

На правах рукописи



АНДРЮЩЕНКО СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ

**УМЕНЬШЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА С
ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ
ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ ДИЗЕЛЬНОГО
ТОПЛИВА С ВОДОЙ**

Специальность 05.08.05 – «Судовые энергетические установки
и их элементы (главные и вспомогательные)»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2014

Работа выполнена в **Федеральном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирская государственная академия водного транспорта» (ФБОУ ВПО «НГАВТ»)**

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Юр Геннадий Сергеевич

Официальные оппоненты: **Свистула Андрей Евгеньевич**,
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный
технический университет им.
И.И. Ползунова» (г. Барнаул), заведующий
кафедрой «Двигатели внутреннего
сгорания»

Федюнин Павел Иванович,
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный
аграрный университет»
(г. Новосибирск), заведующий кафедрой
«Тракторы и автомобили»

Ведущая организация: Государственное научное учреждение
**«Сибирский физико-технический
институт аграрных проблем»**
Российской академии сельскохозяйственных
наук (г. Новосибирск)

Защита состоится 19 ноября 2014 г. в 10 часов (ауд. 227) на заседании диссертационного совета Д 223.008.01 при ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» по адресу: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ» (тел./факс (383)222-49-76, e-mail: nsawt_ease@mail.ru или ese_sovet@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» и на официальном сайте ФБОУ ВПО «НГАВТ»: www.nsawt.ru.

Автореферат разослан 15 октября 2014 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Коновалов
Валерий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Приняв Федеральный закон № 2222 «Об охране атмосферного воздуха» Российская Федерация обязалась осуществлять международное сотрудничество и выполнять Международные нормы по ограничению загрязнения окружающей среды. Из этого следует, что все судовые дизели, выпускаемые и эксплуатирующиеся в нашей стране должны соответствовать требованиям Технического Кодекса Приложения VI Материалов Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78.

Среди нормируемых химических соединений содержащихся в отработавших газах дизеля наиболее опасными для природы и человека являются оксиды азота.

В соответствии с требованиями МАРПОЛ 73/79 до 2016 года на Североамериканском побережье США и Канады, а также на Балтийском море, предусмотрено сокращение выбросов оксидов азота более чем в 3,5 раза (на уровне IMO Tier-3).

Уменьшение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля является весьма сложной задачей, так как это связано с ограничениями максимальной температуры цикла, термического КПД и, следовательно с ограничениями по топливной экономичности. Если для вновь проектируемых дизелей генеральным направлением улучшения экологических показателей является разработка адаптивных двигателей и повышение давления впрыскивания топлива, то для дизелей находящихся в эксплуатации альтернативным решением является применение водотопливной эмульсии (ВТЭ).

Эмульсия топлива с водой используется в судовых дизелях выпускаемых корпорациями MAN Diesel & Turbo SE (Германия-Дания) и Mitsubishi (Япония). Целесообразность применения водотопливных эмульсий для снижения вредных выбросов и необходимость проведения дополнительных исследований в этой области отмечалась в выступлениях докладчиков на Международном конгрессе CIMAC-2013.

Поэтому научно-исследовательские работы по применению водотопливных эмульсий для улучшения экологических показателей судовых дизелей являются актуальными.

Цель исследования. Уменьшение выбросов оксидов азота содержащихся в отработавших газах судового дизеля посредством применения микрогетерогенной эмульсии дизельного топлива с водой.

Объектом исследования являются процессы в дизеле, использующем водотопливную эмульсию с целью улучшения экологических характеристик.

Методика исследования. В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования. Расчёты динамики роста зародыша парогазового пузырька в капле ВТЭ выполнялись посредством численного моделирования. Экспериментальные исследования процесса испарения капли эмульсии в нагретой воздушной среде проводились на специальной опытной установке. Сравнительные испытания влияния дисперсности ВТЭ на рабочие характеристики дизеля выполнялись на дизеле Ч 10,5/12. Концентрация нормируемых газообразных загрязняющих веществ в отработавших газах измерялась газоанализатором, дымность при помощи дымомера. Давление газа в камере сгорания дизеля по углу поворота коленчатого вала определялось стробоскопическим индикатором давления «ДЕКАРТ». Данные, полученные в ходе экспериментальных исследований, обрабатывались на компьютере.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивалась:

- использованием современных поверенных измерительно-регистрирующих приборов и автоматизированных средств измерения;
- результатами сравнительных стендовых испытаний двигателя на дизельном топливе и водотопливной эмульсии;
- использования современных программных комплексов для выполнения численных исследований;
- удовлетворительным подтверждением результатов теоретических исследований с данными, полученными экспериментальным путем.

