



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА

На тему: «Разработка элементов управления топливной системы газодизеля
морской техники »

Исполнитель: Понамарева Нина Леонидовна

Руководитель: доктор технических наук, профессор
Жуков Владимир Анатольевич

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент
Фокичева Анна Алексеевна

« 04 » 06 2017 г.

Санкт-Петербург

2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА

На тему: «Разработка элементов управления топливной системы газодизеля
морской техники »

Исполнитель: Понамарева Нина Леонидовна

Руководитель: доктор технических наук, профессор

Жуков Владимир Анатольевич

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент

Фокичева Анна Алексеевна

« ____ » _____ 2017 г.

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

СОКРАЩЕНИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1.АНАЛИЗ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОДИЗЕЛЯ.....	5
1.1Экологическое обоснованное применения газодизельного топлива.....	5
1.2.Области применения газодизельных двигателей.....	9
1.3Имеющийся опыт и перспективы использования газопоршневых ДВС на флоте	18
ВЫВОДЫ.....	24
2.РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ	27
2.1 Теоретические сведения и структурные схемы элементов.....	27
ВЫВОДЫ.....	40
3.СОЗДАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ	42
ВЫВОДЫ.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

СОКРАЩЕНИЯ

ОГ –отработавшие газы

СПГ – сжиженный природный газ

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

АСУ– автоматизированная система управления

АБ– аккумуляторная батарея;

БАКС– блок автоматического контроля системы;

ГКЗД– электромагнитный газовый клапан включения запальной дозы
дизельного топлива;

ДГ– дозатор газовый;

ДДГ– датчик давления газа;

ДЗЧВ– датчик задания частоты вращения;

ДТВ– датчик температуры охлаждающей жидкости;

ДЧВ– датчик частоты вращения;

ОЗД– ограничитель запальной дозы дизельного топлива;

ОГК– электромагнитный отсечной

W_{эр(s)}– датчик передаточной функции электронного регулятора частоты
вращения;

W_{з(s)} – датчик передаточной функции звена задержки;

W_{ф(s)} – датчик передаточной функции звена фильтрации;

W_{пи(s)}– датчик передаточной функции пропорционально –интегрально–
дифференциального звена;

T – время задержки;

W_т – датчик текущей частоты вращения;

W_з – датчик заданной частоты вращения после фильтрации;

T_у– датчик длительности управляющего сигнала подаваемого на
электрогазовый клапан;

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день современное двигателестроение сталкивается с двумя проблемами - истощение нефтяных запасов и необходимость повышения экологической безопасности судовых энергетических установок . Вопрос исследования является *актуальным* ,поскольку использование современных электронных средств управления в газодизельных двигателях,которые получают все большее распространение, обеспечивает более точное дозирование топлива и за счет этого улучшаются экономические и экологические показатели двигателя и судна в целом.

Объектом исследования является газодизель

Предметом исследования является создание современной системы топливоподачи газодизельного двигателя с использованием информационных технологий

Целью работы является совершенствование системы управления газодизелем.

Задачи

- Анализ областей применения газодизеля
- Разработка алгоритма управления газодизелем
- Создание технических средств управления газодизелем

1. Анализ областей применения газодизеля

1.1 Экологическое обоснованное применения газодизельного топлива

Из-за большой агрегатной мощности судовые ДВС могут являться основными источником загрязнения атмосферы в таких локальных зонах как порты, гидротехнические сооружения, акватории рек в черте города. Эмиссия токсичных соединений и твердых частиц с отработавшими газами (ОГ) регламентируется российскими и международными стандартами (Еуго, ИМО, TA– Luft, Tier). В ближайшие годы следует ожидать ужесточения экологических требований к поршневым ДВС, прежде всего по содержанию в отработавших газах оксидов азота NO_x, снижение выбросов которых является одной из актуальных задач современного судового двигателестроения[1].

Наряду с ужесточением существующих норм вводятся ограничения на выбросы парниковых газов, основным из которых является диоксид углерода (CO₂). Вступившая в силу в 1994 году Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UNFCCC) и Киотский протокол 1997 года установили обязательства для стран– участниц в отношении снижения выбросов CO₂. В период с 2008 по 2012 год развитые страны должны были сократить выбросы парниковых газов, как минимум, на 5 %. Установленные требования означают необходимость принятия следующих мер: снижения расхода топлива, которое неизбежно приведет к эквивалентному снижению выбросов с ОГ продуктов неполного сгорания топлива: сажи, углеводородов, оксидов углеводородов, формальдегида; использование новых источников энергии; применение альтернативных топлив. В соответствии с требованиями Приложения VI МК МАРПОЛ происходит планомерное ужесточение требований к содержанию оксидов серы, азота и углерода, а также твердых частиц в выбросах морских судов

Из альтернативных топлив наиболее перспективным является природный газ, Природный газ на 98...99 % состоит из метана, массовые

доли компонентов продуктов сгорания (табл. 1), количества отработавших газов и диоксида углерода в них на 100 кВт мощности двигателя (табл. 2) при полном сгорании топлива.

Таблица 1

Состав продуктов сгорания различных видов топлива

Топливо	Элементарный состав		Массовые доли			
	С	Н	gCO ₂	gH ₂ O	gN ₂	gO ₂
Дизельное	0,872	0,128	0,0700	0,0352	0,7424	0,1484
Природный газ (метан)	0,75	0,25	0,0512	0,05162	0,748	0,149

Таблица 2

Количество отработавших газов и CO₂ на 100 кВт мощности

Топливо	Количество отработавших газов, кг/ч	Количество CO ₂ , кг/ч
Дизельное	1015,128	71,94
Природный газ (метан)	1028,3	52,67

Характерной особенностью газовых топлив является повышенное по сравнению с традиционными углеводородными топливами соотношение "водород – углерод" (табл. 3), что обеспечивает более высокое качество рабочего процесса и экологическую чистоту продуктов сгорания.

Таблица 3

Соотношение "водород – углерод" для различных видов топлива

Топливо	Химическая формула	Соотношение Н/С
Метан	CH_4	4,0
Пропан	C_3H_8	2,7
Бутан	C_4H_{10}	2,5
Бензин	C_mH_n	2,0
Дизельное топливо	C_mH_n	1,8
Мазут	C_mH_n	1,7

Проведенное сравнение показывает, что применение в качестве топлива для ДВС природного газа обеспечивает существенное сокращение количества вредных выбросов по сравнению с использованием топлив на основе нефти – полностью исключаются выбросы серы, кардинально (на 90 %); снижаются выбросы оксидов азота (NO_x), снижение выбросов парниковых газов на эквивалентную мощность составляет 25...30 %, что является дополнительным аргументом в пользу перевода судовых двигателей на газовое топливо в свете современных экологических требований ИМО. Моторные свойства природного газа позволяют использовать его для двигателей практически не изменяя базовую конструкцию. Так же мощность установки будет сохранена, экономичность увеличится, а содержание токсичных выбросов уменьшится.

Во многих городах и странах сегодня приняты программы для преобразования старых, загрязняющих окружающую среду двигателей на дизельном топливе на двигатели работающие на чистом, экономичном

природном газе.[2] Надлежащим образом выполняемая государственная программа о «Внедрение газомоторной техники на автомобильном, железнодорожном, морском, речном, авиационном транспорте и технике специального назначения» очистит воздух, снизит расходы на топливо с минимальными капитальными затратами. Так же эта программа включает в себя задачи использования газомоторного топлива в различных отраслях экономики Российской Федерации.

В соответствии с Постановлением СМ СССР от 13.07.84 г. №751 Минречфлот РСФСР возложил на Ленинградский институт водного транспорта (ныне ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова) функции головной научно– исследовательской организации по решению вопросов использования газового топлива на речном транспорте. В результате в 80– е и 90– е годы университет с ОАО «Инженерный центр судостроения», СПбГПУ, ОАО «Северо– Западное пароходство» и АОЗТ «Сигма– Газ» участвовал в выполнении исследований, проектировании, строительстве и эксплуатационных испытаниях первого в России пассажирского судна– газохода, созданного на базе т/х «Нева– 1» (проект Р– 35).

Эти работы послужили основой для разработки Временных технических требований Российского Речного Регистра к судам– газоходам, работающим на компримированном природном газе . В ЗАО «ЦНИИМФ» разработана общая концепция технических решений газотопливных систем судов, использующих СПГ в качестве моторного топлива.

Она должна соответствовать Международному кодексу постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом (ЗАО «ЦНИИМФ», 1999), Правилам классификации и постройки судов для перевозки сжиженных газов наливом (НД №2– 200101– 068, РМРС, 2012), Правилам классификации и постройки морских судов. Часть VIII. Системы и трубопроводы (НД №2– 200101– 087, РМРС, 2016) и Часть IX. Механизмы (НД №2– 020101– 087, РМРС, 2016) .

В ней показано, что практически все зарубежные морские транспортные суда последних лет постройки, работающие на СПГ, имеют четырехтактные дизельные установки с впрыскиванием для зажигания дизельного топлива в качестве пилотного в количестве около 1% – так называемые двухтопливные среднеоборотные дизели. Наиболее распространены четырехтактные дизели фирмы Wartsila (модели 20DF, 34DF и 50DF).

В Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года (Распоряжение Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. N 327– р) предусмотрена разработка научно– обоснованных предложений и комплекса мероприятий по переводу энергетических установок судов и береговых объектов внутреннего водного транспорта на работу на газомоторном топливе (сжиженным или компримированном).

В работе рассмотрена оценка воздействия на окружающую среду выбросов при работе топлив на основе нефти и выявлено поступление загрязняющих веществ в атмосферу, таких как сера, оксиды азота, парниковые газы.

1.2. Области применения газодизельных двигателей

Газодизельные двигатели нашли свое применение в таких областях как автомобильный, железнодорожный, морской, речной, авиационный транспорт, а так же в и технике специального назначения.

Транспорт.[4]

С момента принятия закона о переходе на газодизельное топливо различных транспортных средств, начались интенсивные работы по проектированию и созданию газодизельных двигателей. В большинстве случаев эти работы проводились в инициативном порядке за счет собственного бюджета.

Динамичный переход на газодизельное топливо наблюдается в различных марок автотракторных двигателей. В СССР проблема практической газификации парка автомобилей и тракторов с дизелями начала решаться в 1980 году специальной общесоюзной научно– технической программой. Разработками и испытаниями газодизельных автомобилей занимались НАМИ, (Москва), МВТУ им. Баумана, ВНИИГАЗ, ЦНИДИ, филиал НИИАТ (Ленинград), НПО «Казавтотранстехника» (Алма– Ата), КАДИ, ИПМаш АН УССР (Киев), КБ Душанбинского АРЗ, Камского, Минского, Кременчугского автомобилестроительных заводов. Велись научно– исследовательские и опытно– конструкторские работы по переводу на питание газовым топливом тракторных дизелей (Алтайский ПТИ, Омский, Кировский, Волгоградский, Рязанский СХИ и др.). В рамках этой программы, которая по вполне понятным причинам так и не была выполнена, в 1988...93 годах кафедра «Тракторы и автомобили» ДГАУ принимала участие в разработке газодизельного трактора ЮМЗ– 6.

Задачу массового выпуска газодизельных грузовиков удалось решить в Научно– исследовательском автотракторном институте (НАМИ), который к 1984 г. совместно с Ярославским заводом дизельной аппаратуры и НИИ автоприборов завершили разработку оригинальной схемы перевода дизелей автомобильного типа на питание сжатым природным газом — так называемая схема ГД– НАМИ (защищена пятью авторскими свидетельствами). Она изначально разрабатывалась для дизеля КАМАЗ– 740, а позже по унифицированной схеме была приспособлена на другие

отечественные дизельные двигатели. Для проведения доводочных и контрольных дорожных испытаний в НАМИ в 1985 г. были построены макетные образцы газовых дизельных двигателей, установленных на автомобилях КАМАЗ– 5320 и КАМАЗ– 53212.

