выбросов, он характеризуется:

− использованием малотоксичных рабочих процессов;

− подачей воды в цилиндр (ВТЭ);

− рециркуляцией отходящих газов;

− регулированием топливоподачи.

Методы внешнего подавления выбросов, а именно использование:

− сажевых фильтров;

− термических реакторов;

− жидкостных нейтрализаторов;

− каталитических нейтрализаторов;

− присадок (антидымных, антисажевых);

− ультразвуковой коагуляции сажи.

Организационные мероприятия:

− ограничение количества маневров главных двигателей при отходах и подходах судов к пристани;

− сведение к минимуму работы на стоянках;

− перевод судов на малосернистое топливо;

− оптимизация расписания пассажирских судов.

Использование альтернативных видов топлива, а именно:

− водород;

− спирт;

− метанол;

− сжатый природный газ;

− сжиженный нефтяной газ.

Конструктивные и технологические мероприятия по улучшению экологических показателей высокооборотных судовых дизелей заключаются в следующих мероприятиях:

Снижение образования оксидов азота, а именно:

− снижение общих и локальных температур в камере сгорания;

− снижение локального и местного содержания кислорода;

− изменение химического состава заряда;

− снижение содержания азота в топливе.

Снижение образования углеводородов:

− исключение местных переобогащенных зон;

− исключение чрезмерной гомогенизации;

− увеличение коэффициента избытка воздуха;

− повышение скорости сгорания.

Снижение образования CO и дыма:

− оптимизация коэффициента избытка воздуха;

− оптимизация закона тепловыделения;

− применение инициирующих и антидымных присадок;

− снижение расхода смазочного материала;

− исключение местных переобогащенных зон.

Снижение образования альдегидов:

− снижение расходов смазочного масла;

− турбулизация заряда;

− разрушение зон гашения [2].

Пылегазоочистительная установка

Изобретение относится к устройствам для очистки отходящих газов от пыли и загрязняющих примесей кислотного типа (оксиды серы, углерода окислы азота, и др.), в частности дымовых газов, а также выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания.

Сущность изобретения заключается в том, что пылегазоочистительная установка включает сепаратор, содержащий односторонний поток очищаемой газовой среды, пылесборник, присоединенный снизу к корпусу, при этом пылесборник представляет собой емкость, заполненную, по крайней мере, мелкодиспергированным реагентом со щелочными свойствами, сепаратор на входе сообщен через трубопровод с нижней частью

пылесборника, а установка дополнительно снабжена эжекционным устройством, нагнетающим газовый поток, содержащий по крайней мере мелкодиспергированный реагент со щелочными свойствами, в корпус сепаратора через трубопровод и входной патрубок.

В качестве реагента со щелочными свойствами целесообразно использовать соединения щелочного металла или соединения щелочноземельного металла.

Пылегазоочистительная установка работает следующим образом. Дымовые газы, содержащие вредные химические вещества, загрязняющие атмосферу, в частности окислы азота (NOx), двуокись серы (SO2) и твердые примеси, попадают в установку через входной патрубок в корпус центробежного сепаратора, имеющего осадительную часть. В это же время эжекционным устройством в корпусе сепаратора, сообщенном с трубопроводом через входной патрубок, создается зона пониженного давления. Газовый поток, прошедший осадительную часть, поступает в пылесборник, то есть в емкость, заполненную мелкодиспергированным реагентом со щелочными свойствами, например, гидрооксидом натрия, калия или карбонатом натрия, калия. Дополнительно емкость может быть заполнена другими веществами, например, активированным углем. Захватив щелочной реагент, газовый поток по трубопроводу эжекционным устройством нагнетается в корпус сепаратора через входной патрубок и смешивается с новым газовым потоком, поступающим на очистку в центробежный сепаратор. Благодаря контакту с реагентом со щелочными свойствами ядовитые вещества, содержащиеся в газовом потоке, нейтрализуются, и очищенный от пыли и ядовитых химических веществ газовый поток выходит в атмосферу через выходной патрубок. Часть газового потока, содержащая щелочной реагент, вновь проходит через осадительную часть сепаратора и поступает в пылесборник.

Цикл повторяется. Происходит оседание пыли, а также нейтрализация загрязняющих вредных химических веществ.

Эффективность очистки газового потока от пыли достигает 92-95% при нейтрализации вредных химических веществ [3].

Способ очистки отходящих газов от диоксида серы

Устройство относится к способам очистки отходящих газов от диоксида серы путем контактирования с пульпой, содержащей соединения марганца, и может быть использовано в химической, металлургической и других отраслях промышленности, имеющих отходящие запыленные газы. В способе очистки отходящих газов от диоксида серы путем их промывки пульпой руды, содержащей соединения марганца, промывку осуществляют противотоком в три ступени, при этом на первой по ходу газа ступени промывку ведут перенасыщенной по диоксиду серы подкисленной пульпой диоксида марганца, на второй ступени - ненасыщенной по диоксиду серы пульпой диоксида марганца, а на третьей стадии - неподкисленной пульпой оксидов и карбонатов марганца. Температуру пульпы на первой стадии поддерживают 70−90оС, а содержание серной кислоты в пульпе 5−8 мас. Температуру пульпы на второй стадии поддерживают 40−60оС, а содержание серной кислоты в пульпе 5−8 мас.

