

**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
СЕМИНАР ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ  
УПРАВЛЕНИЮ И РЕГУЛИРОВАНИЮ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК  
ИМ. ПРОФ. В.И. КРУТОВА**

В МГТУ им. Н.Э. Баумана 31 января 2007 г. состоялось 82-е заседание Всероссийского научно-технического семинара (ВНТС) по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок, основанного В.И. Крутовым в 1970 г. Председательствующий д-р техн. наук, проф. В.А. Марков (МГТУ им. Н.Э. Баумана) во вступительном слове отметил большой вклад В.И. Крутова в науку и, в частности, в становление семинара. В последующем выступлении В.А. Марков отметил важность исследований, направленных на адаптацию ДВС к работе на альтернативных видах топлива. Это обусловлено истощением мировых запасов нефти и повышением цен на моторные топлива. Еще одним фактором, вызывающим необходимость замены традиционного дизельного топлива альтернативными топливами, является резко ухудшающаяся экологическая обстановка и постоянно ужесточающиеся требования к токсичности отработавших газов (ОГ) ДВС. В связи с подписанием Россией Киотского соглашения особую значимость в настоящее время приобретает законодательное ограничение выбросов углекислого газа в окружающую среду. Поэтому первостепенной задачей является адаптация двигателей к работе на топливах, производимых из возобновляемых источников энергии.

Далее в соответствии с планом работы было заслушано 27 докладов.

Совместный российско-германский доклад “Результаты исследований содержания оксидов азота в ОГ дизеля 6ЧН24/35 фирмы МАК” представили Р. Беренс (Техн. ун-т, г. Бремерхафен, Германия), Г. Фурманн (“Морская индустрия ремонта”, г. Бремерхафен; Германия) и В.И. Толшин (МГАВТ). Такие исследования были проведены в Техническом университете под руководством проф. Р. Беренса. В испытаниях и анализе результатов участвовал д-р техн. наук, проф. В.И. Толшин, в испытаниях — дипломированный инженер Оливер Шоинг (Техн. ун-т, г. Бремерхафен), в обработке результатов экспериментов — инженер А.Ю. Минаев (МГАВТ). Цель исследований — выявить закономерности изменения концентрации оксидов азота в ОГ двигателя фирмы МАК 6ЧН24/35 при его работе по нагрузочной характеристике. Результаты расчетов ряда параметров двигателя МАК 24/35 при работе на режимах нагрузочной характеристики показали, что расчетная кривая удовлетворительно описывает изменение экспериментально полученной концентрации оксидов азота этого двигателя. Результаты испытаний свидетельствуют о том, что при нагрузке менее 50 % имеет место существенное снижение выброса  $\text{NO}_x$ . Мониторинг в процессе эксплуатации заключается в использовании на судне

приборов (в том числе уже имеющихся) и микрокалькулятора, на который через преобразователи должны постоянно поступать следующие сигналы: данные по частоте вращения дизеля, давлению наддувочного воздуха, давлению конца сжатия и максимальному давлению в цилиндре, температуре перед цилиндрами, температуре ОГ перед турбиной (все перечисленные — от штатных измерительных устройств) и дополнительно — по содержанию кислорода в ОГ (от  $\lambda$ -зонда). Для судов, имеющих первую степень автоматизации, процесс контроля полностью автоматизируется с использованием предупредительной сигнализации. Все это позволяет рекомендовать предложенную авторами методику в качестве альтернативной для мониторинга оксидов азота при эксплуатации на судне четырехтактного дизеля.

В докладе В.И. Толшина, А.Ю. Минаева, В.А. Зяброва (МГАВТ) предложена система диагностики воздухоснабжения судового четырехтактного дизеля, позволяющая обеспечивать диагностику надежности дизеля в условиях эксплуатации и контролировать в реальном масштабе времени фактическое состояние компрессора, т.е. характеристику работы в каждый момент времени и запас по помпажу. В основу расчета надежности судового дизеля в условиях эксплуатации положен усредненный показатель теплонапряженности по критерию Овсянникова, который с определенной долей точности можно рассматривать как величину, обратно пропорциональную долговечности. В связи с дороговизной известных систем диагностики дизелей их нецелесообразно устанавливать на небольших судах прибрежного плавания. Предлагаемое устройство включает в себя стандартные датчики расхода топлива и частоты вращения, информация от которых поступает в расчетный блок с предварительно введенной характеристикой контролируемого компрессора. Определив приведенные расход воздуха и степень повышения давления в компрессоре, расчетный блок находит точку, в которой в данный момент работает компрессор, достраивает эквидистантную кривую частоты вращения компрессора до линии помпажа и определяет запас по помпажу на данном режиме работы компрессора. При значении запаса по помпажу меньше критического расчетный блок подает сигнал к исполнительным механизмам, предпринимающим действия к предотвращению помпажа. В предлагаемой модели для диагностики дизеля с турбонаддувом используется  $\lambda$ -зонд, измеряющий концентрацию кислорода в ОГ дизеля.