Необходимо отметить, что практически одновременно с этим итальянская компания LandiRenzo предложила свой вариант перевода мотора КАМАЗ– 740, установленного на автомобиль КАМАЗ– 5320, на газовое топливо. Испытания этой машины, проведённые в НАМИ совместно с представителями LandiRenzo, дали отрицательный результат, так как компания не смогла должным образом приспособить топливные насосы КАМАЗ, имеющие всережимные регуляторы, для работы в газодизельном режиме.

В ноябре 1986 г. «Главмосавтотранс» заключил контракт с итальянской компанией В & В, занимающейся коммерческим переоборудованием автотранспортных средств на газовое топливо, на модификацию нескольких автомобилей КАМАЗ, МАЗ и одного автобуса «Икарус». Но до конца своих обязательств итальянская компания так и не сумела выполнить, сильно затянув сроки. В результате контракт был расторгнут, а компания заплатила неустойку, хотя изначально рассчитывала продать Советскому Союзу лицензию на свою систему. Эти показатели, что совладать с отечественными дизельными моторами было не так– то просто.

Первые экспериментальные газодизельные грузовики КАМАЗ– 53208 и КАМАЗ– 53218, построенные в Набережных Челнах во второй половине 1985 г., от серийных машин отличались лишь газодизельными моторами КАМАЗ– 7409 со специальной топливной аппаратурой (газовый смеситель и система регулирования подачи газа) и установленными на шасси, под кузовом, газовыми баллонами со сжатым газом. В декабре 1985 г. они прошли приемочные испытания и были рекомендованы к постановке на производство.

Испытания показали, что предложенная схема ГД– НАМИ обеспечивает их устойчивую работу по газодизельному циклу во всем диапазоне скоростных и нагрузочных режимов с равноценными дизельному базовому двигателю энергетическими показателями. Хорошие скоростные качества автомобилей при этом позволяют экономить до 70– 80% жидкого топлива за счет его замещения газом, снижать дымность отработавших газов в 2– 3 раза, а шум от работающего двигателя на 1– 3 дБ. Кроме того, работа на газовом топливе позволяет уменьшить образование нагара на поршнях, клапанах и стенках камеры сгорания, снизить расход масла и способствует значительному уменьшению износа деталей поршневой группы двигателя.

В сентябре 1987 г. завершились межведомственные испытания (МВИ) газодизельных седельных тягачей КАМАЗ– 54118 и самосвалов КАМАЗ– 55118, по результатам которых они были рекомендованы к постановке на производство.

В результате этой работы в Набережных Челнах впервые в мире в 1988 г. было организовано промышленное производство газодизельных грузовиков, оригинальную газодизельную аппаратуру (смесители и дозаторы газа) для которых поставлял Алтайский завод автотракторного электрооборудования из Рубцовска.

Первое поколение газодизельных грузовиков КАМАЗ включало следующие серийные модификации: бортовой грузовик КАМАЗ– 53208 с нормальной колесной базой и его шасси КАМАЗ– 53217, бортовой грузовик КАМАЗ– 53218 с удлиненной колесной базой и его шасси КАМАЗ– 53219, седельный тягач КАМАЗ– 54118 и самосвал КАМАЗ– 55118.

Возимый запас сжатого газа для этих машин не был одинаков. На автомобилях КАМАЗ– 53208 (КАМАЗ– 53217) и КАМАЗ– 53218 (КАМАЗ– 53219) стояли баллоны общей емкостью 500 л (100 м³), на автомобиле КАМАЗ– 54118 – 400 л (80 м³), а на самосвале КАМАЗ– 55118 всего 300 л (60 м³). Это объяснялось спецификой работы различных модификаций, а также физической возможностью размещения на шасси необходимого

количества баллонов. Соответственно у автомобилей разнился и запас хода – от 300 км у одних до 250 км у других.

КамаЗ– 55118 — это газодизельная модификация серийного самосвала КамаЗ– 5511 предназначенного для перевозки сыпучих строительных и промышленных грузов. Этот самосвал был разработан в рамках проекта газодизельной техники КАМАЗ, параллельно с другими газодизельными моделями: КамаЗ– 53208 и КамаЗ– 53218 (бортовые тягачи), КамаЗ– 53217 и КамаЗ– 53219 (шасси), КамаЗ– 54118 (седельный тягач).

Рисунок 1– Система питания газодизельного двигателя Камаз

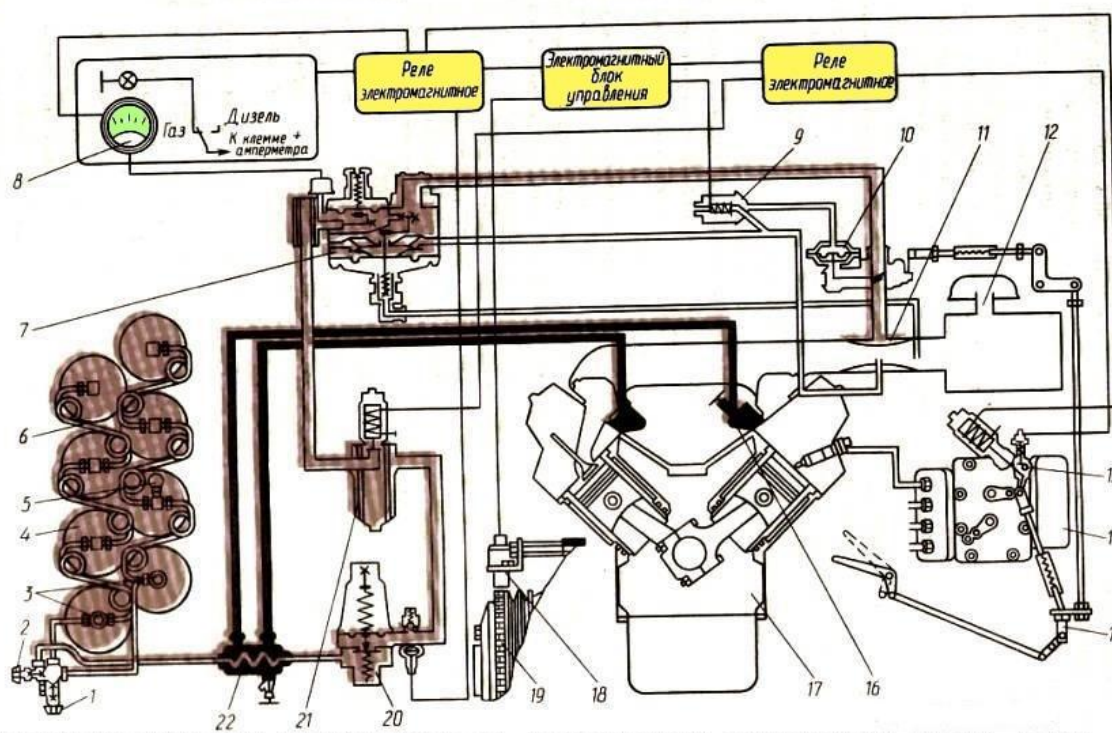


Схема газобаллонной установки: 1 — наполнительный вентиль, 2 — расходный вентиль, 3 — запорный вентиль, 4 — баллон, 5 — манометр высокого давления, 6 — трубопровод высокого давления, 7 — редуктор низкого давления, 8 — манометр, 9 — трехходовой электромагнитный клапан, 10 — дозатор, 11 — смеситель, 12 — воздухоочиститель, 13 — механизм ограничения запальной дозы топлива, 14 — насос высокого давления, 15 — привод управления регулятора и дозатора газа, 16 — кран, 17 — двигатель, 18 — преобразователь частоты вращения, 19 — зубчатый венец, 20 — редуктор высокого давления, 21 — электромагнитный клапан с фильтром, 22 — подогреватель газа

Процесс воспаления газодизельного топлива можно отнести к двигателям принудительным воспалением. Процесс работы отличается от рабочих процессов двигателей с искровым зажиганием тем, что электрические искры как источник воспаления рабочей смеси заменяется дозой дизельного топлива. В конце такта сжатия горячей смеси воздух– газ

нагрузки вводится небольшая (запальная) доза дизельного топлива. Запальную дозу топлива подается в цилиндр так, чтобы она воспламенилась до того, как газ, и подожгла всю массу газозвоздушной смеси.

При переоборудовании дизельного топлива для работы в режиме газодизеля в системах питания добавлены газозвоздушный смеситель с системой управления подачи газа при изменении нагрузки и улучшение контроля частоты вращения коленчатого вала с ограничителем подачи топлива при работе двигателя в режиме газодизеля. Этот метод преобразования обеспечивает возможность быстро переключаться с дизельного режима на газодизельный и обратно.

Сведения о топливе для газодизеля.

В качестве основного топлива в газодизеле используют сжатый природный газ. Характеристика сжатого природного газа, используемого в качестве топлива, должна соответствовать требованиям ту 51– 166– 83, устанавливающим две марки газа: А и В. Эти газы при обычной температуре окружающей среды и высокого (до 20 МПа) давления сохраняют газообразное состояние. Основным компонентом природного газа является метан, который представляет полный топливо с хорошими антидетонационными характеристиками и достаточно высокой плотностью калорий.

Природный газ доступны и примесей, их количество ограничено технические условия. Это, в частности, токсичных газов (сероводорода и оксида углерода), негорючие газы (азот, двуокись углерода) и влажности. Оксид углерода (СО) и сероводорода (H₂S) оказывают сильное токсическое воздействие на организм человека, кроме того, сероводород при сгорании образует сернистые соединения, разрушают детали двигателя и газовой аппаратуры. Содержание со в газе не должно превышать 1 %, а масса сероводорода в 100 м³ и более 2 %, наличие влаги приводит к образованию пробок в трубопроводах при отрицательных температурах и редуцировании газа. С сернистыми соединениями, влажность форме кислоты, которые

вызывают коррозию стенок баллонов и трубопроводов. Одоризация природного газа позволяет на рабочем месте и в рабочей зоне по запаху определить наличие газа. При одоризации 1 м³ газа добавляют 0,016 г меркаптановой серы. Токсикологии опасности ограничения концентрации газа на рабочих местах и в рабочих зонах не должна превышать 300 мг/м³. Его определяют с помощью газоанализаторов. В связи с тем, что метан гораздо легче воздуха, отсосы для вентиляции и датчики сигнализации газ должны быть установлены в верхней части помещения для обслуживания и ремонта газодизельных автомобилей. Помимо этих примесей в природном газе содержатся другие виды топлива, газ: пропан, этан, бутаны и пентаны, процентное содержание которых ничтожно мало, следовательно, свойства сжатых природных газов определяет их основной компонент — метан. Пределы воспламеняемости характеризуют концентрацию газа в смеси с воздухом, в котором возможна работа двигателя. Природного газа до температуры от +20 °C и нормальном давлении предел воспламеняемости: нижний предел — 4%, выше 15% содержания газа в воздухе. Такой концентрации смеси газа с воздухом является взрывоопасной.