Температуру пульпы на третьей стадии поддерживают 25−40оС, а pH пульпы 5−8,5 мас.

Пульпа с третьей стадии передается на вторую, со второй стадии на первую, а с первой стадии пульпа передается на получение целевого продукта.

Мольное отношение диоксида марганца в пульпе к диоксиду серы в газе поддерживают равным 1:1. Данным способом достигается степень очистки с эффективностью 90 - 95% [4].

Способ очистки отработавших газов дизельных двигателей от газообразных вредных веществ и твердых частиц

Способ очистки отработавших газов дизельных двигателей от газообразных вредных веществ и твердых частиц путем пропускания потока отработавших газов вначале через входной окислительный нейтрализатор

каталитического типа, а затем через фильтрующий элемент, отличающийся тем, что перед входным окислительным нейтрализатором устанавливают камеру сгорания, содержащую форсунку, стабилизатор пламени и свечу для воспламенения горючей смеси, за фильтрующим элементом устанавливают выходной окислительный нейтрализатор каталитического типа и отработавшие газы очищают путем пропускания потока последовательно через камеру сгорания, входной окислительный нейтрализатор, фильтрующий элемент и выходной окислительный нейтрализатор, непрерывно измеряют температуру потока до камеры сгорания, температуры тела входного и выходного окислительных нейтрализаторов и фильтрующего элемента, объемную концентрацию кислорода в отработавших газах до камеры сгорания и перепад давления на фильтрующем элементе, непрерывно сравнивают измеренную температуру потока до камеры сгорания и измеренные температуры входного и выходного окислительных нейтрализаторов с заданной рабочей температурой катализатора, измеренную концентрацию кислорода - с заданной минимально допустимой концентрацией кислорода, измеренный перепад давлений - с заданными максимально и минимально допустимыми перепадами давления, измеренную температуру фильтрующего элемента - с его заданной минимально допустимой температурой, если окажется после сравнения, что одновременно измеренный перепад давления на фильтрующем элементе меньше или равен максимально допустимому перепаду давления, измеренная температура потока меньше или равна заданной рабочей температуре катализатора и измеренная температура входного либо выходного окислительного нейтрализатора меньше той же заданной рабочей температуры катализатора, то поток подогревают за счет подачи дополнительного топлива в камеру сгорания и сжигания его в кислороде отработавших газов, причем температуры входного и выходного окислительных нейтрализаторов поддерживают равными заданной рабочей температуре катализатора с заданной точностью за счет регулирования

расхода дополнительного топлива, если окажется после сравнения, что измеренная температура потока больше заданной рабочей температуры катализатора при соблюдении остальных двух условий, то подачу дополнительного топлива прекращают, если окажется после сравнения, что одновременно измеренный перепад давления на фильтрующем элементе больше заданного максимально допустимого перепада давления, измеренная температура фильтрующего элемента меньше его заданной минимально допустимой температуры и измеренная концентрация кислорода больше или равна заданной минимально допустимой концентрации кислорода, то поток подогревают за счет подачи дополнительного топлива в камеру сгорания и сжигания его влива в камеру сгорания и сжигания в кислороде отработавших газов, причем температуру фильтрующего элемента поддерживают равной заданной минимально допустимой температуре с заданной точностью за счет регулирования расхода дополнительного топлива до тех пор, пока измеренный перепад давления на фильтрующем элементе остается больше или равен заданному минимально допустимому перепаду давления, если окажется после сравнения, что измеренный перепад давления на фильтрующем элементе меньше заданного минимально допустимого перепада, то снова поддерживают температуры входного и выходного окислительных нейтрализаторов равными заданной рабочей температуре катализатора с заданной точностью так, как описано выше. Если измеренная объемная концентрация в отработавших газах меньше минимально допустимой концентрации кислорода, то подают вторичный газ, содержащей кислород, в зону горения камеры сгорания. В качестве вторичного газа, содержащего кислород, используют воздух. В зоне горения камеры сгорания поддерживают с заданной точностью коэффициент избытка окислителя равным единице с учетом измеренной концентрации кислорода в отработавших газах за счет регулирования расходов дополнительного топлива и вторичного газа, содержащего кислород. Дополнительное топливо и вторичный газ предварительно смешивают до подачи их в зону горения

камеры сгорания. Эту смесь подогревают до подачи ее в зону горения камеры сгорания, за счет энергии потока отработавшего газа, который прошел систему очистки. Дополнительно измеряют температуру потока за фильтрующим элементом, в качестве максимально допустимого перепада давления на фильтрующем элементе используют заданную функцию измеренных оборотов ротора и вязкости, вычисленной по измеренной температуре потока отработавших газов до камеры сгорания, в качестве минимально допустимого перепада давления на фильтрующем элементе используют заданную функцию измеренных оборотов ротора и вязкости, вычисленной по измеренной температуре потока за фильтрующим элементом [5].