С докладом “Усовершенствование аппарата FUZZY-логики в управлении дизелем” выступили Ю.Е. Хрящев, В.В. Кирик, А.А. Третьяков (ЯГТУ). На практике нечеткое управление (fuzzy-логика) в своем классическом варианте показало себя очень ресурсоемким. Алгоритм при частоте регулятора свыше 100 Гц не успевает обрабатывать возмущения вследствие длительного пересчета. Выяснено также, что наличие в программе цикла интегрирования при вычислении средневзвешенного значения выходных функций принадлежности снижает быстродействие программы. Предложен алгоритм, в котором начальный этап преобразования входного сигнала ошибки в выходной управляющий сигнал остается без изменения, а вместо выходных функций принадлежности используются линейные выходные функции. В этом случае цикл интегрирования по количеству значений, определяемому шагом

интегрирования, заменяется циклом суммирования по количеству выходных функций.

Ю.Е. Хрящёв, А.Е. Ражев, А.В. Федоров (ЯГТУ) представили доклад “Электронная система управления (ЭСУ) холодным пуском автомобильного дизеля”, в котором приведено описание системы, разработанной на основе электрофакельного устройства. С помощью ЭСУ осуществляется пуск и обеспечивается начало устойчивой работы дизеля. Приведены алгоритмы и описана аппаратная часть. В качестве исполнительного устройства применен электроуправляемый клапан, позволяющий организовать пульсирующее дозирование топлива. Система апробирована на дизелях ЯМЗ, оснащенных ЭСУ. В результате повышена надежность пуска дизеля.

“Особенности управления дизель-генераторной установкой, оснащенной системой управления ЭСУ-1Г” — тема выступления Ю.Е. Хрящёва, Р.О. Антошина, М.В. Тихомирова (ЯГТУ, ОАО “ЯЗДА”). Освещены проблемы конверсии автомобильных дизелей в промышленные, особенности первичных дизелей генераторных установок. Рассмотрены современные требования к качеству электрической энергии, промышленным дизелям и системам автоматического регулирования (САР) частоты вращения (ГОСТ 13822-82, ГОСТ 10150-88, ГОСТ 10511-83). С помощью обычного алгоритма, в основе которого используется традиционный ПИД-регулятор, не удастся стабилизировать работу системы. Применен специальный алгоритм управления, позволяющий улучшить качество переходных процессов. Результаты проведенных исследований подтверждены экспериментально.

“Новое в использовании пьезоактюаторов для создания микроэлектронных систем управления топливоподачей ДВС” — тема выступления Э.В. Широких, В.Е. Кузина, А.Д. Головачева (КИ МГОУ). Предложено в качестве привода исполнительных устройств элементов систем топливоподачи использовать погружной пьезоактюатор (ПА) объемного принципа действия (ОПД). Приведены принципы работы, расчетно-экспериментальная оценка возможности реализации ОПД и преимущества такого ПА по сравнению с традиционно используемым ПА осевого перемещения, а также результаты экспериментального определения пьезоэлектрических характеристик погружных пьезоэлементов из различных пьезоэлектрических материалов. Представлены запатентованные конструктивные схемы элементов систем и исполнительных устройств с приводами на основе погружных ПА ОПД, используемых в микроэлектронных системах управления топливоподачей в ДВС.

А.Б. Смирнов (ГТУ “МАДИ”) выступил с докладом “Практическая реализация нейронного управления двигателем”. На основе проведенных исследований получены следующие основные результаты: показана возможность реализации управления с помощью нейронных сетей с использованием обычного блока бортовой системы управления двигателем; разработанная методика программной реализации нейронных сетей позволила внедрить корректор с нейронными коэффициентами в стандартный электронный блок управления двигателем как часть общего алгоритма; метод быстрого подбора параметров корректора с нейронными коэффициентами позволил сократить

число обращений процедуры оптимизации к двигателю с 200 до 3 вследствие переноса основного объема итераций на копию корректора; уменьшение (минимум на 15 % и 8 %) максимальных концентраций CO и NO<sub>x</sub> в ОГ после нейтрализатора при моторном эксперименте подтвердило возможность применения нейронных сетей для решения задачи совершенствования управления подачей топлива бензинового двигателя.