Коэффициент сжимаемости газа учитывает непропорциональность изменения ее объема с увеличением давления. Для метана коэффициент сжимаемости 0°C, изменением давления от 0,1 до 20 от 1 до 0,82. Газобаллонная установка. В газобаллонной установке природный газ держат в сжатом до 20 МПа в баллонах. Резерв природного газа в резервуаре при давлении 20 МПа составляет 10 м³. Для обеспечения хода от 250 до 300 км может быть применено шесть, восемь или десять баллонов в зависимости от модели автомобиля. На рисунке показана схема газобаллонной установки тягача Камаз– 54118 с восемью баллонами 4. Секции газовых баллонов состоят из двух секций по четыре. Такая схема позволяет обеспечить работу двигателя на резерве газа в секции ,если нарушена герметичность в другой.. Во время работы двигателя в газодизельном режиме клапаны 2 и 3 открыты. Сжатый газ под высоким давлением проходит подогреватель 22, в котором

теплоносителем является охлаждающая жидкость двигателя, и поступает в одноступенчатый газовый редуктор 20 высокого давления, где давление газа снижается до 0,9...1,1 МПа. На пути к редуктору газа с подогревом для того, чтобы избежать пробок льда в трубопроводе, которые могут образоваться из-за сильного охлаждения газа за счет снижения давления в коробке. Затем газ подается на фильтр 21 с войлочным элементом и клапан, но его в два этапа, газовый редуктор 7, где происходит снижение его давления почти до атмосферного. Управление работой редуктора, в том числе депрессии, передаются в трубе диффузора смесителя 11. Из редуктора газ через дозатор 10 поступает в смеситель, где образуется газоздушная смесь, и затем с воздухом засасывается в цилиндры двигателя.

Давление газов в цилиндрах, и, следовательно, количество топлива в них, контролируют по манометру 5 высокого давления. По манометру 8 низкого давления проверяют работу первой ступени коробки. На крышке регулятора частоты вращения коленчатого вала установлен электромагнитный механизм 13, ограничивающий ход рычага, регулятор положения холостого хода до положения, соответствующего подаче искры дозы топлива.

В газодизельный режим двигателя переводят после пуска и прогрева дизеля до температуры охлаждающей жидкости не менее 50°C переключением клавиши на панели кабины в положение «Газ».

Система управления электрического двигателя. Для этого, на автомобиль устанавливают газодизельное электрическое оборудование. Оно также включает в себя системы регулирования подачи газа: при проведении коленчатого вала максимальная частота вращения, при механической регулятор частоты вращения отключает подачу дозы жидкого топлива, и электрическая блокировка, предотвращая одновременную подачу газа и полную подачу дизельного топлива (двойную тягу).

Речной и морской флот.

Заправка речных и морских судов значительно снижает стоимость и упрощается при использовании новых технологий. Кроме того, в случае аварии топлива разгерметизация топливных отсеков не влечет за собой экологическую катастрофу, так как газ в большинстве случаев полностью испаряется в атмосферу, не загрязняя акваторию, не убивая морскую жизнь.

Газодизельные двигатели в РЖД.

В 2004 году совместно со специалистами ОАО "Коломенский завод" была проведена работа по адаптации электронных регуляторов для применения на ДГ производства ОАО "Коломенский завод". По результатам проведенной работы электронными регуляторами комплектуются дизель-генераторы, которые устанавливаются на тепловозы ТЭП70БС, ТЭП70У, 2ТЭ70, 2ТЭ25К, 2ТЭ116У.

По техническим условиям, согласованным ОАО "РЖД", выпускаются электронные регуляторы для всех типов ДГ тепловозов. Для транспортных дизелей, работающих на сжатом природном газе, выпускается система управления топливоподачей СЭРГ– 500.

Другие области.

Дизельные двигатели конвертируемые на газ, являются примером успешного применения на дизелях альтернативного(менее дорогого) топлива. Газодизель являются лидером в данном направлении, так как самые ближайшие варианты в ценовом диапазоне это биотоплива. Их использование потребует строительства заводов для промышленного производства, контроля качества, сертификации и т.д. В частности углеводородные газы (такие как метан и пропан– бутан) являются сегодня топливом более легко доступным (в ценовой категории), производятся заводами в промышленных масштабах, и являются реальным конкурентом для традиционных видов топлива двигателей внутреннего сгорания, таким как бензин и дизельное топливо.

1.3 Имеющийся опыт и перспективы использования газопоршневых ДВС на флоте

Двигатели на природном газе классифицируют по признакам, приведенным в табл. 3

Таблица 3

Классификация двигателей на природном газе

Двигатели, работающие на природном газе		
По способу смесеобразования	По типу воспламенения топливно– воздушной смеси	По принципу регулирования
Двигатели с внешним смесеобразованием	Газовые двигатели с принудительным воспламенением от электрической искры	Двигатели с количественным регулированием
Двигатели с внутренним смесеобразованием регулированием (раздельная подача газа и воздуха в цилиндрах)	Газовые двигатели с форкамерно– факельным зажиганием	Двигатели с качественным регулированием
	Газодизели с самовоспламенением от запальной дозы дизельного топлива	Двигатели со смешанным регулированием

Используются два принципиально различающихся способа перевода дизельных двигателей на питание газовым топливом:

1. Конвертация дизельного двигателя в двигатель внутреннего сгорания с воспламенением газозвушной смеси от искры (полное замещение топлива). [5]

Данный способ достаточно радикальный и связан со значительным изменением конструкции базового двигателя. При этом с двигателя демонтируют дизельную топливную аппаратуру, уменьшают степень сжатия до 11– 16 единиц, устанавливают систему зажигания, топливоподающую газовую систему. В результате двигатель работает на газовом топливе, которое имеет стоимость ниже, чем дизельное топливо. Экологические параметры отработавших газов конвертированного дизеля, как правило, выше исходного двигателя, при работе по первому варианту обеспечиваются номинальные мощности с незначительным снижением КПД с базовым двигателем.

После выполнения конвертации двигатель уже не может больше работать на дизельном топливе.

2. Использование газодизельного режима. В газодизельном режиме в двигатель подают два топлива – основное дизельное (но в меньшем количестве, чем в базовом), дополнительное – газовое (топливо для замещения). При этом основное дизельное топливо играет роль «запальной» дозы для воспламенения интегральной газозвушной топливной смеси. Существенным преимуществом газодизельного цикла является то, что мощность источника зажигания в нем значительно больше, чем в двигателе с искровым зажиганием, кроме того, рабочая смесь поджигается не в одной точке у холодной стенки, а в центре заряда. Благодаря этому одной из важных особенностей газодизельного процесса является возможность надежной работы двигателя на обедненной рабочей смеси. При таком способе сохраняется возможность быстрого перехода с газового топлива на дизельное и обратно. У быстроходных дизельных двигателей расход жидкого топлива, используемого для воспламенения и полного сгорания газозвушной смеси, составляет 10–20 % количества, расходуемого при

обычном дизельном процессе. В средне- и малооборотных двигателях требуется лишь 5–8 % дизельного топлива для воспламенения. В настоящее время уже есть опытные модели двигателей, использующие 1 % пилотного топлива, и ведутся работы по дальнейшему уменьшению его количества. Именно такой способ воспламенения реализован фирмой Wärtsilä в двухтопливном двигателе 20DF, а также двигателях, разработанных фирмой MANDiesel&Turbo для СЭУ и получивших одобрение классификационных обществ

Первое грузовое судно, работающее на сжатом газе «Accolade» было построено в Австралии в 1982 году, в 1985 и 1988 годах в Канаде были спущены на воду однотипные паромы «Klatawa» и «Kulleet», на которых газ под давлением 25 МПа находился в 50 стальных баллонах общей вместимостью 14,7 м³. В 1994 и 2000 годах в Голландии были построены прогулочные суда «Mondriaan», «Escher», «Rembrandt» и «VanGogh», работающие на компримированном природном газе (КПГ). Из-за ограниченности допустимого объема емкостей для хранения газа, размещаемых в трюме судна без ущерба для его основных функций, а также в связи с необходимостью наличия в районе плавания специальной инфраструктуры для пополнения запасов топлива, КПГ не получил широкого распространения на флоте. Более перспективным представляется использование на водном транспорте сжиженного природного газа (СПГ), представляющего собой преимущественно метан (CH₄), охлажденный до температуры –162 °С, (в англоязычной версии LNG – liquefiednaturalgas). Первым судном, не относящимся к классу газозовов и работающем на СПГ, являлся построенный в 2000 году в Норвегии паром «Glutra». В 2008 году в Бразилии спущен на воду работающий на СПГ грузопассажирский паром «IveteSangalo». Наибольшее распространение СПГ получил на судах, обеспечивающих освоение, эксплуатацию и снабжение морских нефтегазовых промыслов. Только в Норвегии используется порядка 20 таких судов и их строительство продолжается. По оценке специалистов

норвежского классификационного общества DNV проектируемое судно типа VLCC, использующее в качестве топлива СПГ будет превосходить аналогичное судно, работающее на дизельном топливе по следующим показателям: на 34 % более низкий уровень выбросов с отработавшими газами диоксида углерода (CO_2), на 80 % более низкий уровень выбросов с отработавшими газами оксидов азота (NO_x), на 95 % более низкий уровень выбросов с отработавшими газами оксидов серы (SO_x) и на 25 % более низкое потребление топлива. К аналогичным выводам пришли эксперты судостроительной компании «STXFrance». Количество судов, работающих на СПГ в мире стремительно растет: В ноябре 2010 года в эксплуатации находилось 360 судов и 24 были в стадии постройки.

В Российской Федерации основным потребителем газового топлива является автомобильный транспорт. Внедрение использования газового топлива на флоте проходит менее интенсивно. В 1984 году в соответствии с постановлением Совета Министров СССР № 751 Минречфлот возложил на Ленинградский институт водного транспорта функции головной научно-исследовательской организации по вопросам использования газового топлива на речном транспорте. В результате проведенных работ в 1995 году под руководством к.т.н. Фомина Н. Н. были проведены успешные эксплуатационные испытания первого в России пассажирского судна на природном газе, созданного на базе теплохода «Нева-1» (проект Р-35).

На основании анализа можно сделать вывод, что внедрение газа на речном флоте следует рассматривать как одну из важнейших государственных задач, направленную на повышение экономической эффективности эксплуатации судов и обеспечение экологической безопасности речного транспорта. При этом наиболее рациональным следует считать переоборудование выпускаемых в России дизелей для работы на газовом топливе.

1.4 Обеспечение безопасности при использовании газового топлива на судах

Использование газового топлива на транспорте, в том числе на морском и речном, приводит к возникновению дополнительных рисков, которые необходимо минимизировать. [6]

В работе представленной Морской администрацией Дании на 83–ей сессии Комитета по безопасности на море Международной морской организации (ИМО), приводятся данные об аварийности судов–газоходов за период 1965–2005 годы. В течение этого периода на судах данного класса было зафиксировано 182 аварийных случая, из которых 24 не связаны с эксплуатацией судна (аварии на верфях во время постройки, ремонта, нападения пиратов и т.п.).

На основании приведенной статистики выделяются следующие виды опасностей, обусловленных присутствием на судне СПГ и его паров:

- 1) объемный взрыв газа, возникающий в результате его утечки в газообразном состоянии в замкнутом объеме при наличии источника воспламенения (источником воспламенения может служить открытое пламя, электрическая искра или поверхность, нагретая выше температуры самовоспламенения газа (для метана + 540 °));
- 2) взрыв емкостей для хранения газа в следствие повышения давления;
- 3) пожар в результате разлившегося газа или струйный пожар в результате горения газа под давлением;
- 4) газовое облако, в котором может возникнуть пожар;
- 5) быстрое фазовое превращение при попадании сжиженного газа в воду, аналогичное взрыву без возгорания;

- б) резкое значительное увеличение давления в емкости сжиженного газа в результате перемешивания слоев газа с различной плотностью и резкого увеличения интенсивности парообразования в танке СПГ;
- 7) удушье в результате попадания человека в облако газа;
- 8) травмы от низких температур в результате воздействия сжиженного газа при контакте с кожей человека;
- 9) загрязнение атмосферы в результате утечки газа.