Способ очистки отработанных газов

Изобретение относится к способам очистки отработанных газов двигателей внутреннего сгорания от токсичных примесей и может найти применение во многих отраслях народного хозяйства.

Известен способ очистки отработанных газов двигателей внутреннего сгорания от токсичных примесей путём впрыскивания воды в топливо или в воздух. Основным недостатком данного способа является сложное конструктивное оформление процесса, а также необходимость в специальном резервуаре для воды.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности и достигаемому результату является способ очистки отработанных газов дизельных двигателей от токсичных примесей путём последовательного пропускания их через каталитический и жидкостной нейтрализаторы с образованием в последнем парогазовой смеси, смешения очищаемых газов с воздухом и подачи их в двигатель.

Однако в таком способе низкая степень очистки отработанных газов.

Целью изобретения является повышение степени очистки отработанных газов.

Это достигается способом очистки отработанных газов дизельных

двигателей от токсичных примесей, включающим последовательное пропускание их через каталитический и жидкостной нейтрализаторы с образованием в последнем парогазовой смеси, смешение очищаемых газов с воздухом и подачу их в двигатель, в котором на смешение с воздухом подают парогазовую смесь в количестве 3 - 35%.

Данный способ даёт возможность повысить степень очистки отработанных газов от N2 O5 с 360 до 190 г/ч и CO с 180 до 90 г/ч.

П р и м е р. Смесь отработанных газов дизельного двигателя, содержащая примеси NOx и CO и сажи, пропускают через каталитический нейтрализатор, после которого содержание CO в газе снижается с 180 до 90 г/ч, а концентрация сажи с 0,8 до 0,7 усл.ед. при нагрузке двигателя Pe=3 кгс/см2 .

Затем газ подают в жидкостной нейтрализатор, где происходит окончательное отделение сажи и частичное отделение окислов азота и образуется парогазовая смесь, которую далее в количестве 35% направляют через сепаратор в перепускную заслонку в смесительный патрубок, установленный под воздушным фильтром и смешивают с воздухом, поступающим во впускной коллектор дизеля ФМЗ−238. Сепаратор служит для отделения капельной влаги и сажи из перепускаемых газов. Отделяемую в сепараторе влагу возвращают обратно в жидкостной нейтрализатор. С помощью рециркуляции увлажнённых газов снижают содержание N2 O5 в газе с 360 до 190 г/ч при нагрузке двигателя Pe=4 кгс/см2 [6].

Способ очистки отходящих газов

Использование: химическая очистка дымовых и выхлопных газов химических производств ТЭЦ, котельных и ДВС. Сущность изобретения: примесь оксидов азота восстанавливают монооксидом углерода и углеводородами на гранулированном металлофталоцианиновом катализаторе, на гранулированном или монолитном носителе из пористой никельалюминиевой металлокерамики.

Изобретение относится к химической очистке дымовых и выхлопных

газов и может быть использовано на малых ТЭЦ, котельных и в двигателях внутреннего сгорания.

Целью изобретения является повышение производительности при одновременном увеличении степени очистки.

Поставленная цель достигается тем, что очистку отходящих газов от примеси азота производят путём восстановления примесей монооксидом углерода и углеводородами на металлофталоцианиновых катализаторах на гранулированном или монолитном носителе.

В качестве носителя используют пористую никельалюминиевую металлокерамику.

По сравнению с непористым гранулированным или монолитным керамическим носителем, в частности, монолитным кордиеритом, алюмосиликатом или спечёнными оксидами алюминия и переходных металлов, пористая металлокерамика имеет большую реакционную поверхность за счёт развитой пористой структуры. Удаление вредных газов происходит не только по поверхности, но и по всему объёму носителя, пропитанному катализатором, что приводит к увеличению степени очистки.

Большой объём открытых пор (60 - 80%) обуславливает низкое сопротивление носителя пропускаемому потоку газов. В результате повышается производительность при увеличении степени очистки.

Устройство для осуществления способа проведения процесса восстановления NO и окисления CO включает смеситель и реактор с катализатором.

Примером конкретного исполнения способа может служить проведение процесса восстановления NO и окисления CO на экспериментальной установке лаборатории охраны окружающей среды Томского политехнического института. Экспериментальная установка содержит смеситель, реактор с

катализатором, трёхходовой газовый кран. Реактор является проточным, выполнен из молибденового стекла и погружён в песочную

баню, снабжённую автоматическим регулятором температур. Высота реактора - 100 мм, диаметр - 12 мм.