Б.Я. Черняк (ГТУ “МАДИ”) представил доклад “Наблюдаемость и управляемость в самонастраивающихся системах управления”. Отмечено, что наилучшие показатели двигателя в эксплуатации могут быть получены только при адаптации управления с учетом изменения состояния двигателя и эксплуатационных условий. Поэтому в МСУ постоянно расширяется число локальных контуров замкнутого управления. Необходимо учитывать, что двигатель — это многомерный многопараметрический объект динамического управления, требующий связанного управления рядом параметров. Локально замкнутые контуры не могут обеспечить должного управления на динамических режимах и при настройке локальных контуров трудно удовлетворить одновременно всем требованиям, предъявляемым к двигателю, так как для этого нужно управлять одновременно рядом контуров, иметь достаточно широкую информацию о показателях двигателя и решать многокритериальные оптимизационные задачи. Решать эти противоречивые задачи можно с использованием самообучающихся систем, учитывая сложный нелинейный характер связей в объекте управления, влияние стохастических факторов, задержек в системах измерения и управления и др. При этом двигатель как объект управления, особенно на динамических режимах, нельзя считать ни полностью управляемым, ни полностью наблюдаемым (по Калману). При неполной наблюдаемости и управляемости, а также в процессе решения сложных оптимизационных задач, особенно в условиях, близких к границе устойчивой работы, вероятно появление новых структур (зоны бифуркации). При использовании самообучающихся и самонастраивающихся систем (согласно Винеру) нельзя исключить возможность появления ошибок (мутаций), причем в обучающейся системе последствия мутации сразу закрепляются. В таких системах нельзя исключить появления сбоев в работе, например произвольной остановки двигателя или других нарушений его работы. Для того чтобы, по возможности, уменьшить вероятность появления сбоев, нужно разрабатывать специальные алгоритмы и технологии обучения и оптимизации. К таким алгоритмам и методам можно отнести: проведение при эксплуатации подстройки системы около заданного центра настройки, полученного предварительной калибровкой; использование максимума информации для ограничений выбираемых значений управляющих воздействий; применение эволюционных методов планирования экспериментов при поиске оптимумов; использование асимптотических наблюдателей и предикторов; проведение настройки не непосредственно на объекте, а на обучаемых эталонных моделях с последующим использованием для управления только “удачных” решений; применение методов регуляризации при поиске решений стохастических задач; использование робастных алгоритмов и др.

В.И.Ерохов, А.М.Ревонченков (МГТУ “МАМИ”), И.Ф.Ревонченкова (ИПУ РАН) представили доклад “Нейронный алгоритм в системах управления ДВС с принудительным воспламенением”. Предложен комбинированный способ организации рабочего процесса современного двигателя, обеспечивающий надежное и эффективное воспламенение бедной горючей смеси вблизи ВМТ, уменьшение продолжительности процесса сгорания, повышение максимального давления, термического КПД и температуры рабочего цикла. Показано, что снижение вредных выбросов современных ДВС на основе нейротехнологий системы управления ДВС может достигать 50 %. Новый метод организации рабочего процесса ДВС обеспечивает увеличение термического КПД на 4,75 %, снижение удельного расхода топлива достигает 8 %.

Доклад В.А.Маркова, А.Г.Кузнецова, И.В.Станкевича, В.И.Шатрова, Е.Е.Полухина, М.И.Шленова (МГТУ им. Н.Э.Баумана) посвящен разработке математических моделей для расчета переходных процессов транспортных дизелей. Модели представляют собой систему нелинейных дифференциальных уравнений основных элементов комбинированного ДВС. Основные зависимости для параметров двигателя описаны полиномами, построенными путем обработки экспериментальных данных по исследуемым дизелям — КамАЗ-740 (8ЧН12/12) и Д-245 (4ЧН11/12,5), полученных на различных скоростных и нагрузочных установившихся режимах. Кроме этих зависимостей, построены полиномы, описывающие зависимости выбросов токсичных компонентов ОГ и их дымности от параметров дизеля. Эта система уравнений дополнена уравнением регулятора, реализующего ПИД-закон регулирования. Проведены расчетные исследования по определению оптимальных параметров регулятора частоты вращения и устройства управления углом опережения впрыскивания топлива (УОВТ).

В докладе В.В.Фурмана (ППП “Дизельавтоматика”, г.Саратов) “Проблемы разработки системы управления газотурбовоза” представлены основные технические характеристики опытного маневрового газотурбовоза ТГЭМ10 и его газотурбинного двигателя ГТД-1000, работающего на компримированном природном газе. Разработанная микропроцессорная система управления газотурбовозом состоит из: блока управления газотурбовозом; блока управления ГТД; блока управления возбуждением тягового генератора и тяговых электродвигателей; блока управления бортовой сетью; блока питания; жидкокристаллического дисплея; устройства ввода-вывода информации; бортового компьютера Gersys BC-4301. Основные функции, выполняемые системой управления, — подготовка ГТД к запуску и холодной прокрутке; холодная прокрутка ГТД; пуск ГТД; управление ГТД по заданной локомотивной характеристике; работа ГТД на холостом ходу; ограничение максимальной подачи топлива; ограничение минимальной подачи топлива при сбросе нагрузки ГТД; ограничение максимальных значений температуры газов за турбиной низкого давления, частоты вращения ротора турбины высокого давления, ограничение частоты вращения ротора турбины низкого давления, мощности ГТД; ограничительная защита при повышении вибрации ротора; нормальная остановка ГТД; аварийная остановка ГТД; управление