При рассмотрении указанных опасностей применительно к судам, использующим сжиженный газ в качестве топлива, очевидно, что для различных типов энергетических установок и различных способов хранения газа на судне не все опасности одинаково вероятны и значимы. В случае хранения газа в баллонах под давлением в закрытом помещении опасности, отмеченные в п.п. 5, 6, 8 практически отсутствуют, но при этом возрастает вероятность опасностей, соответствующих п.п. 1 и 7. В случае хранения газовых баллонов на открытых участках судна вероятность рисков 1 и 7 существенно снижается, но при этом возрастает вероятность возникновения опасности, соответствующей п. 9.

Опыт эксплуатации судов, использующих газовое топливо свидетельствует, что наибольшую опасность независимо от типа энергетической установки и способа хранения газового топлива представляют утечки газа, влекущие за собой взрывы и пожары.

Наиболее эффективным средством обеспечения безопасной эксплуатации судовых энергетических установок, работающих на СПГ является установление требований классификационных обществ, касающихся строительства и эксплуатации судов– газоходов, их энергетических установок и систем.

Данные требования должны разрабатываться и корректироваться с учетом опыта, накопленного в мировом судостроении, а также и

использованием опыта, имеющегося в смежных отраслях транспорта и энергетики, использующих газовое топливо.

ВЫВОДЫ

Из-за большой агрегатной мощности судовые ДВС могут являться основным источником загрязнения атмосферы в таких локальных зонах как порты, гидротехнические сооружения, акватории рек в черте города. Установленные требования означают необходимость принятия следующих мер: снижения расхода топлива, которое неизбежно приведет к эквивалентному снижению выбросов с ОГ продуктов неполного сгорания топлива: сажи, углеводородов, оксидов углеводородов, формальдегида; К использованию новых источников энергии, применению альтернативных топлив.

Из альтернативных топлив наиболее перспективным является природный газ, Природный газ на 98...99 % состоит из метана.

Моторные свойства природного газа позволяют использовать его для двигателей практически не изменяя базовую конструкцию. Так же мощность установки будет сохранена, экономичность увеличится, а содержание токсичных выбросов уменьшится.

Газодизельные двигатели нашли свое применение в таких областях как автомобильный, железнодорожный, морской, речной, авиационный транспорт, а так же в технике специального назначения.

С момента принятия закона о переходе на газодизельное топливо различных транспортных средств начались интенсивные работы по проектированию и созданию газодизельных двигателей.

Используются два принципиально различающихся способа перевода дизельных двигателей на питание газовым топливом:

1. Конвертация дизельного двигателя в двигатель внутреннего сгорания с воспламенением газозвушной смеси от искры (полное замещение топлива). [7]

Данный способ достаточно радикальный и связан со значительным изменением конструкции базового двигателя. При этом с двигателя демонтируют дизельную топливную аппаратуру, уменьшают степень сжатия до 11– 16 единиц, устанавливают систему зажигания, топливоподающую газовую систему. В результате двигатель работает на газовом топливе, которое имеет стоимость ниже, чем дизельное топливо. Экологические параметры отработавших газов конвертированного дизеля, как правило, выше исходного двигателя, при работе по первому варианту обеспечиваются номинальные мощности с незначительным снижением кпд с базовым двигателем.

После выполнения конвертации двигатель уже не может больше работать на дизельном топливе.

2. Использование газодизельного режима. В газодизельном режиме в двигатель подают два топлива – основное дизельное (но в меньшем количестве, чем в базовом), дополнительное – газовое (топливо для замещения). При этом основное дизельное топливо играет роль «запальной» дозы для воспламенения интегральной газозвушной топливной смеси. Существенным преимуществом газодизельного цикла является то, что мощность источника зажигания в нем значительно больше, чем в двигателе с искровым зажиганием, кроме того, рабочая смесь поджигается не в одной точке у холодной стенки, а в центре заряда. Благодаря этому одной из важных особенностей газодизельного процесса является возможность надежной работы двигателя на обедненной рабочей смеси. При таком способе сохраняется возможность быстрого перехода с газового топлива на дизельное и обратно.

Использование газового топлива на транспорте, в том числе на морском и речном, приводит к возникновению дополнительных рисков, которые необходимо минимизировать.

выделяются следующие виды опасностей, обусловленных присутствием на судне СПГ и его паров:

- 1) объемный взрыв газа, возникающий в результате его утечки в газообразном состоянии в замкнутом объеме при наличии источника воспламенения (источником воспламенения может служить открытое пламя, электрическая искра или поверхность, нагретая выше температуры самовоспламенения газа (для метана + 540 °));
- 2) взрыв емкостей для хранения газа в следствие повышения давления;
- 3) пожар в результате разлившегося газа или струйный пожар в результате горения газа под давлением;
- 4) газовое облако, в котором может возникнуть пожар;
- 5) быстрое фазовое превращение при попадании сжиженного газа в воду, аналогичное взрыву без возгорания;
- 6) резкое значительное увеличение давления в емкости сжиженного газа в результате перемешивания слоев газа с различной плотностью и резкого увеличения интенсивности парообразования в танке СПГ;
- 7) удушье в результате попадания человека в облако газа;
- 8) травмы от низких температур в результате воздействия сжиженного газа при контакте с кожей человека;

загрязнение атмосферы в результате утечки газа

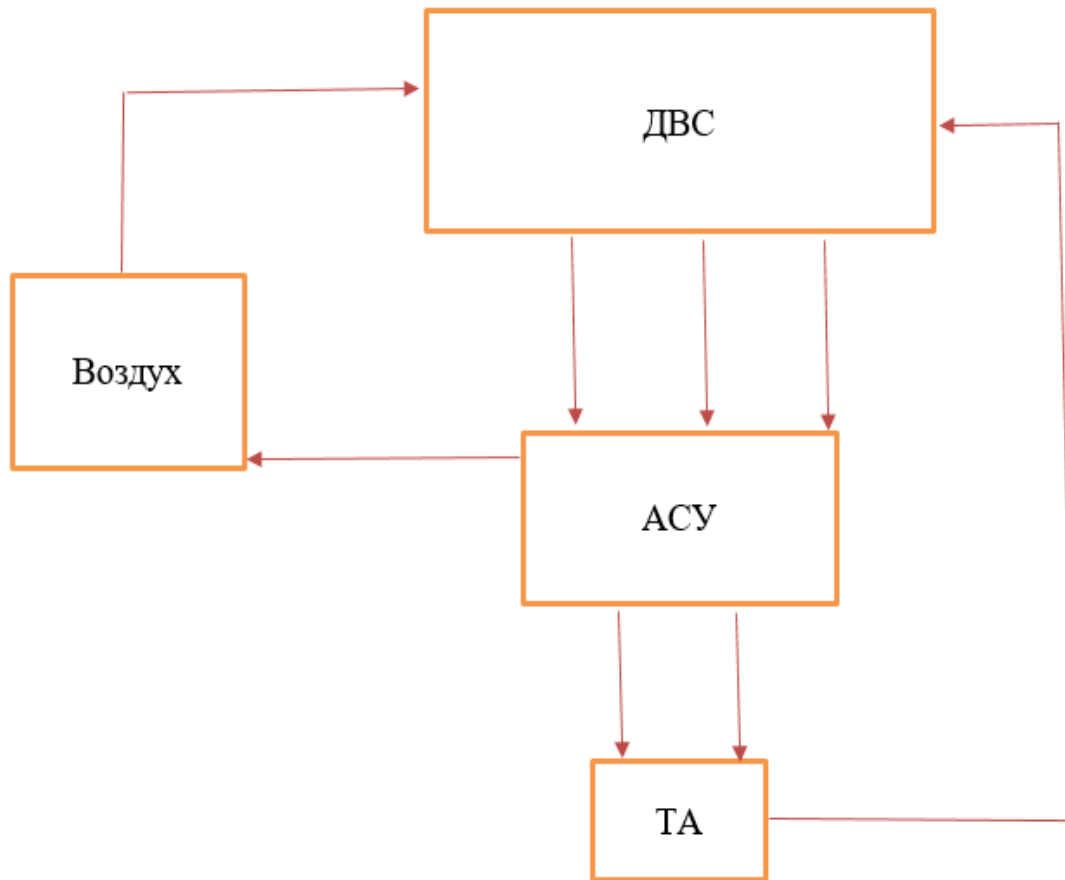
Опыт эксплуатации судов, использующих газовое топливо свидетельствует, что наибольшую опасность независимо от типа энергетической установки и способа хранения газового топлива представляют утечки газа, влекущие за собой взрывы и пожары.

Наиболее эффективным средством обеспечения безопасной эксплуатации судовых энергетических установок, работающих на СПГ является установление требований классификационных обществ, касающихся строительства и эксплуатации судов– газоходов, их энергетических установок и систем.

2.РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Теоретические сведения и структурные схемы элементов

Схема 1-Принцип работы ДВС с АСУ



Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – двигатель , в котором топливо воспламеняется и сгорает внутри его рабочей камеры. В процессе работы тепловая энергия от сгорания преобразуется в механическую работу.[8]

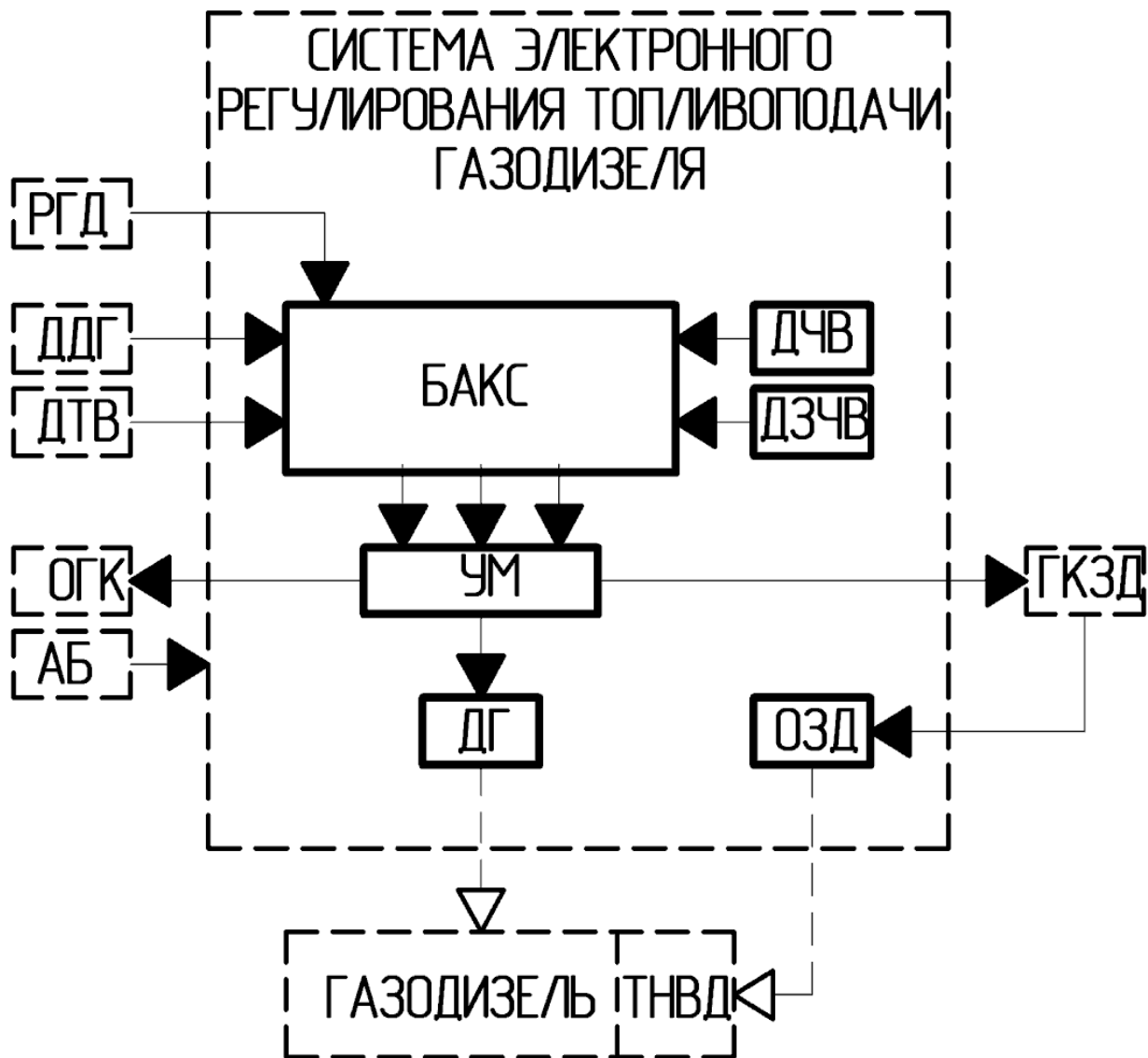
Работа Газодизельного ДВС строится на подаче в цилиндры запальной дозы дизеля, которая подается в конце такта сжатия и поджигает газ и воздушную смесь , которая подается на такте впуска.

