

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ И РЕГУЛИРОВАНИЮ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК им. проф. В.И. КРУТОВА

В МГТУ им. Н.Э. Баумана 27 января 2010 г. состоялось 85-е заседание Всероссийского научно-технического семинара (ВНТС) по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок, основанного В.И. Крутовым.

Председательствующий д-р техн. наук, профессор В.И. Толшин (МГАВТ) в своем выступлении отметил важность проблемы совершенствования систем автоматического регулирования (САР) двигателей внутреннего сгорания (ДВС). При создании и доводке таких систем необходимо, в первую очередь, оценивать выходные параметры ДВС — его динамические качества, показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ).

Далее в соответствии с планом работ было заслушано 38 докладов. В докладе В.И. Толшина, Р.Н. Романова и И.А. Косыгина (МГАВТ) “Результаты исследования комбинированного способа снижения выбросов оксидов азота судового двигателя методом подачи воды во впускной коллектор и повышением давления впрыскивания топлива” показано, что жесткие ограничения на выброс оксидов азота NO_x с ОГ судовых дизелей требуют разработки новых методов решения этой проблемы. Предложен метод снижения этих выбросов, основанный на подаче воды во впускной коллектор с одновременным увеличением давления впрыскивания. Исследования проведены на судовом дизеле типа 6Ч18/22 без турбонаддува мощностью $N_e = 100$ кВт при частоте вращения $n = 750 \text{ мин}^{-1}$. Дизель, работающий на генератор, был оборудован гидрозаторными форсунками. Исследованы четыре нагрузочных режима при 100, 75, 50 и 25 %-ной нагрузке и $n = 750 \text{ мин}^{-1}$. На каждом из этих режимов получено пять точек с различными давлениями гидрозатора. Вода во впускной коллектор подавалась специальными форсунками. Количество подаваемой воды изменяли, варьируя число работающих форсунок и давление в пневмобаке. При подаче 50 % воды от подачи топлива и увеличении давления впрыскивания топлива с 15 до 24 МПа был достигнуто уменьшение выброса NO_x на 11 %.

В докладе Б.Я. Черняка (ГТУ “МАДИ”) “Применение наблюдателей в системах управления двигателями” отмечено, что в микропроцессорных системах управления (МСУ) автомобильных ДВС используется большое число виртуальных датчиков — наблюдателей, позволяющих строить управление на основе информации, которая не может быть измерена непосредственно и определяется по моделям на основании косвенных измерений. В адаптивных системах управления процесс идентификации модели (наблюдателя), как правило, происходит автоматически и, соответственно, наблюдатели настраиваются в процессе работы МСУ. Вместе с этим в программно-адаптивных системах управления (СУ) наблюдатели используются для предварительной настройки регулятора. Таким образом, наблюдатели могут быть как самообучающимися, так и предварительно настраиваемыми. Возможности использования наблюдателей в СУ очень велики, форма представления моделей для наблюдения за параметрами состояния также может быть различной. Это, прежде всего, дифференциальные и алгебраические уравнения, таблицы и конечно-элементные модели, нейронные сети, имитационные модели, выполненные в среде 51M11MK и даже лингвистические модели. Рассмотрены примеры использования наблюдателей в ДВС.

Б.Я. Черняк и А.В. Сентюров (ГТУ “МАДИ”) представили доклад “Методы моделирования индикаторных показателей двигателя”. В ДВС с искровым зажиганием

и непосредственным впрыскиванием топлива, а также в ДВС с распределенным впрыскиванием топлива при многопараметрическом управлении рабочими процессами для автоматизации управления необходимо знать значение крутящего момента. Работа посвящена возможности получения в реальном масштабе времени информации о значении среднего индикаторного давления p_i в каждом цикле при эксплуатации двигателя. Рассмотрена структура модели для прогнозирования значений p_i на основе кривой активного тепловыделения. На основе имитационного моделирования проведен анализ трудоемкости и точности различных методов прогнозирования среднего давления цикла: исходя из изменения давления цикла и по кривой активного тепловыделения (с использованием метода Б.С. Стечкина). Последний предпочтителен для реализации в СУ ДВС.

А.Н. Вознесенский и А.С. Чепурнов (ОАО “НАТИ”, ООО “Марафон”) выступили с докладом “Сетевая структура взаимодействия электронных компонентов системы управления современным сельскохозяйственным трактором”. Агрегаты и системы современного трактора оснащаются электронными управляющими контроллерами, которые объединены в бортовую информационно-управляющую систему (БИУС) с использованием полевой шины CAN. Протоколы верхнего уровня, применяемые в подсетях, объединяющие узлы и агрегаты трактора по их функциональному назначению, как правило, стандартизированы и имеют внешние стандартные интерфейсы для подключения внешнего штатного оборудования, а также диагностического оборудования. Все элементы БИУС в той или иной степени информационно взаимодействуют между собой. В частности, при отработке процессов переключения передач под нагрузкой не только совмещают характеристики двигателя и трансмиссии, но и используют новые возможности информационного взаимодействия электронных контроллеров двигателя и трансмиссии. Более того, характеристики дизельного двигателя с топливной системой (ТС) типа Common Rail, которые формируются программными средствами управляющего контроллера, могут не только принимать отличный от стандартного вид, но даже адаптироваться в процессе функционирования в реальном масштабе времени.