Теоретическая и практическая значимость. С использованием результатов теоретических и экспериментальных исследований спроектирована и изготовлена опытная установка для приготовления микрогетерогенной водотопливной эмульсии.

Сравнительные испытания двигателя на дизельном топливе, грубой и микрогетерогенной эмульсии дизельного топлива показали эффективность использования полученной микрогетерогенной ВТЭ в судовых дизелях без внесения изменений в конструкцию двигателей.

Научная новизна:

- разработана математическая модель процесса роста зародыша парогазового пузырька в капле ВТЭ;
- выполнено численное исследование этого процесса при различных условиях;
- проведено экспериментальное исследование процесса испарения капель дизельного топлива и эмульсии дизельного топлива с водой в нагретой воздушной среде;

- получены результаты сравнительных испытаний дизеля по нагрузочной и винтовой характеристике на дизельном топливе, грубой и микрогетерогенной водотопливной эмульсии;

- численно исследованы и проанализированы характеристики тепловыделения при работе на безводном и эмульгированном дизельном топливах различной дисперсности.

Личный вклад автора заключается:

- в постановке задач и разработке методик проведения теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов;

- в разработке теоретической модели и выполнении численных исследований динамики роста парогазового пузырька в капле ВТЭ помещенной в нагретую воздушную среду;

- в изготовлении и испытании опытной установки для получения микрогетерогенной водотопливной эмульсии;

- в проведении сравнительных стендовых испытаний двигателя на дизельном топливе, грубой и микрогетерогенной ВТЭ;

- в выполнении численного исследования и анализе характеристик тепловыделения дизеля при работе на различных топливах.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы представлялись и обсуждались на пятой международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2012» (Краснообск, 2012 г); и научно-технических конференциях и семинарах проводимых в Новосибирской государственной академии водного транспорта.

Реализация результатов исследования. Практические рекомендации переданы для внедрения в ФБУ «Администрация Обского БВП» на флоте и в ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» в учебном процессе.

Публикации. По теме диссертации опубликовано десять печатных работ, в том числе шесть в периодических изданиях рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и двух приложений. Работа представлена на 129 страницах машинописного текста, включает 14 таблиц, 38 рисунков и список литературы 128 наименований.

Содержание диссертации является составной частью госбюджетной научно-исследовательской работы по теме: «Совершенствование процессов смесеобразования и сгорания в судовых дизелях» (№ государственной регистрации 01.2.00.109.551).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, теоретическая и практическая значимость, степень её разработанности, цель и задачи исследования, научная новизна. Дается краткое описание выполненных исследований, приводятся методология и методы исследования, степень достоверности, апробация результатов и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ международных и отечественных нормативных документов в области ограничения загрязнения атмосферного воздуха судовыми дизелями.

Сделан обзор данных по выбросам вредных (загрязняющих) веществ отечественными судовыми дизелями, находящимися в эксплуатации. Показано, что с 2016 г. у всех находящихся в эксплуатации судовых дизелей, которые выпущены до 2002 г. удельные средневзвешенные выбросы оксидов азота будут превышать нормы установленные требованиями Технического Кодекса МАРПОЛ 73/78.

На основе проведенного анализа основных направлений комплексного улучшения экологических и экономических показателей дизелей показано, что подавляющее большинство известных технологий связаны с усложнением конструкции дизеля, повышением его стоимости и увеличением затрат на обслуживание и эксплуатацию. Определено, что наиболее простым и эффективным способом уменьшения концентрации оксидов азота в отработавших газах судовых дизелей является использование водотопливной эмульсии.

Значительный вклад в области применения ВТЭ в двигателях внутреннего сгорания внесли отечественные и зарубежные ученые: Большаков В.Ф., Горячкин А.В., Иванов И.А., Исаков А.Я., Кондратьев Е.Н., Кормилицин В.И., Криман Р.И. Князев Н.Н., Кустов М.В., Сергеев Л.В., Петров В.Н., Погребинский З.Б. Лебедев О.Н, Ценев В.А. Abu-zaid M. Armas O, Hountalas D, Kadodta T, Leug P., Maria R.B., Morozumi Y., Yoshimoto Y. и многие другие.