Катализатор выполнен в виде пористых металлокерамических частиц на основе никеля и алюминия (18:82) диаметр 0,75 - 1,5 мм. Частицы пропитываются раствором β-фталоцианина, а именно тетрасульфофталоцианина кобальта (II) с последующей термообработкой. Слой катализатора 10 мм размещён на расстоянии 30 мм от конца реактора со стороны подачи вредных газов.

Другим вариантом выполнения катализатора является спечённый пористый металлокерамический цилиндр диаметром 10 мм, высотой 10 мм со свободным объёмом, т.е. общим объёмом пор в пористом теле 0,575 $м^3/м^2$.

В смесителе оксид азота и монооксид углерода смешиваются с воздухом. Заданный процентный состав и объёмную скорость газа поддерживают с помощью моностатов, реомеров и газовых вентилей. Из смесителя по трубопроводу газ поступает в реактор проточного типа. Газы проходят в реакторе через катализатор, на котором идёт процесс восстановления оксидов азота и доокисления монооксида углерода. Реактор помещён в песочную баню для поддержания температурного режима. После реактора газ по трубопроводу сбрасывается в атмосферу. До и после реактора газ выводится на анализ. В результате анализа получили следующее. Катализатор, в котором носителями являются пористые металлокерамические частицы на основе никеля и алюминия обладает высокой степенью очистки.

Катализатор, в котором носителем является спечённый пористый металлокерамический цилиндр, обладает степенью очистки меньшей, чем при пористых металлокерамических частицах.

Технико-экономическая эффективность обусловлена тем, что в результате использования способа увеличивается скорость и степень очистки отходящих газов, а, следовательно, производительность и эффективность. Кроме того, в реально работающих нейтрализаторах отходящих газов в

настоящее время используются, как правило, нанесённые металлы платиновой группы. Исключение этих металлов из состава гетерогенных катализаторов экономит благородные металлы и снижает стоимость очистки и устройств, где она применяется.

Металлокерамический носитель обладает большей механической прочностью, чем оксидные носители, в результате увеличивается срок службы предлагаемого катализатора [7].

Способ очистки отработавших газов и способ получения блочного носителя или фильтра организованной структуры для катализатора

Способ может быть использован для каталитической очистки газов двигателей внутреннего сгорания дизельного или бензинового транспорта, выбросов промышленных отработавших газов и стоков, а также для приготовления блочных каталитических нейтрализаторов токсичных газов, газовых и жидкостных регенерируемых фильтров. Очистку отработавших газов осуществляют обработкой токсичных компонентов на катализаторе, нанесённом на блочные керамические носители и фильтры организованной упорядоченной структуры. Приготовление формованного носителя катализатора и фильтра проводят путём послойного укладывания или намотки предварительно обработанных и пропитанных керамической массой формообразующих материалов. Это могут быть выгорающие и/или невыгорающие волокнистые или армирующие сетчатые или перфорированные материалы. Заявленные условия сборки и обработки позволяют получать блочные носители катализаторы и фильтры любой формы, структуры и габаритов при упрощении технологии и снижении экономической ёмкости процесса приготовления. Технический результат заключается в том, что способ позволяет осуществлять эффективную многофункциональную очистку дымовых газов благодаря сочетанию свойств нейтрализатора со сквозными каналами и фильтра с газопроницаемыми стенками.

Изобретение относится к технологии комплексной газоочистки

блочных полифункциональных катализаторов и газожидкостных фильтров и может быть использовано для нейтрализации токсичных компонентов в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания бензинового или дизельного автомобильного, водного, железнодорожного транспорта и в отходящих газах и стоках промышленных предприятий.

Основной традиционный способ очистки выхлопных газов основывается на использовании многофункциональных катализаторов, которые осуществляют наряду с окислением продуктов неполного сгорания одновременное восстановление токсичных оксидов азота до нейтральных молекул.

Для этого используются каталитические системы, содержащие благородные металлы, расположенные на одном или нескольких слоях блочных, монолитных носителей сотовой структуры.

Однако этот наиболее распространённый способ каталитической очистки в силу особенностей носителя сотовой структуры с прямолинейными сквозными каналами имеет ограничения по эффективности при высоких скоростях газового потока, связанные с процессами тепломассообмена. Для преодоления этих ограничений предлагалось использовать вместо одного длинного блока несколько коротких или придавать каналам криволинейную форму при экструзии. Приготовление таких носителей экструзионным способом формования сопряжено со сложностью подбора пластической массы и изготовления фильеры с высокой плотностью каналов.

Кроме того упомянутые каталитические системы не являются универсальными, поскольку для дизельных установок задача очистки усложняется выбросами твёрдых углеродных частиц и полиароматических углеводородов, а также оксидов серы, и существующие катализаторы не могут обеспечивать достаточно полной защиты.

Для очистки дизельных выхлопных газов наибольшее значение приобретает проблема нейтрализации основных, токсичных компонентов -

сажи и оксидов азота. Фильтрующие свойства сотовых блочных носителей с прямолинейными каналами низки и не позволяют использовать их для очистки выхлопных газов дизеля [8].