Автоматизированная система управления (АСУ)– система, которая выполняет функции управления, ранее выполняемые человеком. Автоматизация повышает надежность и экономичность оборудования, увеличивает производительность.

Принцип действия :

– Снятые с датчиков на ДВС данные поступают в автоматизированную систему управления (АСУ), в которой заложенными расчетами подачи топлива регулируется количество подаваемого газа, и воздуха для создания горючей смеси.

Структурная схема системы электронного управления подачей газа



АБ– аккумуляторная батарея;

БАКС– блок автоматического контроля системы;

ГКЗД– электромагнитный газовый клапан включения

запальной дозы дизельного топлива;

ДГ– дозатор газовый;

ДДГ– датчик давления газа;

ДЗЧВ– датчик задания частоты вращения;

ДТВ– датчик температуры охлаждающей жидкости;

ДЧВ– датчик частоты вращения;

ОЗД– ограничитель запальной дозы дизельного
топлива;

ОГК– электромагнитный отсечной

Состав системы:

- микропроцессорный блок автоматического
контроля систем;
- дозатор газовый;
- ограничитель запальной дозы дизельного топлива;
- датчик частоты вращения газодизеля;
- усилитель мощности;
- комплект кабелей связи;
- комплект монтажных частей.

В двигателе работающем на газовом топливе на подачу газа дозатором к всасывающим клапанам оказывает влияние объем полости всасывания (коллектора), угла перекрытия клапанов в процессе продувки и сжимаемости газа, и поэтому он попадает в цилиндры с запаздыванием и с недостаточно качественным смесеобразованием, что ухудшает качество регулирования частоты вращения несмотря на преимущества двигателя работающего на газе.

Для улучшения экологических и экономических показателей двигателей, работающих на газовом топливе, проведены работы по созданию электроуправляемой системы импульсной подачи газа.[9] В системах с импульсной подачей посредством быстродействующего электромагнитного клапана газ подается к всасывающим клапанам двигателя в такте впуска и

поэтому влияние объема всасывания и угла перекрытия клапанов в процессе продувки сведено к минимуму, что значительно уменьшает запаздывание подачи газа

При различном режиме работы двигателя мы должны подавать разную порцию топлива. В топливных системах старого поколения этим занимался человек. На сегодняшний день все более актуальным становится использование АСУ (автоматизированной системы управления), которая сама управляет количеством подаваемого топлива

Для формирования управляющего сигнала используются следующие датчики:

$W_{\omega}(s)$ – датчик передаточной функции электронного регулятора частоты вращения;

$W_z(s)$ – датчик передаточной функции звена задержки;

$W_{\phi}(s)$ – датчик передаточной функции звена фильтрации;

$W_{\pi}(s)$ – датчик передаточной функции пропорционально – интегрально – дифференциального звена;

T – время задержки;

W_T – датчик текущей частоты вращения;

W_z – датчик заданной частоты вращения после фильтрации;

T_u – датчик длительности управляющего сигнала подаваемого на электрогазовый клапан;

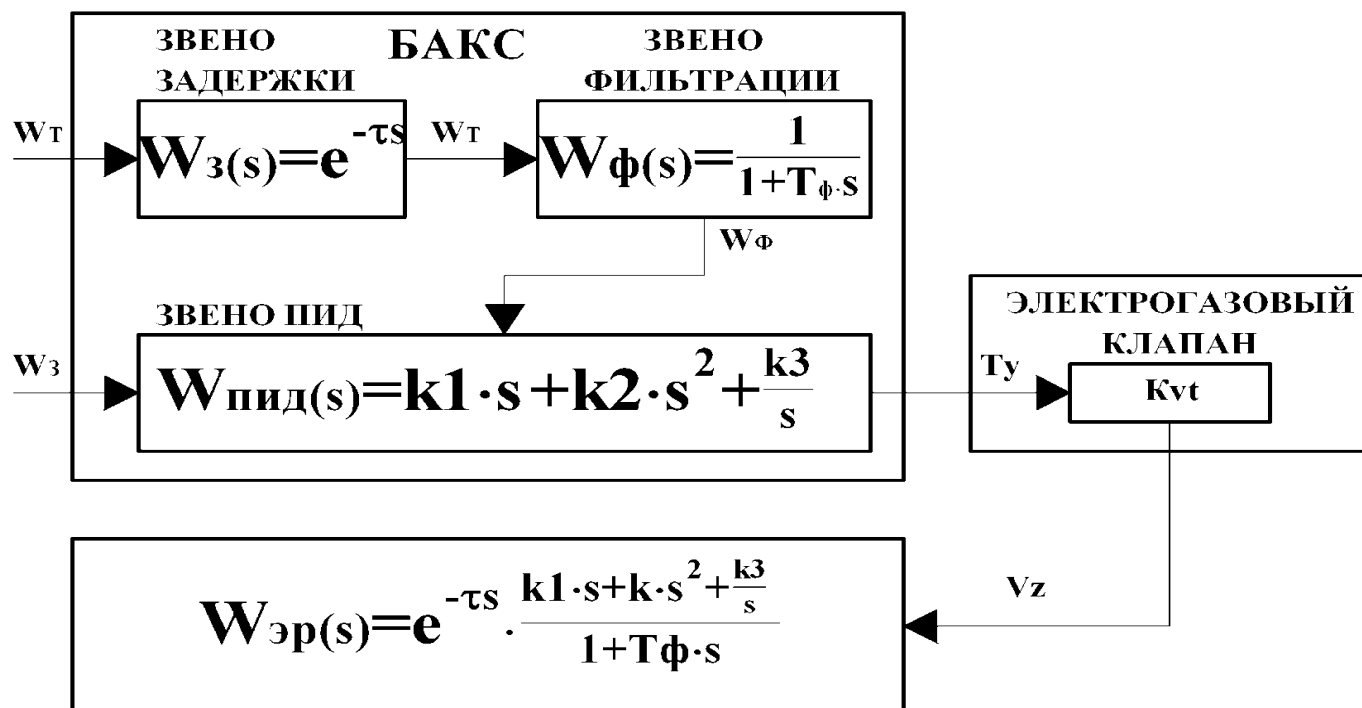
V_z – датчик объемная цикловая подача газа;

K_{Vz} – датчик коэффициента объемной цикловой подачи от длительности управляющего сигнала

На основании алгоритма заложенного в этот блок формируется управляющий сигнал, который подается на газовый дозатор.

Структурная схема передаточных функций электронного регулятора частоты вращения с системой импульсной

подачи газа



БАКС содержит 3 основных звена :

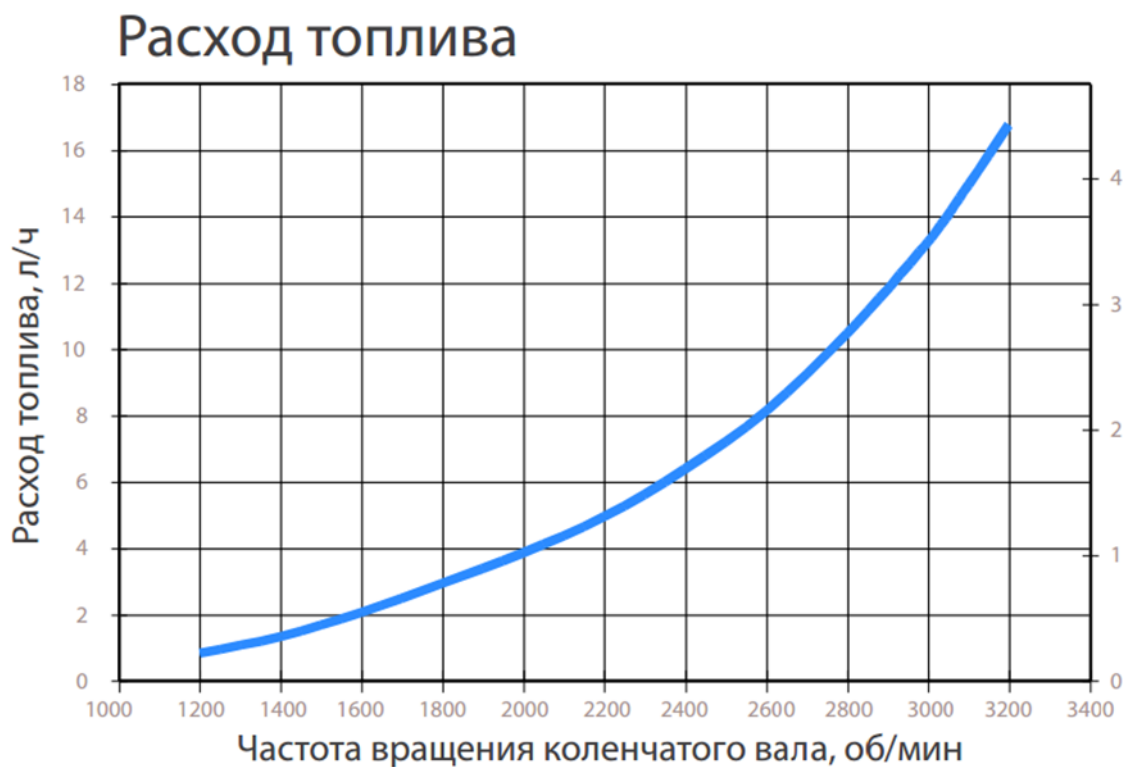
- звено задержки
- звено фильтрации

– звено ПИД (Пропорционально– интегрально– дифференцирующий регулятор) используется для регулирования инерционных физических параметров технологических процессов: температуры, давления, расхода, соотношения, концентрации

Регулятор частоты вращения с системой импульсной подачи газа обладает большим быстродействием и большим запасом устойчивости.

На электрогазовый клапан с электронным управлением подается управляющий сигнал для последующего дозирования газового топлива.

В качестве исходных данных был использован график зависимости расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала дизельного двигателя Yanmar 4JH4.[10]



Алгоритм расчетов:

1. Определим массовый расход - $G = V\rho_T$,

Где:

ρ_T – плотность топлива (принимаем 0,8 кг/л).

V – расход топлива

2. Определим цикловую подачу топлива - $q = \frac{G_T \cdot \tau}{i \cdot n}$

Где:

$i=4$ (число цилиндров), $\tau=4$ (тактность двигателя).