В 1980-х годах большой объем работ по изучению и внедрению водотопливных эмульсий на речном флоте был выполнен в Новосибирском институте инженеров водного транспорта (ныне ФБОУ ВПО «НГАСТ») под руководством д-ра техн. наук, профессора О.Н. Лебедева. Опытная эксплуатация судовых дизелей на ВТЭ тяжелого топлива с водой в Западно-Сибирском речном пароходстве показала заметное улучшение экономичности, снижение вредных выбросов и температуры отработавших газов.

Однако, при наличии большого объема проведенных учёными различных школ теоретических и экспериментальных исследований по

использованию эмульгированных топлив в дизелях, видно, что опубликованные ими в открытой печати результаты весьма неоднозначны, а иногда и противоречивы. Это обстоятельство определяет необходимость продолжения научно исследовательских работ в этой области.

На основе сделанных выводов планируется решение следующих задач:

- 1 Разработать математическую модель процесса роста зародыша парогазового пузырька находящегося в капле водотопливной эмульсии;

- 2 Выполнить численные исследования влияния дисперсности эмульсии на динамику роста зародыша парогазового пузырька при различных условиях;

- 3 Экспериментально изучить особенности процесса испарения капли эмульсии в нагретой воздушной среде;

- 4 Провести сравнительные испытания двигателя на дизельном топливе, грубой и микрогетерогенной водотопливной эмульсии;

- 5 Провести численное исследование и анализ характеристик тепловыделения при работе на дизельном и эмульгированном топливе различной дисперсности.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию процесса микросмесеобразования эмульсии дизельного топлива с водой.

Отличительной особенностью процесса микросмесеобразования ВТЭ от процесса микросмесеобразования дизельного топлива является явление, получившее название «микровзрыва». «Микровзрыв» представляет собой выброс образовавшихся внутри капли паров за её пределы. Динамика процесса «микровзрыва» определяется множеством взаимосвязанных и пока еще малоизученных физических явлений. Поэтому разработка математической модели и численное исследование процесса роста парогазовой микросферы внутри капли эмульсии в условиях камеры сгорания дизелей является актуальной и весьма сложной задачей.

Большой вклад в разработку осреднённой математической модели процесса испарения капли эмульсии в условиях камеры сгорания дизелей, был сделан д-ром техн. наук, профессором О.Н. Лебедевым и учениками его научной школы. В экспериментальных и теоретических исследованиях процессов микро- и макросмесеобразования принимали участие С.А. Калашников, В.П. Носов, В.Н. Марченко, В.Д. Сисин, В.П. Закржевский, В.Е. Антонов, И.Н. Петриченко, О.И. Линевиц, И.Г. Мироненко и другие.

При анализе динамики развития зародыша в виде парогазового пузырька, возьмём за основу осуществления процесса тепломассообмена

между каплей и нагретой газовой средой физико-математическую модель. Основанная на глубоком фундаментальном подходе физико-математическая модель О.Н. Лебедева не является универсальной и нуждается в дальнейшем развитии.

Целью теоретического исследования является изучение динамики развития парогазовой каверны внутри капли ВТЭ при различных внешних условиях.

Исследование динамики развития парогазового пузырька будем проводить с использованием модели механизма фазовых превращений, которая была предложена А.Я. Исаковым и получила дальнейшее развитие в работах других ученых.

Предположим, что в капле топлива находится частица воды, содержащая зародыш парогазового пузырька.

На рисунке 1 схематично изображена физическая модель капли водотопливной эмульсии.

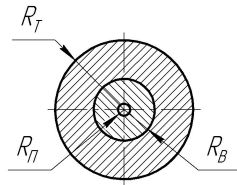


Рисунок 1 – Физическая модель капли водотопливной эмульсии содержащей внутри частицы воды парогазовый пузырек: R_T - радиус капли топлива; R_B - радиус частицы воды; $R_П$ - радиус зародыша парогазового пузырька

Тогда, для рассматриваемой модели уравнение равновесия всех действующих на пузырёк давлений в любой заданный промежуток времени запишется в виде

$$\left[R \frac{d^2 R}{d\tau^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{d\tau} \right)^2 \right] \rho - \left[\Delta P(T) - \left(\frac{2\sigma_a}{R_n} + \frac{2\sigma_a}{R_e} + \frac{2\sigma_m}{R_m} \right) \right] = -P_a, \quad (1)$$

где R_n – текущий радиус парогазового зародыша;

τ – время;

ρ – плотность жидкости в которой находится парогазовый зародыш;

$\Delta P(T)$ – разность давлений на границе раздела жидкой и газообразной фазы;

σ_a, σ_m – коэффициенты поверхностного натяжения на границах парогазового пузырька, частицы воды, капли топлива;

P_a – давление газовой среды.