В этих условиях даже наиболее совершенные керамические сажевые фильтры с газопроницаемыми стенками и использованием дополнительного блочного нейтрализатора перед фильтром не решают проблемы полной очистки.

Известен способ изготовления монолитного керамического фильтра с проницаемыми стенками. В этом способе после экструзионного формования носителя с квадратными сотовыми каналами отверстия на концах каналов закрываются со стороны входа и выхода потока и газ, поступая во входные каналы, проходит через пористые стенки, фильтруется и удаляется через соседние выходные каналы. Из-за наличия тонких сквозных пор в стенках создаются высокие степени фильтрации твёрдых сажевых частиц, но и быстрое нарастание противодавления. Нанесение катализатора на фильтр такой конструкции для регенерации сажи даёт дополнительное ухудшение газопроницаемости, а более широкие поры нарушают прочностные характеристики фильтра.

Известен способ получения блочного носителя катализатора, отличающийся простотой и экономичностью создания керамической формы блока с сотовыми каналами. В нём вместо экструзионного формования используют соединение поочерёдно укладываемых слоёв полотна и выгорающих формообразующих элементов, пропитанных пастообразной массой. Размеры блоков, структура и форма каналов и стенок задаётся только одним параметром подбором выбранных формообразующих элементов и полотна. Полотняное переплетение нитей используется для получения стенок между каналами, а в качестве формообразующего выгорающего каркаса используют материалы, например, из поливинилхлорида или древесины. К недостаткам способа можно отнести использование в качестве материала для пропитки только полотняных тканых материалов - это сужает круг

используемых материалов и не обеспечивает получение носителей и тем более фильтров с широким изменением свойств: проницаемость, фильтрация, прочность, пористость и развитость поверхности. Такой же вывод можно сделать и об использовании в качестве формообразующих элементов, определяющих форму и размеры каналов, только выгорающих материалов. Задачей изобретения является устранение указанных недостатков и получение эффективного нанесённого катализатора и фильтра с улучшенной газопроницаемостью, тепло- и массообменными свойствами.

В заявленном способе очистки отработавших газов используют нейтрализацию токсичных компонентов на катализаторах, расположенных на блочных керамических носителях и/или фильтрах организованной структуры, формируемой путём послойного укладывания или намотки предварительно обработанных формообразующих элементов и полотна, пропитанных формовочной массой, причём в качестве формообразующих элементов используют выгорающие и/или невыгорающие при термообработке волокнистые или армирующие сетчатые или перфорированные материалы, а в качестве полотна используют волокнистые тканые и/или нетканые, выгорающие и/или невыгорающие при термообработке материалы.

В изобретении используются следующие дополнительные отличия:

− формообразующие элементы предварительно обрабатывают с формированием газопроницаемых стенок керамических каналов, расположенных вдоль газового потока по прямой или кривой линии в виде сплошных или прерывистых пластинок, столбиков или цилиндров;

− формообразующие элементы дополнительно обрабатывают аппретирующими, выгорающими при термообработке веществами;

− в формовочную керамическую массу при её приготовлении вводят модификаторы, например, пластифицирующие, каталитические, электропроводящие, композиционные добавки;

− формование носителя осуществляют обработкой в вакууме;

− для увеличения прочности и однородности блока при формировании носителя его подвергают прессованию;

− послойную укладку или намотку элементов блока осуществляют с изменением толщины слоёв и/или смещением слоёв относительно друг друга с последующей фиксацией в газопроницаемом каркасе.

Преимуществом использования заявленных носителей и фильтров-катализаторов является возможность изготовления блоков с организованной керамической структурой каналов, в том числе винтовых, стенки которых помимо пор имеют отверстия для более лёгкого прохождения фильтруемого газа. Кроме того, в заявленном способе приготовления используется более широкий набор тканых и нетканых волокнистых материалов на выгорающей и армирующей сетчатой или перфорированной основе, а укладку набора чередующихся слоёв при формировании блока проводят с изменением толщины и смещением их относительно друг друга. Слои скрепляют заполненными массой перемычками, число и направление которых изменяется по толщине слоя носителя и уложенные слои сжимают в металлическом каркасе перед термообработкой. Перечисленные стадии приготовления блочного носителя являются принципиально отличными по сравнению с предложенными в прототипе и позволяют изменять форму и направление каналов, создавать проницаемые для газа стенки, обеспечивающие фильтрацию газа и дающие возможность в одном монолитном блоке получать как керамический носитель с сотовыми сквозными каналами, так и фильтр с регулируемой высокой газопроницаемостью стенок [9].