мостомами возбуждения тягового генератора и тяговых электродвигателей; снижение мощности тягового генератора при подаче сигнала о буксовании; заряд и разряд накопителя энергии; поддержание напряжения ( $110 \pm 2$  В) в бортовой сети; управление работой мотор-компрессоров; автоматическое управление вентиляцией отсека ГТД; выдача информационных сигналов на дисплей.

В докладе Н.Н. Патрахальцева, И.А. Соболева, С.А. Голубева (РУДН) рассмотрены возможности корректирования внешних скоростных характеристик дизеля изменением физико-химических свойств топлив. Метод реализован с помощью топливных систем, получивших название систем с регулированием начального давления (РНД) или, иначе, систем с импульсным регулированием состава топлива. При использовании в качестве добавки к основному дизельному топливу (ДТ) сжиженного нефтяного газа (ГСН) удастся существенно снизить дымность выбросов. Это дает возможность форсировать двигатель по составу смеси без превышения заградительного предела дымления, скорректировать протекание внешней скоростной характеристики. Экспериментальные исследования дизеля типа 8Ч13/14, на котором был реализован метод физико-химического регулирования, показали, что при работе на полных нагрузках и добавке 20–30 % ГСН к ДТ удастся без превышения предела дымления (35 ед. по Хартриджу) форсировать дизель по крутящему моменту соответственно на 6 и 12 %. В результате на режимах наброса полной нагрузки достигается уменьшение провала частоты вращения на 4 % и сокращение времени переходного процесса на 35 %. При сохранении неизменного номинального момента штатного дизеля корректированием внешней скоростной характеристики данным методом удастся повысить коэффициент приспособляемости с 1,12 до 1,19.

В докладе С.Н. Девянина (МГАУ им. В.П. Горячкина), В.А. Маркова, А.В. Микитенко (МГТУ им. Н.Э. Баумана) представлены методика и результаты расчета движения воздушного заряда в камере сгорания (КС) дизеля. Модель основана на уравнении состояния идеального газа. При проведении расчетных исследований объем над поршнем был условно разделен на две части, одна из которых расположена над вытеснителем поршня, а другая — над КС в поршне. Процесс сжатия рассмотрен как политропный со средним показателем политропы  $n$ . На основе предложенной методики создана программа расчета процесса вытеснения воздушного заряда при движении поршня из НМТ в ВМТ и проведены расчеты для цилиндра двигателя диаметром 130 мм (ход поршня 140 мм и степень сжатия 16). Результаты расчетных исследований показали, что в процессе сжатия при вытеснении заряда из рабочей зоны вытеснителя образуется интенсивный воздушный поток в камеру поршня, кинетическая энергия которого соизмерима с энергией впрыскиваемого топлива и осевого вращения заряда в цилиндре. Максимальные кинетические характеристики потока создаются в зоне ВМТ во время подачи топлива в КС. Максимальные значения скорости перетекания воздуха из зоны вытеснителя в камеру поршня составили 90 м/с.

В докладе М.Г. Крупского, В.Ю. Рудакова (КИ МГОУ) “Методика расчета геометрических параметров и динамики струи распыленного топлива при впрыске дизельной форсункой” приведена математическая модель динамики

развития струи распыленного топлива, построенная с использованием критерияльных уравнений и позволяющая определить закон движения фронта топливной струи и угол конуса струи на основном участке. Проведено сравнение расчетной характеристики движения фронта струи и экспериментальной зависимости, полученной при впрыскивании дизельного топлива системой топливоподачи дизеля 2В-9ДГ (ЦНИДИ). Экспериментальная характеристика движения фронта струи получена на режиме с частотой вращения ТНВД  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$  и цикловой подачей топлива  $q_{ц} = 1,392 \text{ г/цикл}$  при впрыскивании топливной струи в бомбу с параметрами воздуха  $P = 2,673 \text{ МПа}$  и  $T = 294 \text{ К}$ . Расхождение расчетной и экспериментальной характеристик динамики развития топливной струи не превышало 10 %.