Примем следующие начальные условия:

– радиус зародыша парогазового пузырька меньше радиуса частицы воды;

– радиус капли топлива меньше радиуса частицы воды.

Для упрощения процесса численного исследования расчёт будем вести в безразмерных параметрах, для чего введем безразмерные переменные.

Для радиуса кавитационного пузырька

$$\bar{R} = \frac{R}{r}, \quad (2)$$

где R – текущий радиус пузырька;

r – характерный радиус пузырька.

Для времени

$$\bar{t} = \frac{\tau}{t}, \quad (3)$$

где τ – текущее время;

t – характерное время.

В результате численного исследования установлено, что после потери устойчивости, с течением времени, скорость роста парогазового пузырька резко увеличивается. При достижении критического размера пузырька происходит выброс паров воды за пределы капли.

На рисунке 2 и 3 в качестве примера приведены результаты выполненного численного расчёта.

Из приведенных графиков видно, что с уменьшением дисперсности воды в эмульсии и повышении тонкости распыливания скорость развития зародыша парогазового пузырька снижается, а с повышением температуры и давления окружающей газовой среды – увеличивается.

В третьей главе в результате анализа опубликованных данных отмечается, что вода, находящаяся в эмульсии оказывает на процессы смесеобразования и горения распыленного в топлива физическое, химическое и каталитическое действие.

Дано описание экспериментальной установки и методики исследования. Приведены результаты экспериментального исследования процессов испарения капель дизельного топлива и водотопливной эмульсии в нагретой воздушной среде.

Исследования показали, что в процессе роста парогазовые пузырьки перемещаются от центра капли топлива к её границе. Они движутся изолированно друг от друга и не сливаются между собой. В момент соприкосновения оболочек парогазового пузырька и капли топлива

наблюдается выброс пара за пределы капли. Явления объёмного взрыва всей капли ВТЭ не замечено.

Полученные сведения, подтвердили адекватность принятой физической модели развития зародышей парогазовых пузырьков внутри капли ВТЭ.

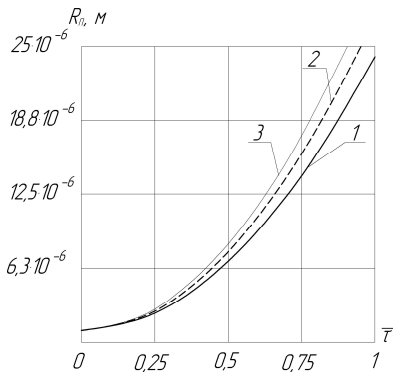


Рисунок 2 – Влияние размера частицы воды в капле топлива (дисперсности водной фазы) на скорость роста зародыша парогазового пузырька. Исходные данные: радиус парогазового пузырька $R_{II} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м; радиус капли дизельного топлива $R_T = 25 \cdot 10^{-6}$ м; давление газа в камере сгорания $P_a = 0,0981$ МПа. Радиус частицы воды: 1- $R_B = 2 \cdot 10^{-6}$ м; 2- $R_B = 3,85 \cdot 10^{-6}$ м; 3- $R_B = 8 \cdot 10^{-6}$ м

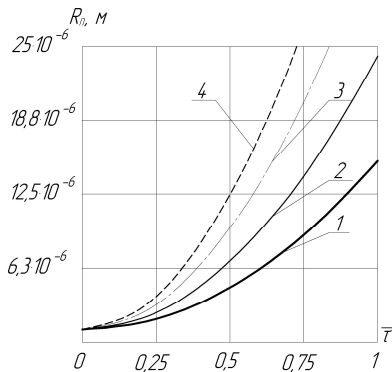


Рисунок 3 – Динамика изменения радиуса парогазового пузырька при различной температуре газовой среды. Исходные данные: радиус частицы воды $R_B = 2,0 \cdot 10^{-6}$ м; радиус парогазового пузырька $R_{II} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м; радиус капли дизельного топлива $R_T = 25 \cdot 10^{-6}$ м; давление газа в камере сгорания $P_a = 0,0981$ МПа. Температура среды: 1- $T = 293$ К; 2- $T = 373$ К; 3- $T = 473$ К; 4- $T = 573$ К

С учётом сведений полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований спроектирована, изготовлена и испытана опытная установка для приготовления микрогетерогенной эмульсии дизельного топлива с водой.