3. Определим цикловой подвод теплоты - $Q_{цикл} = q \cdot H_u$

Где:

H_u - теплота сгорания топлива

4 . Определим массовые цикловые подачи газа для каждого из режимов

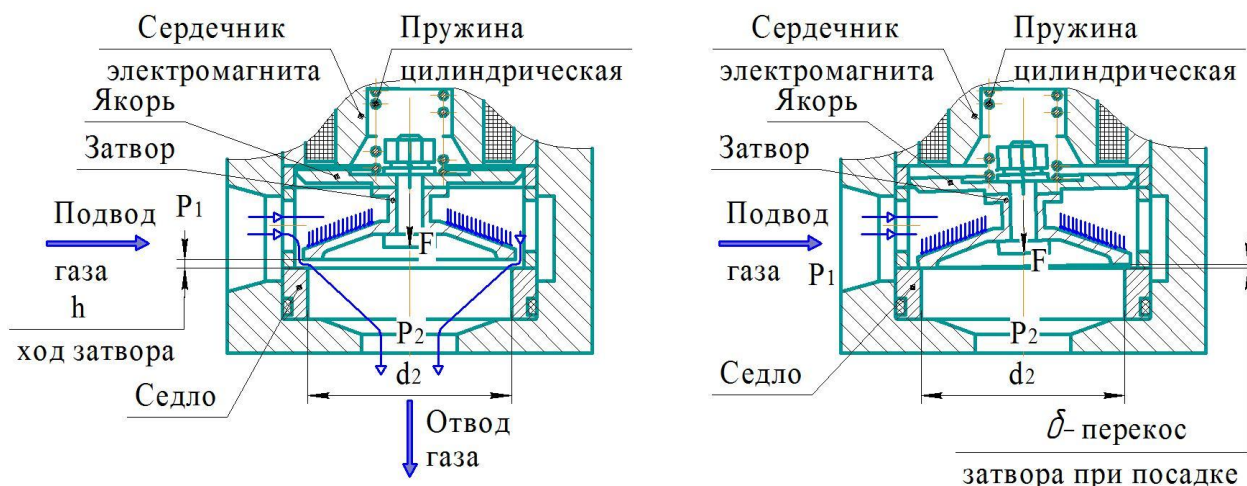
$$m_{\text{цикл}} = \frac{Q_{\text{цикл}}}{H_u}$$

4. Определим объёмную подачу газа за цикл

$$V_{\text{цикл}} = \frac{m}{\rho}$$

Общий вид электрогазового клапана с однощелевым седлом и цилиндрической пружиной

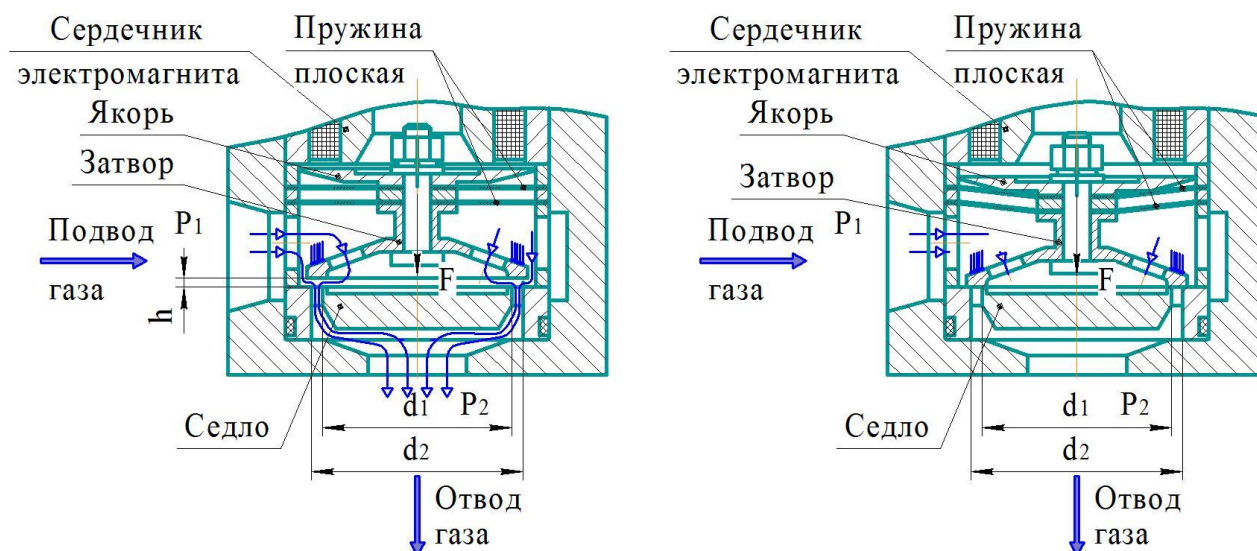
Затвор поднят Посадка затвора на седло



Конструкция электрогазового клапана, первоначально разрабатывалась с цилиндрической возвратной пружиной. Однако в процессе исследований и испытаний было выявлено, что при посадка затвора на седло происходила с перекосом, который вызывал интенсивный износ седла и затвора с последующим нарушением герметичности. Кроме того наличие одной кольцевой щели для электрогазового клапана с большой производительности приводило к увеличенным размерам седла и затвора, что приводило к увеличенной силе отрыва затвора от седла и далее к увеличенным размерам электромагнита.[11]

Общий вид электрогазового клапана с двухщелевым седлом и с двумя пластинчатыми пружинами

Затвор поднят Посадка затвора на седло



В процессе дальнейших разработок была принята конструкция с двумя пластинчатыми пружинами и с двухщелевым седлом. Наличие двух плоских пружин в электрогазовом клапане осуществляет плоскопараллельное движение затвора, что обеспечивает при посадке контакт по всей поверхности затвора и седла и тем самым снижает контактное напряжение. Наличие двухщелевого седла обладает преимуществом по сравнению с однощелевым седлом, поскольку при одинаковых габаритах площадь проходного сечения для прохода газов у него больше, а за счет того, что усилие от давления газа действует на кольцевую щель то оно меньше. На такой электрогазовый клапан получен патент Российской Федерации № 2211878.

Формулы расчета площади проходного сечения электрогазового клапана

Вариант электрогазового клапана с однощелевым седлом

Площадь проходного сечения клапана электрогазового рассчитывается по формуле:

$$f = \pi \cdot d \cdot h \text{ [мм}^2\text{]}$$

где: d_2 – диаметр кольцевой щели, мм;

h – ход затвора, мм;

Усилие действующее на затвор от газов рассчитывается по формуле:

$$F = (P_1^2 - P_2^2) \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot 10^{-1} \text{ [кГ]}$$

где: P_1 – давление газа на входе в клапан электрогазовый, Мпа;

P_2 – давление газа на выходе клапан электрогазового, Мпа;

вариант электрогазового клапана с <u>однощельным седлом</u>					
f	P1	P2	pi	d1	h1
314.00	95000.00	92000.00	3.14	20	5

Вариант электрогазового клапана с двухщелевым седлом

Площадь проходного сечения клапана электрогазового рассчитывается по формуле:

$$f = \pi \cdot d \cdot h \text{ [мм}^2\text{]}$$

где: d_2 – диаметр кольцевой щели, мм;

h – ход затвора, мм;

Усилие действующее на затвор от газов рассчитывается по формуле:

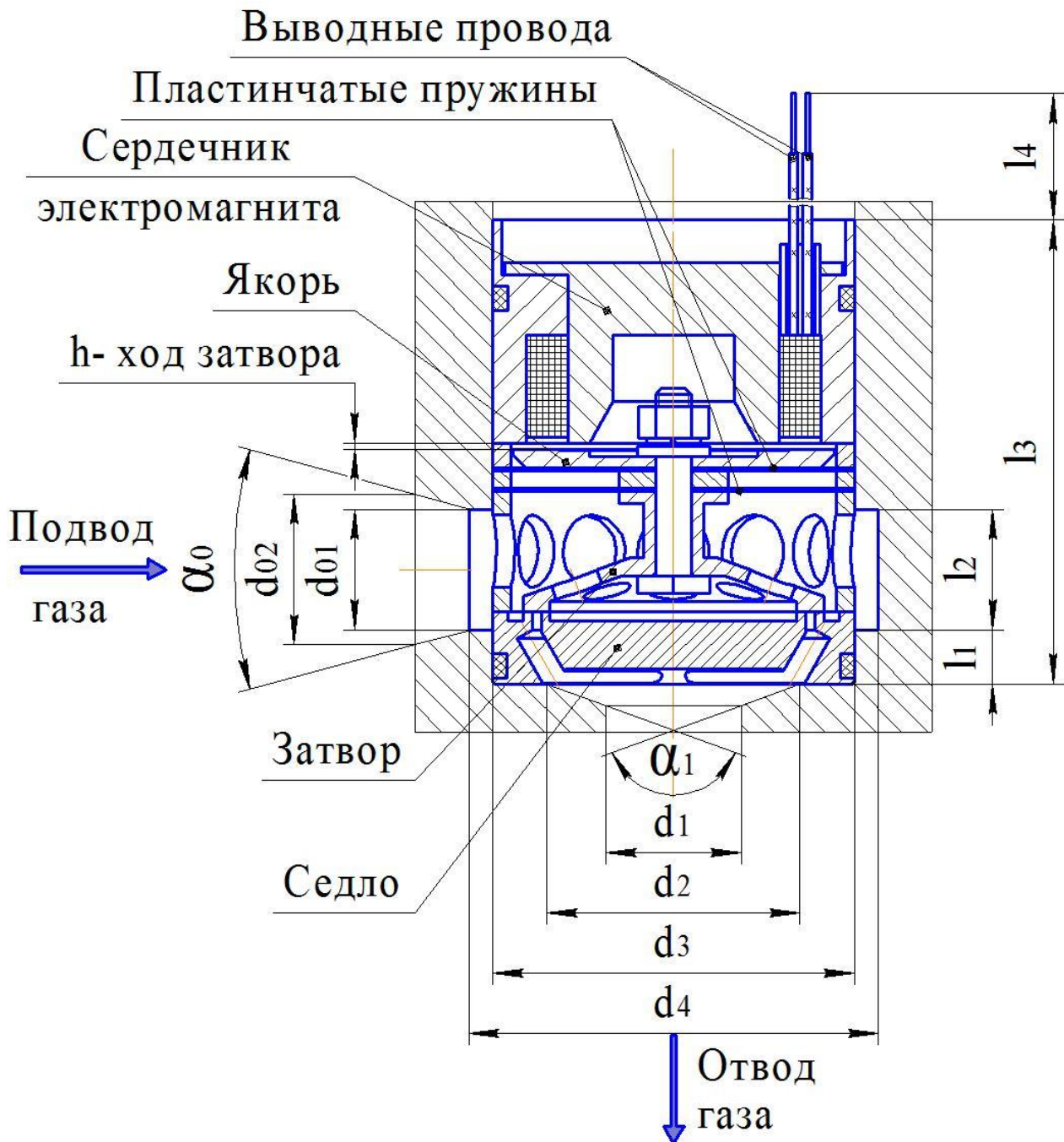
$$F = (P_1^2 - P_2^2) \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot 10^{-1} \text{ [кг]}$$

где: P_1 – давление газа на входе в клапан электрогазовый, Мпа;

P_2 – давление газа на выходе клапан электрогазового, Мпа;

вариант электрогазового клапана с <u>двухщельным седлом</u>					
f	P1	P2	pi	d1	h1
942.00	95000.00	92000.00	3.14	30	10

Общий вид электрогазового клапана



ВЫВОДЫ

В двигателе работающем на газовом топливе на подачу газа дозатором к всасывающим клапанам оказывает влияние объем полости всасывания (коллектора), угла перекрытия клапанов в процессе продувки и сжимаемости газа, и поэтому он попадает в цилиндры с запаздыванием и с недостаточно качественным смесеобразованием, что ухудшает качество регулирования частоты вращения несмотря на преимущества двигателя работающего на газе.