Доклад В.Е. Кузина, М.Г. Крупского, А.Д. Головачева (КИ МГОУ) посвящен улучшению расходных и динамических характеристик электроуправляемого клапана для подачи газа в ДВС. В КИ МГОУ была разработана и создана микроэлектронная система управления подачей жидкого и газообразного топлива для ДВС. На ее базе осуществлены всесторонние испытания газового двигателя 6ГЧН21/21 с искровым форкамерно-факельным зажиганием и электромагнитными клапанами с плоским затвором для дозирования газа. Впоследствии была усовершенствована конструкция этого клапана (патент РФ № 2283439). С использованием системы управления на холодном стенде, имитирующем работу ДВС, клапан был всесторонне исследован со снятием расходных характеристик. К его достоинствам можно также отнести простоту конструкции самого клапана и его электромагнитного привода.

“Результаты экспериментальных исследований на двигателе с прозрачными окнами (ДПО) газодизельного цикла” — тема выступления Ю.Ф. Куянова, М.Г. Крупского, В.Е. Кузина (КИ МГОУ). Исследованы процессы смесеобразования, воспламенения и сгорания в ДПО, снабженном микроэлектронной системой подачи газа и запального дизельного топлива, с обеспечением одновременного индицирования и кинорегистрации. Установлено, что основное горение носит объемный характер, когда в элементарных объемах обедненной газозооушной смеси оно инициируется очагами горения паров запального топлива. Исследование влияния дозы запального топлива показало, что для высокофорсированного тепловозного газодизеля при его загрузке до 30 % мощности целесообразно обеспечивать цикловую подачу запального дизельного топлива в количестве более 10 % дозы на номинальном режиме работы, а при большей мощности — достаточно 5...8 %.

С докладом “Управление рабочим процессом с самовоспламенением гомогенного заряда транспортного ДВС” выступили С.В. Гусаков, А.Н. Довольнов, И.В. Епифанов (РУДН). Кроме традиционных рабочих процессов поршневых ДВС с искровым зажиганием рабочей смеси и самовоспламенением от сжатия в последние годы интерес исследователей вызывает процесс с самовоспламенением гомогенного заряда, обозначаемый аббревиатурой HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition). В докладе представлены результаты сравнения по КПД термодинамических циклов традиционных ДВС и двигателя с HCCI-процессом и показаны преимущества последнего. Проведен анализ эффективности применения различных методов управления началом самовоспламенения в двигателе с HCCI-процессом. Показано, что

добиться низкой эмиссии вредных веществ и высоких эффективных параметров двигателя такого типа в широком диапазоне изменения нагрузочно-скоростных режимов работы можно только с применением обратной связи по началу самовоспламенения топливовоздушной смеси. Проведен анализ применимости различного типа датчиков для этих целей.

В докладе Ю.Е. Драгана (ВлГУ) рассмотрены основные результаты работы по созданию аккумуляторной топливной системы высокооборотного автомобильного дизеля ЗМЗ-514.10. Разработаны математические модели гидродинамических процессов в электрогидравлических форсунках (ЭГФ), в которых учтена сжимаемость топлива как функция его давления, а также деформация штанги, применяемой для соединения иглы распылителя с мультипликатором запираания. Функциональная зависимость коэффициента сжимаемости топлива от давления получена М.Н. Рахметуллаевым (см. следующий доклад). Для учета деформации штанги предложен коэффициент, отражающий зависимость изменения исходного расчетного объема управляющей камеры от давления топлива. Расчеты показали, что погрешности определения времени начала подачи управляющего сигнала до начала подъема иглы ЭГФ могут достигать 38% для различных давлений в аккумуляторе при упрощенных расчетах, не учитывающих указанных факторов. Основным инструментом регулирования производительности комплекта ЭГФ для подготовки к моторным испытаниям является подбор эффективных проходных сечений  $\mu F$  входных жиклеров управляющей камеры при сохранении значений  $\mu F$  выходных жиклеров. Расчеты показывают, что в пределах разброса опытных значений  $\mu F$  входных жиклеров задержки начала подъема иглы достигают 80%. Поэтому для практической реализации должны быть обеспечены жесткие допуски на проходные сечения жиклеров, а также, возможно, и селективная сборка форсунок по этим параметрам.