Показано, что полученная в опытной установке микрогетерогенная эмульсия более однородна и более устойчива к осаждению водной фазы.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований рабочих характеристик двигателя при

работе на дизельном топливе и водотопливной эмульсии различной дисперсности и концентрации водной фазы.

Экспериментальные исследования проводились на одноцилиндровом двигателе Ч 10,5/12, который был изготовлен из двухцилиндрового дизеля посредством отключения топливоподачи во второй цилиндр. Такая модернизация не отразилась на уравниваемости дизеля, но привела к повышению механических потерь и как следствие увеличила удельный эффективный расход топлива.

Приведено описание нагрузочного стенда, методики проведения испытаний и выполнен анализ погрешностей измерений. Отмечено, что погрешности измерений не превышают значений, установленных отечественными государственными стандартами.

Исследовательские работы велись с соблюдением требований ГОСТ 10448-80; ГОСТ 24028-80; ГОСТ 24545-81; ГОСТ 24060.12-79.

Давление по углу поворота коленчатого вала в цилиндре дизеля измерялось пьезокварцевым датчиком при помощи стробоскопического индикатора марки «ДЕКАРТ». Концентрация газообразных вредных веществ содержащихся в отработавших газах газоанализатором «ЭКСПЕРТ».

Для исследований применялось дизельное топливо ГОСТ 305-82 «Л» с температурой вспышки не менее 61 °С.

В качестве эмульгатора использован мазут 40 в количестве 5 % объема ВТЭ.

В диссертации приведены нагрузочные и винтовые характеристики двигателя при работе на дизельном топливе, грубой и микрогетерогенной водотопливной эмульсии с концентрацией воды 5 и 15 %.

Испытания показали, что при работе дизеля по винтовой и нагрузочной характеристикам, при переводе на водотопливную эмульсию (в сравнении с дизельным топливом):

- с увеличением содержания воды и с уменьшением дисперсности водной фазы на всех режимах работы дизеля сокращаются выбросы газообразных веществ, дымность, а также снижается температура отработавших газов;

- при работе на грубой эмульсии с содержанием воды 15 % удельный эффективный расход топлива увеличился до (24-43) г/(кВт·ч), а при работе на микрогетерогенной эмульсии – не более чем на (4-5) г/(кВт·ч).

На рисунке 4 в качестве примера приведены результаты испытаний двигателя по нагрузочной характеристике на дизельном топливе, грубой и микрогетерогенной эмульсии.

Из приведенных графиков видно:

– при переводе двигателя с дизельного топлива на грубую эмульсию, на номинальном режиме, концентрация оксидов азота уменьшилась в 1,3 раза, дымность отработавших газов с 12 до 7,5 %. Удельный индикаторный расход топлива увеличился на 43 г/(кВт·ч);