2.5. Методы оценки экономического ущерба от влияния работы тепловозов на окружающую среду

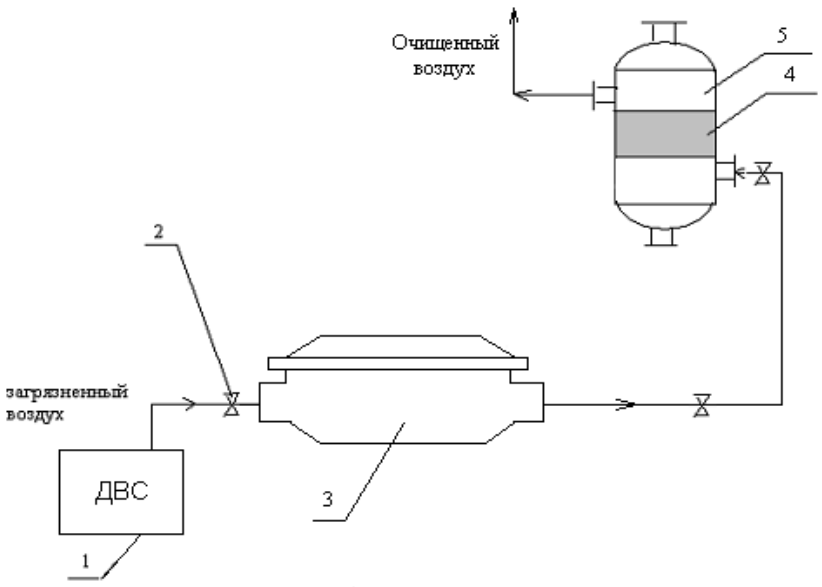


Рис.2.3. Промышленная установка по очистки отработавших газов: 1- двигатель внутреннего сгорания, 2 - запорный вентиль, 3 - фильтр, 4 - известковый катализатор, 5 - каталитический нейтрализатор

Принцип действия предлагаемой установки заключается в следующем. Загрязненный воздух после двигателя внутреннего сгорания 1 поступает в фильтр 3, который предназначен для очистки воздуха двигателей внутреннего сгорания. Он содержит прикрепленный к двигателю корпус с крышкой и установленный в корпусе фильтрующий элемент, выполненный в виде концентрично расположенных внешнего и внутреннего перфорированных цилиндров, между которыми помещена многолучевая бумажная штора, верхней и нижней эластичных крышек, жестко установленных на торцах перфорированных цилиндров и фильтровального материала, размещенного по наружной поверхности внешнего цилиндра. Фильтровальный материал выполнен из трикотажного полотна, закрепленного верхней и нижней эластичными крышками. Трикотажное полотно выполнено из полимерных нерастяжимых и эластомерных нитей, в структуре которого эластомерная нить расположена между петлями из нерастяжимых нитей в виде футера с чередованием через одну петлю и

провязана в петли с нерастяжимой нитью с чередованием: через 4 - 8 петель по петельному столбику и через 3 - 5 рядов - по петельному ряду, причем модуль петель из нерастяжимой нити больше модуля петли из эластомерной нити в 3,4 раза. Техническим результатом является увеличение качества очистки воздуха при работе двигателей внутреннего сгорания за счет создания фильтровальной поверхности повышенной плотности и увеличение срока эксплуатации за счет получения фильтровального трикотажного полотна с переменной проницаемостью. Эффективность очистки от сажи достигает 98 - 99% [10].

Следующая стадия очистки протекает в каталитическом нейтрализаторе 5, катализатором 4 в котором является известняк CaCO3. Очистка происходит по следующим реакциям:

$CaCO3 + NO2 + NO + H2O \rightarrow Ca(NO3)2 + H2CO3 + O2\uparrow$

$CaCO3 + CO2 + H2O \rightarrow Ca(HCO3)2$;$(HCO3)2 + SO2 + H2O \rightarrow CaSO3 \cdot H2O + 2CO2$;

$CaSO3 \cdot H2O + 1/2\ O2 \rightarrow CaSO4 \cdot H2O$

Степень очистки в катализаторе равна 90-95% . Помимо очистки от оксидов азота и серы происходит очистка от частиц сажи с эффективностью 20% и других веществ.

Данная схема позволяет очистить отработанные газы от всех загрязняющих компонентов, то есть довести их концентрации до ПДК и ниже, следовательно, снизить негативное воздействие на окружающую среду.

2.6. Оценка эффективности разработанных мероприятий

Масса компонентов отработанных газов поступивших на очистку можно определить

$$M = Mi1j + Mi2j, \quad (2.22)$$

где M - масса компонентов поступивших на очистку, г/с;

Mi1j - масса i - го компонента отработанного газа на входе в j - ый аппарат, г/с;

Mi2j - масса i - го компонента отработанного газа на выходе из j - го аппарата, г/с.

Если известна степень очистки (α) , то

$$Mi2j = Mi1j (1 - \alpha j), \quad (2.23)$$

где αj - степень очистки j - го аппарата.

По формуле (2.23) находим массу на выходе из установки

$Mc = 0,495 \cdot (1 - 0,99) \cdot (1 - 0,2) = 0,004$ г/с,

$MSO_2 = 6,932 \cdot (1- 0,95) = 0,346$ г/с,

$MNO_2 = 1,146 \cdot (1- 0,95) = 0,057$ г/с.