М.Н. Рахметуллаев (НИКТИД, г. Владимир) посвятил свое выступление исследованию влияния коэффициента сжимаемости топлива на гидродинамические процессы в ЭГФ. В математических моделях гидродинамических процессов в топливной аппаратуре, предназначенной для реализации высокого давления впрыскивания (порядка 150 МПа), значение коэффициента сжимаемости топлива обычно принимается постоянным. Для более точного учета этого параметра при разработке аккумуляторной топливной системы для автомобильного дизеля был выполнен физический эксперимент, в котором топливо сжималось до 165 МПа и учитывалась деформация специально изготовленного толстостенного аккумулятора. В результате получена зависимость для коэффициента сжимаемости топлива как функция давления  $\beta = f(p_z)$  в виде  $\beta = 1 \cdot 10^{-26} p^2 - 4,527 \cdot 10^{-18} p + 6,7356 \cdot 10^{-10}$ , 1/Па, где  $p$  — давление топлива в аккумуляторе. Оценка влияния коэффициента сжимаемости топлива на гидродинамические процессы в ЭГФ была проиллюстрирована на примере расчета времени от начала подачи управляющего сигнала до начала подъема иглы распылителя. Показано, что для давлений в аккумуляторе от 40 до 80 МПа использование в упрощенном расчете постоянного значения коэффициента сжимаемости топлива приводит к погрешности в среднем на 31%.



Тема доклада В.В. Курманова (ОАО “ЯЗДА”), О.В. Олисевича (ФГУП “НАМИ”), С.Д. Скорodelова (ГТУ “МАДИ”) — “Математическое моделирование работы ЭГФ с разгруженным от давления топлива управляющим клапаном”. С учетом принятых допущений математическая модель описывается уравнениями объемного баланса топлива в полостях форсунки, а также уравнениями динамического равновесия иглы распылителя форсунки, управляющего электромагнитного клапана и связанных с ними подвижных частей. Программа гидродинамического расчета данной топливной форсунки составлена из условий обеспечения точности расчета и уменьшения шага расчета в зависимости от продолжительности управляющего импульса. Программа экспериментальных исследований ЭГФ включала в себя определение следующих параметров: требуемых характеристик электромагнита; характеристик дозирования топлива; гидравлического КПД форсунки; динамических параметров работы топливной форсунки; расходных характеристик форсунки. Расхождение между расчетными и экспериментальными значениями цикловых подач при изменении давления в аккумуляторе от 30 до 120 МПа и диапазоне продолжительности управляющего импульса  $\tau = 1,5 \dots 2,0$  мс не превышает 5,5 %, что позволяет использовать разработанную математическую модель и программу гидродинамического расчета анализа аккумуляторных топливных систем сложных конструкций.

Группа авторов — Н.А. Иващенко, В.А. Марков, А.А. Зенин, Д.А. Коршунов, А.А. Ефанов (МГТУ им. Н.Э. Баумана), С.Н. Девянин (МГАУ им. В.П. Горячкина) — выступила с докладом “Оптимизация состава смесового биотоплива на основе рапсового масла для транспортного дизеля”. Исследования дизеля Д245.12С (4СН11/12,5) проводились на моторном стенде АМО “ЗиЛ” на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла ECE R49 для оценки токсичности ОГ для четырех типов топлива: чистое ДТ и его смеси с рапсовым маслом (РМ) в соотношениях: 4:1, 3:2, 2:3. УОВТ оставался постоянным и равным  $\theta = 13^\circ$  п.к.в. до ВМТ. Сравнение токсичности ОГ и топливной экономичности дизеля, работающего на исследуемых топливах, проведено с использованием относительного обобщенного критерия оптимальности, представляющего собой отношение обобщенного критерия, полученного для данного смесового топлива, к значению этого критерия, соответствующему работе на дизельном топливе. Результаты расчета свидетельствуют о том, что минимум относительного обобщенного критерия  $J_o = 0,889$  достигается при работе дизеля Д-245 на смеси, содержащей 60 % ДТ и 40 % РМ. При таком составе смесового топлива обеспечивается наименьшая дымность ОГ, выполняются требования норм EURO-2 по всем газообразным токсичным компонентам, за исключением выбросов оксидов азота, оказавшихся равными  $e_{NO_{x,пр}} = 7,031$  г/(кВт·ч), что примерно равно требуемым выбросам  $e_{NO_{x,пр}} = 7,0$  г/(кВт·ч) норм EURO-2. Их разница составляет 0,45 %, что меньше погрешности определения эмиссии этого токсичного компонента.

Доклад А.И. Гайворонского, А.М. Савенкова (ОАО “ВНИИГАЗ”), В.А. Маркова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) посвящен использованию диметилового эфира в качестве запального топлива в дизелях, работающих на альтернативных топливах. Исследован двигатель ЯМЗ-236 HE (6СН13/14), работающий как на ДТ, так и на природном газе (ПГ), воспламеняющемся