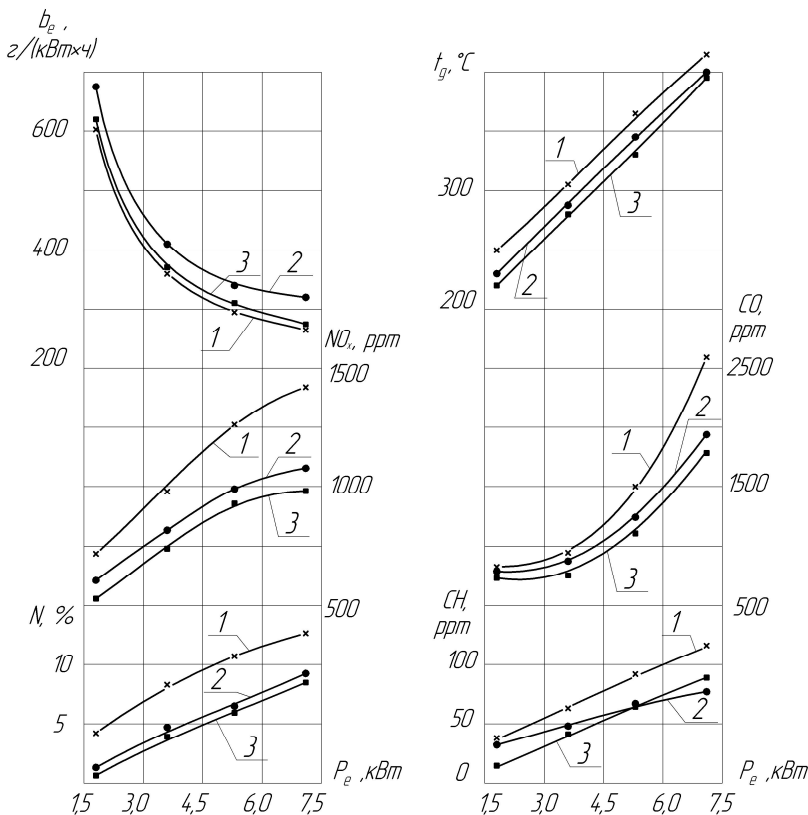


Рисунок 4 – Нагрузочные характеристики дизеля Ч 10,5/12 при частоте вращения коленчатого вала равной 1500 об/мин: NO_x - концентрация оксидов азота, ppm; b_e - удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч); N - дымность отработавших газов по шкале Hartridge, %; t_g - температура отработавших газов, °С; CO - концентрация оксида углерода, ppm; CH - концентрация углеводородов, ppm; 1-дизельное топливо; 2-водотопливная эмульсия 15 % воды, $d_w = (10-15)$ мкм; 3-водотопливная эмульсия 15 % воды, $d_w \geq 3$ мкм

– при переводе двигателя с дизельного топлива на полученную на опытной установке микрогетерогенную эмульсию, на номинальном режиме, количество NO_x сократилось в 1,4 раза, дымность с 12 до 7 %. Удельный эффективный расход топлива увеличился на (4-5) г/(кВт·ч), что находится в пределах ошибки измерений.

Несовпадение полученных результатов экспериментального исследования относительно удельного эффективного расхода топлива, с результатами полученными другими исследователями объясняется различиями в способах приготовления микрогетерогенной ВТЭ и её свойствами.

Для изучения влияния дисперсности включений воды в эмульсии на динамику рабочего процесса было выполнено численное исследование и проведен анализ характеристик тепловыделения.

На рисунке 5 приведены графики, полученные в результате расчёта.

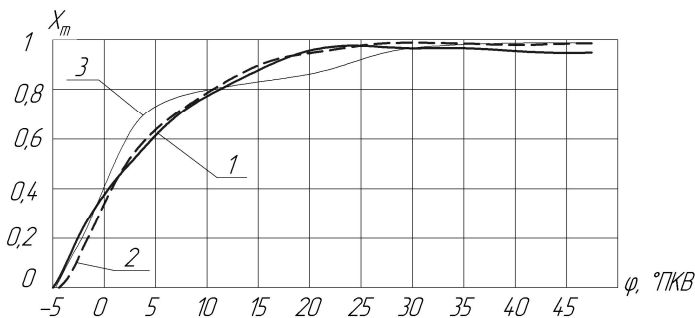


Рисунок 5 – Характеристики тепловыделения дизеля Ч 10,5/12 при работе на различных топливах: 1-дизельное топливо; 2-грубая водотопливная эмульсия; 3-микрогетерогенная эмульсия

Сравнительный анализ приведённых на рисунке характеристик тепловыделения выявил следующие отличия.

Скорость тепловыделения при использовании дизельного топлива и грубой эмульсии в течение 25 град. ПКВ с момента начала горения топлива не различаются. Затем, скорость тепловыделения на грубой эмульсии, в сравнении с дизельным топливом, начинает снижаться.

В результате при работе на грубой эмульсии удельный эффективный расход топлива увеличивается.

При работе на микрогетерогенной эмульсии, в сравнении с дизельным топливом, можно отметить три характерных периода.

В первом периоде, длительностью от (–1) до 4 град. ПКВ скорость тепловыделения увеличивается.

Затем, во втором периоде, скорость тепловыделения начинает медленно, до 24 град. ПКВ, снижаться.

В третьем периоде опять происходит некоторое увеличение скорости тепловыделения, и после 35 град. ПКВ кривая тепловыделения на микрогетерогенной эмульсии совпадает с кривой тепловыделения для дизельного топлива. В результате удельный эффективный расход топлива приблизился к расходу при работе на безводном топливе.