Для улучшения экологических и экономических показателей двигателей, работающих на газовом топливе, проведены работы по созданию электроуправляемой системы импульсной подачи газа. В системах с импульсной подачей посредством быстродействующего электромагнитного клапана газ подается к всасывающим клапанам двигателя в такте впуска и поэтому влияние объема всасывания и угла перекрытия клапанов в процессе продувки сведено к минимуму, что значительно уменьшает запаздывание подачи газа

При различном режиме работы двигателя мы должны подавать разную порцию топлива. В топливных системах старого поколения этим занимался человек. На сегодняшний день все более актуальным становится использование АСУ (автоматизированной системы управления), которая сама управляет количеством подаваемого топлива

На электрогазовый клапан с электронным управлением подается управляющий сигнал для дальнейшего распределения топлив.

Конструкция электрогазового клапана, первоначально разрабатывалась с цилиндрической возвратной пружиной. Однако в процессе исследований и испытаний было выявлено, что посадка затвора на седло происходила с перекосом, который вызывал интенсивный износ седла и затвора с последующим нарушением герметичности. Кроме того наличие одной

кольцевой щели для электрогазового клапана с большой производительности приводило к увеличенным размерам седла и затвора, что приводило к увеличенной силе отрыва затвора от седла и далее к увеличенным размерам электромагнита.

В процессе дальнейших разработок была принята конструкция с двумя пластинчатыми пружинами и с двухщелевым седлом. Наличие двух плоских пружин в клапане электрогазовом клапане осуществляет плоскопараллельное движение затвора, что обеспечивает при посадке контакт по всей поверхности затвора и седла и тем самым снижает контактное напряжение. Наличие двухщелевого седла обладает преимуществом по сравнению с однощелевым седлом, поскольку при одинаковых габаритах площадь проходного сечения для прохода газов у него больше, а за счет того, что усилие от давления газа действует на кольцевую щель то оно меньше. На такой электрогазовый клапан получен патент Российской Федерации № 2211878.

Использование электрогазового клапана с двухщелевым седлом позволяет обеспечить наполнение цилиндра лучше, чем при использовании электрогазового клапана с однощелевым седлом. Нам потребуется меньшее усилие ,действующее на шток клапана ,следовательно мы можем использовать более компактный и менее мощный электромагнит .

3. СОЗДАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ

Формулы расчета цикловой подачи газа электрогазовым клапаном

Цикловая подача газа рассчитывается по формуле:

1) для режима докритического истечения – $\left(\frac{P_2}{P_1} > \beta_{кр}\right)$

$$V_z = \frac{\mu \cdot f \cdot P_1}{P_0} \cdot t_0 \cdot \sqrt{2 \cdot k \cdot R \cdot T \cdot \left[\beta^{\frac{2}{k}} - \beta^{\frac{k+1}{k}}\right]} \left[\frac{\text{нм}^3}{\text{цикл}}\right]$$

2) Время открытия клапана рассчитывается по формуле:

$$t_0 = V_z / \frac{\mu \cdot f \cdot P_1}{P_0} \cdot \sqrt{2 \cdot k \cdot R \cdot T \cdot \left[\beta^{\frac{2}{k}} - \beta^{\frac{k+1}{k}}\right]} \text{ [с]}$$

где: $P_1 = P_{1и} + P_0$ – давление газа абсолютное на входе в электрогазовый клапан, МПа;

$P_2 = P_{2и} + P_0$ – давление газа абсолютное на выходе электрогазового клапана, МПа;

$P_0 = 0,1 \text{ МПа}$ – давление атмосферное;

$\beta_{кр} = \frac{P_2}{P_1} = \left[\frac{2}{k+1}\right]^{\frac{k}{k-1}}$ – критическое отношение давлений;

k – показатель адиабаты (для многоатомных газов принимается равным $\frac{9}{7}$)

μ – коэффициент расхода проходного сечения электрогазового клапана (определяется

экспериментально, предварительно принимается равным 0,6);

f – площадь проходного сечения электрогазового клапана, м^2 ;

t_0 – время открытия электрогазового клапана (длительность подачи электрического питания на электромагнит), с;

R –газовая постоянная, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ (для природного газа принимается равным $480\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$);

$T = t_r + 273$ – температура газа, К;

t_r –температура газа, °С.

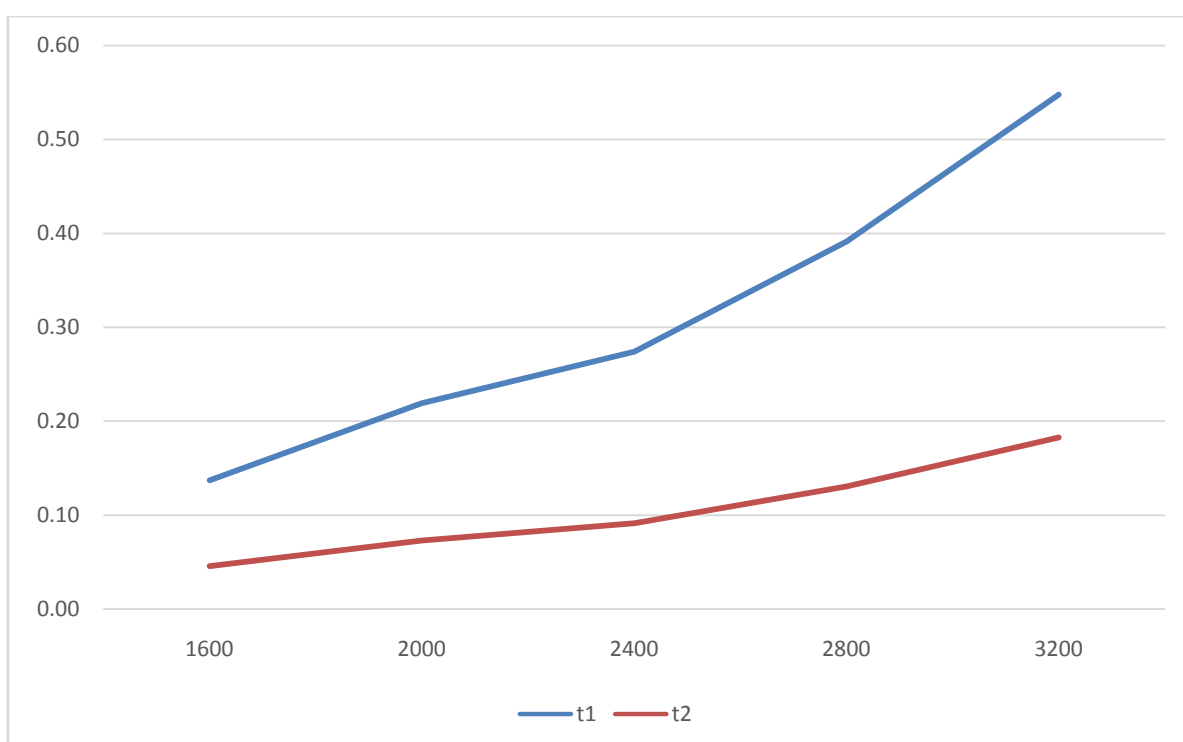
μ	f	P1	P0	k	R	T	β	P1	P2
0,6	314	9500	10000	1,28571	8,31	293	0,96842	9500	9200
		0	0	4			1	0	0

Исходные данные

Результаты

Частота вращения	t1	t2
1600	0,14	0,05
2000	0,22	0,07
2400	0,27	0,09
2800	0,39	0,13
3200	0,55	0,18

График времени открытия клапана при разных седлах



- 1- Время открытия электрогазового клапана с однощельным седлом
- 2- Время открытия электрогазового клапана с двухщелевым седлом

Характеристика двигателя используемого для расчетов

Для расчетов использовались формулы ООО «Проектно–производственное предприятие Дизельавтоматика» .[12]

Расчеты применились для конвертирования двигателя на судне ,которое использует наш университет для экспедиций . Катамаран CENTAURUS– II имеет два дизельных двигателя , мощностью Yanmar 4JH4 55 л.с и Yanmar 3JH3– 40 л.с. Они предназначены для парусных яхт. Основным назначением двигателей этой серии является – движение в штиль и помощь при заходе на сложную стоянку. Мощность данных силовых установок (40 – 125 л.с.) позволяет им служить источником электроэнергии и приводом для различных гидромеханических устройств. Двигатели данной серии характеризуются рядным расположением цилиндров, прямым впрыском топлива, возможностью применения различных модификаций турбонаддува, а также возможностью установки генератора KMG65E (3– 6 кВт 230 В) на двигатели 3JH4E и 4JH4AE с РРП или SD50. [13]



Характеристика двигателя Yanmar 4JH4

Тип двигателя	4-х тактный, дизельный двигатель с вертикальным расположением цилиндров и охлаждением заборной водой
Количество цилиндров	3
Максимальная мощность на выходе коленчатого вала	29.4 кВт (40 л.с.) / 3000 об / мин, (ISO 8665)
Номинальная мощность на выходе коленчатого вала	26.7 кВт (36.3 л.с.) / 2907 об / мин
Диаметр х ход поршня	88 x 90 мм
Объем двигателя	1,640 л
Подача воздуха	Без наддува
Топливная система	Прямой впрыск топлива
Система запуска	Электростартер 12 В - 1.4 кВт
Система охлаждения	2-контурная система охлаждения заборной водой с теплообменником
Генератор	12 В - 80 А
Система смазки	Замкнутая, с принудительной циркуляцией
Направление вращения коленчатого вала	Против часовой стрелки, глядя со стороны кормы
Соответствие экологическим нормам	EU RCD, US EPA Tier2, BSO II & EMC
Габаритные размеры	602x518x623 мм
Сухой вес двигателя без редуктора	173 кг

Характеристика двигателя Yanmar 3JH3

Тип двигателя	4-х тактный, дизельный двигатель с вертикальным расположением цилиндров и охлаждением забортной водой
Количество цилиндров	4 цилиндра, с 4-х клапанной головкой цилиндра
Максимальная мощность на выходе коленчатого вала	55,2 кВт (75 л.с.) / 3200 об / мин, (ISO 8665)
Номинальная мощность на выходе коленчатого вала	50,2 кВт (68 л.с.) / 3100 об / мин
Диаметр х ход поршня	84 x 90 мм
Объём двигателя	1,995 л
Подача воздуха	turbochargerREMA
Топливная система	Прямой впрыск топлива
Система запуска	Электростартер 12 В - 1.4 кВт
Система охлаждения	2-контурная система охлаждения забортной водой с теплообменником
Генератор	12 В - 80 А
Система смазки	Замкнутая, с принудительной циркуляцией
Направление вращения	Против часовой стрелки, глядя со стороны кормы



ко
Со
но
Га
Су
ре

Выводы

Установлено, что дальнейшее развитие газодельных двигателей требует совершенствования системы топливной подачи .

Выбрана

наиболее



перспективная схема подающей системы ,разработанная Фурман Виктором

Владимировичем, которая успешно используется на автомобильном и железнодорожном транспорте.

Для расчетов использовались формулы ООО «Проектно– производственное предприятие Дизельавтоматика» .

Расчеты применялись для конвертирования двигателя на судне, которое использует наш университет для экспедиций . Катамаран CENTAURUS– II имеет два дизельных двигателя , мощностью Yanmar 4JH4 55 л.с и Yanmar 3JH3– 40 л.с.

Система была адаптирована для двигателя Yanmar 4JH4 .