Массу отведенную из аппарата можно найти по формуле

$$Mi3j = Mi1j - Mi2j \quad (2.24)$$

$Mc = 0,495 - 0,004 = 0,491$ г/с,

$MSO_2 = 6,932 - 0,346 = 6,586$ г/с,

$MNO_2 = 1,146 - 0,057 = 1,089$ г/с.

Аналогично считаем массы на выходе и поглощенные в аппарате для всей предлагаемой установки и результаты расчетов сведем в таблицу 7.

По формуле (2.8) рассчитаем максимальное значение приземных концентраций после проведения природоохранных мероприятий

$$c_м^c = \frac{200 \cdot 0,004 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1,184 \cdot 1}{16^2 \sqrt[3]{1,635 \cdot 100}} = 0,0007$$ мг/м3,

$$c_м^{so_2} = \frac{200 \cdot 0,346 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1,184 \cdot 1}{16^2 \sqrt[3]{1,635 \cdot 100}} = 0,057$$ мг/м3,

$$c_м^{NO_2} = \frac{200 \cdot 0,057 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1,184 \cdot 1}{16^2 \sqrt[3]{1,635 \cdot 100}} = 0,009$$ мг/м3.

Сведем полученные значения в таблицу 2.6.

Таблица 2.6

Сводная таблица загрязняющих веществ при сжигании минерального топлива после проведения природоохранных мероприятий

Показатель	Сажа	Оксид углерода	Диоксид серы	Диоксид азота	Оксид азота
Расход топлива, г/с (т/год)	353,65(5500)	353,65(5500)	353,65(5500)	353,65(5500)	353,65(5500)
Объем газовоздушной смеси, м3/с	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635
ПДК, мг/м3	0,15	5,0	0,5	0,2	0,4
Фактическая концентрация, мг/м3	0,0007	0,312	0,057	0,009	0,192
ПДВ г/с, (т/год)	0,179(2,789)	5,970(92,845)	1,493(23,219)	0,009(4,650)	1,493(23,219)
Максимально-разовый выброс, г/с	0,004	1,862	0,346	0,057	0,186
Валовой выброс загрязняющих веществ, т/год	0,062	28,958	5,381	0,886	2,893
Превышение концентрации загрязняющих веществ, раз	-	–	-	-	–

Таблица 2.7

Материальный баланс загрязняющих веществ

Наименование ингредиента	Масса выброса (сброса) загрязняющего вещества						ПДВ, (ПДС)		Степень очистки, %
	г/с			т/год					
	на входе	Поглощ.	На выходе	На входе	Поглощ.	На выходе	г/с	т/год	
Фильтр для очистки воздуха									
сажа	0,495	0,490	0,005	7,698	7,620	0,078	0,179	2,784	99
CO	1,862	-	1,862	28,958	-	28,958	5,970	92,845	-

SO2	6,932	-	6,932	107,806	-	107,806	1,493	23,219	-
NO2	1,146	-	1,146	17,823	-	17,823	0,299	4,650	-
NO	0,186	-	0,186	2,893	-	2,893	1,493	23,219	-
Каталитический нейтрализатор									
сажа	0,005	0,001	0,004	0,078	0,016	0,062	0,179	2,784	20
CO	1,862	-	1,862	28,958	-	28,958	5,970	92,845	-
SO2	6,932	6,586	0,346	107,806	102,425	5,381	1,493	23,219	95
NO2	1,146	1,089	0,057	17,823	16,936	0,886	0,299	4,650	95
NO	0,186	-	0,186	2,893	-	2,893	1,493	23,219	-

В результате расчета материального баланса необходимое условие (сумма масс на входе должна быть равна сумме масс на выходе + сумме масс поглощения) было выполнено:

,752 = 8,166 + 12,586

Следовательно, применение предлагаемой схемы является целесообразным для решения поставленной задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тепловозы в настоящее время являются достаточно активными источниками загрязнения воздушного бассейна сажей, окисью углерода, сернистым ангидридом, окислами азота, фенолами, альдегидами и другими вредными веществами.

Выбросы указанных компонентов представляют угрозу окружающей среде, поскольку приводят к возникновению «парникового эффекта», деградации озонового слоя и образованию «кислотных» дождей. Очистка отработавших газов от токсикантов представляет сложную химико-технологическую задачу, требует привлечения дополнительных капитальных вложений, материально-сырьевых и энергетических ресурсов.

Выбросы вредных компонентов в окружающую среду имеют неблагоприятный характер, поскольку меняются нагрузки, качество минерального топлива и условия сжигания топлива. Это в свою очередь усложняет эксплуатацию очистных сооружений. Поэтому требуется жёсткий контроль за нормированием выбросов вредных компонентов в окружающую среду как по предельно-допустимым выбросам (ПДВ), так и по предельно-допустимым концентрациям (ПДК). Эти положения декларируются в законе об атмосферном воздухе Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автотранспортное загрязнение придорожных территорий: моногр. / В.П. Подольский и др. - М.: Издательство Воронежского Университета, 2019. - 264 с.