Увеличение скорости тепловыделения в первом периоде объясняется повышением тонкости распыливания эмульсии поданной за период задержки воспламенения.

Уменьшение скорости тепловыделения во втором периоде, объясняется тем, что, как показали результаты численного моделирования, с уменьшением размера частиц воды происходит замедление скорости роста парогазовых пузырьков. Теплота, образующаяся в процессе горения, затрачивается на прогрев и испарение воды содержащейся внутри капли ВТЭ.

В соответствии с результатами численного исследования, выполненного в главе 2, в грубой эмульсии крупные капли воды взрываются раньше мелких капель, происходит вторичное дробление капель ВТЭ и повышение скорости сгорания во втором периоде.

Увеличение скорости сгорания в третьем периоде при работе на микрогетерогенной ВТЭ объясняется повышением роли химического и каталитического действия паров воды на процесс горения.

Таким образом, в результате, уменьшения размеров частиц воды в эмульсии и более равномерного распределения частиц по внутри капли топлива происходит оптимизация процесса использования теплоты по углу ПКВ. Это способствует сокращению расхода топлива при одновременном уменьшении выбросов оксидов азота с отработавшими газами.

В приложении представлен акт о внедрении результатов диссертационной работы и приведен пример расчета характеристики тепловыделения выполненной по методике профессора С.А. Калашникова.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Диссертация посвящена решению проблем связанных с уменьшением загрязнения атмосферного воздуха судовыми энергетическими установками.

В ходе комплексного теоретического и экспериментального исследования сделано следующее:

1 В результате обзора опубликованных в печати работ отмечено, что эффективность применения ВТЭ с целью снижения концентрации

оксидов азота в отработавших газах повышается с уменьшением её дисперсности и увеличением количества воды в эмульсии. Однако при этом неизбежно увеличивается удельный расход топлива.

2 Отличительной особенностью процесса испарения капли ВТЭ от процесса испарения капли дизельного топлива является наличие «микровзрывов». Динамика «микровзрыва» определяется скоростью роста зародыша парогазового пузырька, находящегося внутри капли эмульсии.

3 Разработана математическая модель процесса роста зародыша парогазового пузырька в капле ВТЭ находящейся в нагретой газовой среде.

4 Выполнено численное исследование этого процесса при различных внешних условиях. Установлено, что с уменьшением дисперсности воды в эмульсии и при повышении тонкости распыливания скорость роста зародыша снижается, а с повышением температуры и давления окружающей среды – увеличивается.

5 На экспериментальной установке изучены особенности процессов испарения капель дизельного топлива и эмульсии дизельного топлива с водой в нагретой воздушной среде. Опыты подтвердили адекватность математической модели.

6 Разработана и изготовлена опытная установка для получения микрогетерогенной водотопливной эмульсии.

7 Изготовлена экспериментальная установка для проведения стендовых испытаний двигателя на дизельном топливе и водотопливной эмульсии. Разработана программа и методика испытаний, выполнен анализ погрешностей измерений.

8 Проведены сравнительные испытания двигателя на дизельном топливе, грубой и микрогетерогенной водотопливной эмульсии. Испытания проводились по винтовой и нагрузочной характеристикам.

По результатам испытаний отмечено, что на номинальном режиме, при переводе двигателя с дизельного топлива на грубую эмульсию, концентрация оксидов азота уменьшилась в 1,3 раза, а удельный эффективный расход топлива увеличился на 43 г/(кВт·ч). При переводе дизеля на микрогетерогенную эмульсию, приготовленную на опытной установке, в сравнении с дизельным топливом, концентрация оксидов азота уменьшилась в 1,4 раза, а удельный эффективный расход топлива всего на (4–5) г/(кВт·ч).

9 Проведено численное исследование характеристики тепловыделения при работе на дизельном топливе и эмульгированном топливе различной дисперсности.

Сравнительный анализ показал, что при работе на микрогетерогенной эмульсии в начале процесса сгорания определяющее влияние оказывают процессы микро и макросмесеобразования, а на заключительной стадии увеличивается роль химического и каталитического действия паров воды на горение топлива.

При суммарном влиянии этих процессов, при переходе с грубой эмульсии на микрогетерогенную, на номинальном режиме, концентрация оксидов азота уменьшилась на 10 % при одновременном снижении удельного эффективного расхода топлива на 38 г/(кВт·ч).

10 Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований подтвердили эффективность использования микрогетерогенной эмульсии, для снижения выбросов оксидов азота с отработавшими газами в судовых дизельных энергетических установках.