от запальной дозы ДТ или диметилового эфира (ДМЭ). При работе дизеля на режимах внешней скоростной характеристики на ДТ его расход увеличивался с 18 кг/ч на режиме с  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$  до 40 кг/ч на режиме с  $n = 2100 \text{ мин}^{-1}$ . В процессе работы дизеля на ПГ с запальной дозой ДТ увеличение частоты вращения в указанном диапазоне сопровождалось ростом расхода газа с 10 до 26 кг/ч. Такой же характер изменения подачи природного газа (10...24,9 кг/ч) отмечен и при организации его воспламенения от запальной дозы ДМЭ. Проведенные стендовые испытания дизеля ЯМЗ-236 HE с различной организацией рабочего процесса показали, что при работе двигателя на ПГ с запальной дозой ДТ на отдельных режимах замещение жидкого топлива природным газом составило 85%. При работе на ПГ с запальной дозой ДМЭ дизельное топливо полностью замещается газовым топливом. Воспламенение ПГ от запальной дозы ДМЭ позволило значительно сократить выброс оксидов азота и обеспечить требования норм EURO-2 по этому показателю. При переводе дизеля на работу с запальной дозой ДМЭ значительно снизился и выброс монооксида углерода. Однако требования норм EURO-2 по этому показателю не выполняются в обоих случаях. Таким образом, при организации работы исследуемого дизеля на ПГ с запальной дозой ДМЭ не удалось выполнить требования норм EURO-2 лишь по одному нормируемому компоненту ОГ — монооксиду углерода. Для обеспечения этих требований, а также повышения топливной экономичности дизеля необходимо проведение дальнейших работ по уменьшению протяженности топливных магистралей подачи ДМЭ с целью исключить их нагрев, по увеличению давления подкачки ДМЭ свыше 2 МПа.

В докладе, представленном Н.А. Иващенко, В.А. Марковым, А.А. Ефановым (МГТУ им. Н.Э. Баумана), рассмотрена работа дизеля с неразделенной КС на РМ. Проведены экспериментальные исследования вихрекамерного дизеля ВА3-341 (4Ч7,6/8,4) завода “БарнаулТрансМаш”, устанавливаемого на легковые автомобили ВА3-21045. Дизель был последовательно исследован на режимах внешней скоростной и нагрузочной (при частоте вращения  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ ) характеристик. Отмечено, что перевод дизеля с ДТ на РМ сопровождался заметным увеличением часового расхода топлива  $G_T$  (при неизменном положении упора максимальной подачи), обусловленным его большей плотностью ( $\rho_{\text{PM}} = 917,4 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{DT}} = 825 \text{ кг/м}^3$ ), вязкостью  $\nu_{\text{PM}} = 76 \text{ мм}^2/\text{с}$ ,  $\nu_{\text{DT}} = 3,8 \text{ мм}^2/\text{с}$  при  $t = 20^\circ \text{C}$ ) и меньшей сжимаемостью. Отмечены следующие значения крутящего момента дизеля: для ДТ —  $M_e = 86,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , для РМ —  $M_e = 93,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Удельный эффективный расход топлива составил для ДТ —  $g_e = 273,9 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ ; для РМ —  $g_e = 331,5 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$  при УОВТ  $\theta = 18,5^\circ$  п.к.в. до ВМТ. Повышенные значения  $g_e$  при работе на РМ обусловлены меньшей теплотой сгорания РМ. Поэтому для сравнения эффективности сгорания РМ и ДТ использован эффективный КПД двигателя. При переходе с ДТ на РМ эффективный КПД дизеля понизился с  $\eta_e = 0,3092$  до  $\eta_e = 0,2935$ , т.е. на 5%. Переход на работу с РМ обеспечил снижение токсичности ОГ, что вызвано наличием 10% кислорода, участвующего в процессе окисления топлива. На режиме максимального крутящего момента перевод дизеля с ДТ на РМ сопровождался снижением содержания

в ОГ оксидов азота  $C_{NO_x}$  (с 584 до 528 мг/м<sup>3</sup>) и монооксида углерода  $C_{CO}$  (с 1059 до 256 мг/м<sup>3</sup>).

Доклад В.Г. Семенова (Украина, г. Харьков, НТУ “ХПИ”) посвящен оценке влияния физико-химических показателей биодизельного топлива на параметры дизеля и его эколого-эксплуатационные характеристики.

Биодизельное топливо имеет повышенные, по сравнению с дизельным топливом, плотность (на 10 %) и кинематическую вязкость (в 1,5 раза). Это способствует некоторому увеличению дальности топливного факела и диаметра капель распыленного топлива, что может привести к увеличенному попаданию биодизельного топлива на стенки КС и гильзы цилиндра. Меньшие значения коэффициента сжимаемости биодизельного топлива приводят к увеличению действительного УОВТ и максимального давления в форсунке. Высокое цетановое число биодизельного топлива ( $ЦЧ \geq 51$ ) способствует сокращению периода задержки воспламенения и менее “жесткой” работе дизеля. Кислород, содержащийся в молекуле метилового эфира (около 10 %), благоприятно сказывается на рабочем процессе дизеля. Наличие окислителя непосредственно в молекуле топлива позволяет интенсифицировать процесс сгорания и обеспечить более высокую температуру в цилиндре дизеля, что, с одной стороны, способствует повышению индикаторного и эффективного КПД двигателя, а с другой, приводит к некоторому увеличению  $NO_x$  в ОГ. Меньшая доля углерода (около 77 %) в молекуле биодизельного топлива и наличие в ней кислорода приводит к уменьшению его нижней теплоты сгорания на 13...15 % и увеличению часового и удельного эффективного расходов топлива. Для сохранения номинальных параметров двигателя при переводе на биодизельное топливо требуется перерегулировка ТА.