При выполнении разработан алгоритм управлением топливоподачи электрогазовым клапаном с двухщелевым седлом. В зависимости от режима работы двигателя АСУ подает разное количество топлива (считывая сигнал с коленчатого вала и подавая на временной клапан) Проведены расчеты конструкции газового клапана.

Предложенный алгоритм расчетов может быть использован для адаптации других дизельных двигателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из– за большой агрегатной мощности судовые ДВС могут являться основным источником загрязнения атмосферы в таких локальных зонах как порты, гидротехнические сооружения, акватории рек в черте города

Установленные требования означают необходимость принятия следующих мер: снижения расхода топлива, которое неизбежно приведет к эквивалентному снижению выбросов с ОГ продуктов неполного сгорания

топлива: сажи, углеводородов, оксидов углеводородов, формальдегида; К использованию новых источников энергии, применению альтернативных топлив

Из альтернативных топлив наиболее перспективным является природный газ, Природный газ на 98...99 % состоит из метана.

Моторные свойства природного газа позволяют использовать его для двигателей практически не изменяя базовую конструкцию. Так же мощность установки будет сохранена, экономичность увеличится, а содержание токсичных выбросов уменьшится.

Газодизельные двигатели нашли свое применение в таких областях как автомобильный, железнодорожный, морской, речной, авиационный транспорт, а так же в и технике специального назначения.

С момента принятия закона о переходе на газодизельное топливо различных транспортных средств начались интенсивные работы по проектированию и созданию газодизельных двигателей

Используются два принципиально различающихся способа перевода дизельных двигателей на питание газовым топливом:

1. Конвертация дизельного двигателя в двигатель внутреннего сгорания с воспламенением газозвушной смеси от искры (полное замещение топлива).

Данный способ достаточно радикальный и связан со значительным изменением конструкции базового двигателя. При этом с двигателя демонтируют дизельную топливную аппаратуру, уменьшают степень сжатия до 11– 16 единиц, устанавливают систему зажигания, топливоподающую газовую систему. В результате двигатель работает на газовом топливе, которое имеет стоимость ниже, чем дизельное топливо. Экологические параметры отработавших газов конвертированного дизеля, как правило, выше исходного двигателя, при работе по первому варианту обеспечиваются

номинальные мощности с незначительным снижением КПД с базовым двигателем.

После выполнения конвертации двигатель уже не может больше работать на дизельном топливе.

2. Использование газодизельного режима. В газодизельном режиме в двигатель подают два топлива – основное дизельное (но в меньшем количестве, чем в базовом), дополнительное – газовое (топливо для замещения). При этом основное дизельное топливо играет роль «запальной» дозы для воспламенения интегральной газозоообразной топливной смеси. Существенным преимуществом газодизельного цикла является то, что мощность источника зажигания в нем значительно больше, чем в двигателе с искровым зажиганием, кроме того, рабочая смесь поджигается не в одной точке у холодной стенки, а в центре заряда. Благодаря этому одной из важных особенностей газодизельного процесса является возможность надежной работы двигателя на обедненной рабочей смеси. При таком способе сохраняется возможность быстрого перехода с газового топлива на дизельное и обратно.

Использование газового топлива на транспорте, в том числе на морском и речном, приводит к возникновению дополнительных рисков, которые необходимо минимизировать. Выделяются следующие виды опасностей, обусловленных присутствием на судне СПГ и его паров:

- 1) объемный взрыв газа, возникающий в результате его утечки в газообразном состоянии в замкнутом объеме при наличии источника воспламенения (источником воспламенения может служить открытое пламя, электрическая искра или поверхность, нагретая выше температуры самовоспламенения газа (для метана + 540 °));
- 2) взрыв емкостей для хранения газа в следствие повышения давления;

- 3) пожар в результате разлившегося газа или струйный пожар в результате горения газа под давлением;
- 4) газовое облако, в котором может возникнуть пожар;
- 5) быстрое фазовое превращение при попадании сжиженного газа в воду, аналогичное взрыву без возгорания;
- 6) резкое значительное увеличение давления в емкости сжиженного газа в результате перемешивания слоев газа с различной плотностью и резкого увеличения интенсивности парообразования в танке СПГ;
- 7) удушье в результате попадания человека в облако газа;
- 8) травмы от низких температур в результате воздействия сжиженного газа при контакте с кожей человека;

загрязнение атмосферы в результате утечки газа

Опыт эксплуатации судов, использующих газовое топливо свидетельствует, что наибольшую опасность независимо от типа энергетической установки и способа хранения газового топлива представляют утечки газа, влекущие за собой взрывы и пожары.

Наиболее эффективным средством обеспечения безопасной эксплуатации судовых энергетических установок, работающих на СПГ является установление требований классификационных обществ, касающихся строительства и эксплуатации судов–газоходов, их энергетических установок и систем.

В двигателе работающем на газовом топливе на подачу газа дозатором к всасывающим клапанам оказывает влияние объем полости всасывания (коллектора), угла перекрытия клапанов в процессе продувки и сжимаемости газа, и поэтому он попадает в цилиндры с запаздыванием и с недостаточно качественным смесеобразованием, что ухудшает качество регулирования частоты вращения несмотря на преимущества двигателя работающего на газе.

Для улучшения экологических и экономических показателей двигателей, работающих на газовом топливе, проведены работы по созданию электроуправляемой системы импульсной подачи газа. В системах с импульсной подачей посредством быстродействующего электромагнитного клапана газ подается к всасывающим клапанам двигателя в такте впуска и поэтому влияние объема всасывания и угла перекрытия клапанов в процессе продувки сведено к минимуму, что значительно уменьшает запаздывание подачи газа

При различном режиме работы двигателя мы должны подавать разную порцию топлива. В топливных системах старого поколения этим занимался человек. На сегодняшний день все более актуальным становится использование АСУ (автоматизированной системы управления), которая сама управляет количеством подаваемого топлива

На электрогазовый клапан с электронным управлением подается управляющий сигнал для дальнейшего распределения топлив.

Конструкция электрогазового клапана, первоначально разрабатывалась с цилиндрической возвратной пружиной. Однако в процессе исследований и испытаний было выявлено, что посадка затвора на седло происходила с перекосом, который вызывал интенсивный износ седла и затвора с последующим нарушением герметичности. Кроме того наличие одной кольцевой щели для электрогазового клапана с большой производительности приводило к увеличенным размерам седла и затвора, что приводило к увеличенной силе отрыва затвора от седла и далее к увеличенным размерам электромагнита.

В процессе дальнейших разработок была принята конструкция с двумя пластинчатыми пружинами и с двухщелевым седлом. Наличие двух плоских пружин в электрогазовом клапане осуществляет плоскопараллельное движение затвора, что обеспечивает при посадке контакт по всей поверхности затвора и седла и тем самым снижает контактное напряжение. Наличие двухщелевого седла обладает преимуществом по сравнению с однощелевым

седлом, поскольку при одинаковых габаритах площадь проходного сечения для прохода газов у него больше, а за счет того, что усилие от давления газа действует на кольцевую щель то оно меньше. На такой электрогазовый клапан получен патент Российской Федерации № 2211878.

Использование электрогазового клапана с двухщелевым седлом позволяет обеспечить наполнение цилиндра лучше, чем при использовании электрогазового клапана с однощелевым седлом. Нам потребуется меньшее усилие ,действующее на шток клапана ,следовательно мы можем использовать более компактный и менее мощный электромагнит .

Установлено, что дальнейшее развитие газодельных двигателей требует совершенствования системы топливной подачи .

Выбрана наиболее перспективная схема подающей системы ,разработанная Фурман Виктором Владимировичем, которая успешно используется на автомобильном и железнодорожном транспорте.

Для расчетов использовались формулы ООО «Проектно–производственное предприятие Дизельавтоматика» .

Расчеты применены для конвертирования двигателя на судне ,которое использует наш университет для экспедиций . Катамаран CENTAURUS– II имеет два дизельных двигателя , мощностью Yanmar 4JH4 55 л.с и Yanmar 3JH3– 40 л.с. Система была адаптирована для двигателя Yanmar 4JH4 .При выполнении разработан алгоритм управлением топливоподачи электрогазовым клапаном с двухщелевым седлом. В зависимости от режима работы двигателя АСУ подает разное количество топлива (считывая сигнал с коленчатого вала и подавая на временной клапан) Проведены расчеты конструкции газового клапана. Предложенный алгоритм расчетов может быть использован для адаптации других дизельных двигателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Котиков Ю. Г.* Транспортная энергетика / Ю. Г. Котиков, В. Н. Ложкин. – М.: Изд-кий центр «Академия», 2006. – 272 с.

2. Международная конвенция MARPOL 73/78. Приложение VI «Предотвращение загрязнения атмосферы судами». Кн. 3. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2000.–281 с.

3. Баранов В. А. Анализ перспективности применения различных видов альтернативного топлива на морских судах / В. А. Баранов, А. А. Сергеев, В. К. Шурпак // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2010. – № 33.– С. 99-126.

4. Хачиян А. С. Сравнительная оценка выбросов двуокси углерода различными двигателями / А. С. Хачиян // Перспективы развития энергетических установок для автотранспортного комплекса: сб. научных трудов МАДИ (ТУ). – М., 2006. – С. 4-9.

5. МЕРС.212 (63). Руководство по методу расчета EEDI Energy Efficiency Design Index (конструктивный коэффициент энергетической эффективности - ККЭЭ).

6. 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution МЕРС 66/21/Add 1 Annex 5, МЕРС [Электронный ресурс]. – 2015. – 245 (66). 30 с. – Режим доступа: URL: www.schonescheepvaart.nl/downloads/regelgeving/doc_1400076573.pdf.

7. Дорохов А.Ф. Особенности применения газообразных топлив в судовых энергетических установках / А.Ф. Дорохов, И.А. Апкаров, Хоан КоангЛьонг // Морская техника и технология. – 2012. – №2. – С. 70–75.

8. Examining the Exploitation of Methanol as a Fuel Type // Diesel facts. – 2015. – № 2. – Pp. 6–7.

9. Dual-Fuel L35/44DF Engine Moves towards Market Entry // Diesel facts. – 2015. – № 2. – Pp 11-11.

10. Власов А. А. Придет ли природный газ на смену мазуту? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.korabel.ru/news/comments/prid_t_li_prirodniiy_gaz_na_smenu_mazutu.html

11. *Киселев Д. М.* Суда на природном газе: опыт эксплуатации и перспективы развития / Д. М. Киселев, В. К. Новиков, В. В. Попов, К. И. Федин, И. В. Маслов // Речной транспорт (XXI век). – 2013. – № 3 (62).– С. 62-64.
12. *Безюков О.К., Жуков В.А., Яценко О. И.* Газомоторное топливо на водном транспорте. // Вест. Гос. ун-та морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. 2015. № 6 (). С. 31-39.
13. Области применения газодизельных двигателей.Транспорт. [Электронный ресурс]//Режим доступа :<https://www.drive2.ru/o/b/2805789>
14. Характеристика двигателя используемого для расчетов. [Электронный ресурс]//Режим доступа :[http://www.yanmar-motors.ru/production/engines/marine/JH_seriya/4JH4- TE.html](http://www.yanmar-motors.ru/production/engines/marine/JH_seriya/4JH4-TE.html)
15. MSC 83/INF.3 «FSA – LiquefiedNaturalGas (LNG) Carriers Details of the Formal Safety Assessment», IMO – 2007.
16. ABS. Guide for LNG Fuel Ready Vessels. December 2014. – American Bureau of Shipping ABS Plaza16855Northchase DriveHouston, TX77060USA.
17. ABS. Rules for Survey after Construction 2016 (Part 7) . 2015. – American Bureau of Shipping ABS Plaza16855Northchase DriveHouston, TX77060USA.