Список научных работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи, опубликованные в периодических научных изданиях рекомендованных ВАК

1 **Андрющенко, С.П.** Получение микрогетерогенной эмульсии дизельного топлива с водой / С.П. Андрющенко, С.В. Титов, В.В. Попков, Г.С. Юр // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2012. - №1. -С. 285-287.

2 **Андрющенко, С.П.** Исследование работы дизеля на микрогетерогенной водотопливной эмульсии / С.П. Андрющенко, В.В. Попков, С.В. Титов, Г.С. Юр // Ползуновский вестник. Теплофизические, химические проблемы в энергетике, технологиях и тепловых двигателях. -Барнаул. 2012. -С. 100-103.

3 **Андрющенко, С.П.** Физико-математическая модель расчета динамики изменения размера парогазового пузырька в капле водотопливной эмульсии, находящейся в нагретой осциллирующей газовой среде / С.П. Андрющенко, В.В. Попков, С.В. Титов // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2012. -№1. -С. 221-223.

4 **Андрющенко, С.П.** Результаты численного исследования процесса роста парогазового пузырька в капле водотопливной эмульсии / С.П. Андрющенко, Д.А. Сибриков, С.В. Титов // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№1. -С. 205-207.

5 **Андрющенко, С.П.** Результаты экспериментального исследования работы дизеля Ч 10,5/12 по винтовой характеристике на безводном топливе и эмульсии дизельного топлива с водой / С.П. Андрющенко, С.В. Титов, Г.С. Юр // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№1. -С. 207-209.

6 Андрющенко, С.П. Сравнительный анализ вредных выбросов и процесса тепловыделения при работе высокооборотного дизеля на грубой и микрогетерогенной водотопливной эмульсии / С.П. Андрющенко, С.А. Калашников, С.В. Титов // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№1. -С. 360-362.

Статьи в материалах международных конференций

7 Андрющенко, С.П. Экспериментальная установка для получения микрогетерогенной водотопливной эмульсии / В.Е. Антонов, С.П. Андрющенко, В.В. Попков, Г.С. Юр // Обновление флота – актуальная проблема водного транспорта на современном этапе. Ч.1: Материалы Международной юбилейной научно-технической конференции / Новосибирская государственная академия водного транспорта. -Новосибирск, 2011. -Ч.1. -С. 158-159.

8 Андрющенко, С.П. Влияние дисперсности ВТЭ на энергетические и экологические показатели дизеля / С.П. Андрющенко // Обновление флота – актуальная проблема водного транспорта на современном этапе. Ч.1: Материалы Международной юбилейной научно-технической конференции / Новосибирская государственная академия водного транспорта. -Новосибирск, 2011. -Ч.1. -С. 156-157.

9 Андрющенко, С.П. Снижение вредных выбросов в быстроходных малоразмерных дизелях посредством использования присадки воды к топливу / С.П. Андрющенко, С.В. Титов, В.В. Попков, Г.С. Юр // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. Материалы 5-ой международной научно-практической конференции «АГРОИН-ФО-2012».(Новосибирск, 10-11 октября 2012 г.) / Рос. акад. с.-х. наук Сиб. отд-ние, Сиб. физико-тех. ин-т аграр. проблем. -Новосибирск, 2012, -С. 188-192.

10 Андрющенко, С.П. Анализ свойств жидкостей полученных посредством добавления присадки воды к дизельному топливу / С.П. Андрющенко, Д.К. Линьков, С.В. Титов, В.В. Попков, Г.С. Юр // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. Материалы 5-ой международной научно-практической конференции «АГРОИН-ФО-2012».(Новосибирск, 10-11 октября 2012 г.) / Рос. акад. с.-х. наук Сиб. отд-ние, Сиб. физико-тех. ин-т аграр. проблем. -Новосибирск, 2012, -С. 186-188.

Личный вклад в статьях и докладах, опубликованных в соавторстве, составляет не менее 50%.

Подписано в печать 10.09.2014 г. с оригинал-макета.
Бумага офсетная №1, формат 60×84 1/16, печать трафаретная-Riso.
Усл. печ. л.1,0. Тираж 130 экз., заказ №_____. Бесплатно.

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного
транспорта», (ФБОУ ВПО «НГАВТ»)
630099, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33.

Отпечатано в издательстве ФБОУ ВПО «НГАВТ»