2. Андреева, Е. В. Атмосфера и жизнь / Е.В. Андреева, Т.Н. Кладо. - М.: Гидрометеорологическое издательство, 2019. - 268 с.

3. Атмосфера земли. - М.: Культурно-просветительной литературы, 2016. - 424 с.

4. Белоцерковский, О. М. Динамика пространственных вихревых течений в неоднородной атмосфере / О.М. Белоцерковский, В.А. Андрущенко, Ю.Д. Шевелев. - М.: Янус-К, 2016. - 456 с.

5. Вальтер, Джон Кильнер Атмосфера человека (аура) / Вальтер Джон Кильнер. - Москва: СИНТЕГ, 2016. - 328 с.

6. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения / Н.П. Лысенко и др. - М.: Лань, 2017. - 240 с.

7. Гарвей, Джон Атмосфера и океан. Наша жидкая окружающая среда / Джон Гарвей. - М.: Прогресс, 2015. - 182 с.

8. География и землеведение. 6 класс. Атмосфера и биосфера. - М.: ИДДК, 2015. - 115 с.

9. Гилл, А. Динамика атмосферы и океана (том 1) / А. Гилл. - М.: [не указано], 2019. - 593 с.

10. Гилл, А. Динамика атмосферы и океана / А. Гилл. - М.: Книга по Требованию, 2016. - 399 с.

11. Гранков, А. Г. Взаимосвязь радиоизлучения системы океан-атмосфера с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела / А.Г. Гранков, А.А. Мильшин. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. - 168 с.

12. Другов, Д.И. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов / Д.И. Другов. - М.: Бином, 2019. - 424 с.

13. Другов, Ю. С. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов / Ю.С. Другов, А.А. Родин. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 472 с.

14. Другов, Ю. С. Анализ загрязненных биосред и пищевых продуктов / Ю.С. Другов, А.А. Родин. - Москва: Наука, 2019. - 296 с.

15. Другов, Ю. С. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды, почвы и биосред / Ю.С. Другов, И.Г. Зенкевич, А.А. Родин. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2018. - 752 с.

16. Другов, Ю. С. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха / Ю.С. Другов, А.А. Родин. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 528 с.

17. Заварзин, Г.А. Бактерии и состав атмосферы / Г.А. Заварзин. - М.: Наука, 2017. - 199 с.

18. Курганский, М. В. Введение в крупномасштабную динамику атмосферы (адиабатические инварианты и их применение) / М.В. Курганский. - М.: Гидрометеоиздат, 2019. - 168 с.

19. Новиков, Александр Николаевич; Иващук О. А. Влияние Технического Состояния Парка Автомобилей На Загрязнение Атмосферного Воздуха / Новиков Александр Николаевич; О. А. Иващук, Л.Ф. Ставчикова. - Москва: Гостехиздат, 2019. - 669 с.

20. Новиков, Александр Николаевич; Иващук О. А. Загрязнение Атмосферного Воздуха При Эксплуатации И Обслуживании Автотранспорта / Новиков Александр Николаевич; О. А. Иващук, Л.Ф. Ставчикова. - Москва: РГГУ, 2016. - 733 с.

21. Опекунова, М. Г. Биоиндикация загрязнений / М.Г. Опекунова. - М.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2016. - 266 с.

22. Пис, Йозеф Альфа-липоевая кислота - универсальное лекарство против свободных радикалов, загрязнений окружающей среды, клеточного старения / Йозеф Пис. - Москва: СИНТЕГ, 2017. - 152 с.

23. Погосян, Х. П. Атмосфера и человек / Х.П. Погосян. - М.: Просвещение, 2017. - 160 с.

24. Рассел, Джесси Загрязнение атмосферы Земли / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2016. - 827 с.

25. Седунов, Я.С. Атмосфера / Я.С. Седунов. - М.: [не указано], 2017. - 459 с.

26. Сергей, Владимирович Михайлюта Динамика загрязнения атмосферы в условиях города: моногр. / Сергей Владимирович Михайлюта, Ольга Викторовна Тасейко und Юрий Владимирович Захаров. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. - 124 с.

27. Старожилов, Валерий Титович 33 Эколого-Геохимические Изменения Ландшафтов При Загрязнении Почв Дальневосточных Городов Тяжелыми Металлами: Учебное Пособие. / Старожилов Валерий Титович. - Москва: Мир, 2017. - 319 с.

28. Стрижанцева, Ольга Загрязнение атмосферы Юго-Западного Кыргызстана / Ольга Стрижанцева. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. - 144 с.

29. Тарасов, Л.В. Атмосфера нашей планеты / Л.В. Тарасов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. - 229 с.