Группа авторов – П.В. Федоров, Э.Н. Федорова, В.К. Зимин (РГАЗУ), С.Н. Вознюк, С.В. Трофимов, В.Б. Филатов (ВТУ) — выступила с докладом по вопросам исследований и разработки бортовых автоматизированных систем диагностирования и защиты (БАСДиЗ) дизелей дорожно-строительных машин (ДСМ). Создано многофункциональное устройство для непрерывного мониторинга состояния моторно-трансмиссионной установки ДСМ с целью обеспечить высокую надежность, оптимальную производительность машины и аварийную защиту дизеля. Разработаны математические модели и структурные схемы систем бортового диагностирования и защиты дизеля ДСМ от перегрузок по крутящему моменту и по частоте вращения. Доказано, что непрерывный автоматический мониторинг эффективной мощности дизеля практически достоверно отражает в комплексе техническое состояние дизеля, исправность работы его механизмов и систем. В результате предварительных испытаний упрощенного макетного образца устройства разработаны технические требования к системам мониторинга технического состояния и защиты дизелей современных ДСМ.

“Разработка системы автоматического регулирования теплового состояния транспортного ДВС” — тема выступления Б.Е. Поликера, Л.Л. Михальского (ЗАО “Дизель-КАР”), С.А. Аникина (Холдинг “РусПромАвто”), И.П. Ксеновича (Международная инженерная академия), С.Н. Девянина (МГАУ им. В.П. Горячкина), В.Л. Трифонова (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Общая тенденция к повышению до 90...100 кВт/л удельной мощности транспортных двигателей предъявляет весьма жесткие требования к эффективным

показателям их систем жидкостного охлаждения. Это во многом определяет динамические характеристики системы автоматического регулирования теплового состояния (САРТ) ДВС. Важным свойством САРТ должна быть инвариантность по отношению к возмущающим воздействиям — нагрузке и положению педали акселератора. Техническая реализация подобной САРТ возможна на основе электроуправляемого вентилятора и средств автоэлектрики и микропроцессорной техники. Авторами на основе предложенной динамической модели процессов жидкостного охлаждения транспортного ДВС исследуются пути оптимизации САРТ с использованием идентификатора — наблюдателя в составе ее регулятора.

В докладе В.Н. Тимофеева (Чув. ГУ) рассмотрен синтез исполнительных устройств быстродействующих регуляторов для систем охлаждения дизелей. Для синтеза исполнительных механизмов (ИМ) использованы электродвигатели постоянной скорости, электронагреватели, термоэлектрические элементы. В ИМ транспортных дизелей находят применение твердые наполнители. При ряде достоинств они имеют большую инерционность и трудно поддаются автоматизации. Поэтому предлагается использовать для нагрева или охлаждения твердого наполнителя по заданной программе дополнительный элемент в виде электронагревателя или термоэлектрического элемента, что дает возможность создать систему с комбинированным регулированием. Терморегулятор становится быстродействующим и программируемым, при этом увеличивается качество регулирования. При выборе регулирующего органа (РО) необходимо обратить особое внимание на подбор его статической характеристики, так как от этого зависят качество и стабильность работы всей САР. В ИМ использованы двухклапанные с внутренним расположением клапанов, двухклапанные двухседельные, вращающиеся трехходовые РО. Кроме того, предложены РО с поворотным распределителем потоков жидкости, т.е. с вращающимся четырехходовым клапаном, имеющие меньшие габаритные размеры, массу и стоимость, большую надежность, лучшие статические характеристики. В результате синтеза исполнительного устройства достигается отыскание его рациональной структурной схемы, конструкции и установление оптимальных параметров.

В дискуссии по докладам активное участие приняли профессора Л.В. Грехов, С.В. Гусаков, В.И. Ерохов, Р.З. Кавтарадзе, В.А. Марков, Н.Н. Патрахальцев, В.И. Толшин, Ю.Е. Хрящёв, Б.Я. Черняк, другие участники семинара. В заключение работы ВНТС была принята резолюция, проведен обмен научной информацией, намечены пути дальнейшей работы.

*Ученый секретарь ВНТС, канд.  
техн. наук В.И. Шатров*