В докладе Е.А. Першутина (ООО “НПП Элкар”, МАДИ (ГТУ)) “Идентификация расходной характеристики датчика массового расхода воздуха на основе оценки индикаторного крутящего момента” отмечено, что в качестве источника информации о величине циклового наполнения двигателя в СУ рабочим процессом широкое применение нашли термоанемометрические датчики массового расхода воздуха (ДМРВ). При нарушении условий эксплуатации вследствие дефектов элементов системы впуска, приводящих к потере ее герметичности, чувствительный элемент датчика начинает подвергаться загрязнению. В результате, отклонения измеренного расхода воздуха могут доходить до 50 % действительного значения в сторону уменьшения. Ошибка в измерении расхода воздуха приводит к ошибкам при расчете топливоподдачи, угла опережения зажигания, модельного крутящего момента, что влечет за собой ухудшение энергетических и экологических показателей автомобиля. Адаптацию электронной системы управления двигателем (ЭСУД) под изменившуюся характеристику ДМРВ можно проводить на основе сравнения модельного индикаторного крутящего момента, рассчитанного в СУ на основе параметров двигателя, и измеренного индикаторного крутящего момента. Для оценки индикаторного крутящего момента используется кинематический параметр – мгновенная частота вращения коленчатого вала двигателя. Применение данной схемы измерения индикаторного крутящего момента позволяет избежать каких-либо конструктивных доработок ДВС. Данный алгоритм был экспериментально проверен на автомобиле ВАЗ-11194 “Калина” в реальных дорожных условиях. В процессе эксперимента ошибка в измерении расхода воздуха была уменьшена с 20 до 5 %.

В докладе П.В. Абрамова и О.А. Свирина (ООО “НПП ЭЛКАР”, ВГУ, г. Владимир) “Вариация угловой скорости коленчатого вала как основа синтеза адаптивной по критериям максимальной мощности и экономичности САУ двигателем для средств малой механизации (СММ)” рассматривается упрощенная СУ автомобиль-

ным двигателем. Она позволяет адаптивно управлять топливopодачей и зажиганием по критериям максимальной экономичности или мощности.

Такое управление основывается на идентификации регулировочных характеристик ДВС в процессе эксплуатации. В частности, регулировочные характеристики по составу смеси представляются в виде зависимости эффективного крутящего момента от положения дроссельной заслонки и длительности впрыскивания топлива электромагнитной форсункой. Ключевой параметр данной зависимости — крутящий момент — оценивается по вариации мгновенной угловой скорости коленчатого вала. Показана эквивалентность результатов поиска экономичного и мощностного составов смеси при прямом измерении эффективного крутящего момента и при его оценке по вариации угловой скорости.

В.В. Курманов, А.В. Жаров, П.В. Курманов и В.А. Марков (ЯГТУ, ОАО “ЯЗДА”, МГТУ им. Н.Э. Баумана) представили доклад “Влияние быстродействия электромагнитных клапанов на работу форсунки аккумуляторной топливной системы”. Проведен анализ выполненных конструкций ТС типа Common Rail. Наибольшее внимание уделено электрогидравлическим форсункам (ЭГФ) с быстродействующим электромагнитным клапаном (ЭМК). Рассмотрены электрогидравлические форсунки аккумуляторных ТС фирмы R.Bosch и ОАО “ЯЗДА”. В исследованных форсунках использованы электромагниты со следующими параметрами: ход управляющего клапана $0,048 \pm 0,002$ мм; остаточный магнитный зазор $0,050 \pm 0,002$ мм; сила предварительного сжатия пружины клапана $6,7 \pm 0,05$ кгс; сила предварительного сжатия пружины иглы $2,8 \pm 0,05$ кгс; ток в обмотках электромагнитов варьировался в диапазоне 10...22 А. Испытания форсунок проведены при давлениях в аккумуляторе 40...140 МПа с шагом 20 МПа и длительностью управляющего сигнала от 1 до 3 мс. Полученные данные показывают, что зависимости цикловой подачи от длительности управляющего сигнала форсунки ОАО “ЯЗДА” близки к линейным. При увеличении длительности управляющего сигнала и давления в аккумуляторе цикловая подача растет. На основе экспериментов была доработана конструкция электромагнита для форсунки ОАО “ЯЗДА”. Дальнейшие исследования показали, что ее показатели близки к параметрам форсунки фирмы R.Bosch.

Ю.Е. Хрящев, Д.А. Епанешников, А.П. Кузнецов и А.В. Федоров (ЯГТУ) выступили с докладом “Управление дизельным двигателем на режимах холостого хода”. Отмечено, что управление транспортным дизелем на указанных режимах имеет свои особенности: в зависимости от сочетания параметров системы “регулятор–топливный насос–дизель–автомобиль” могут возникать незатухающие колебания частоты вращения коленчатого вала, что является неприемлемым. Проведен параметрический анализ СУ, выявлены причины неустойчивости работы на режимах холостого хода, предложены методы и средства устранения указанных недостатков.

В докладе В.А. Маркова, А.В. Стремякова, Е.Ф. Позднякова и С.Н. Девянина (МГТУ им. Н.Э. Баумана, ОАО “Форант-Сервис”, г. Ногинск, МГАУ им. В.П. Горячкина) “Способ совершенствования процесса смесеобразования дизеля” для улучшения качества распыливания топлива предложено турбулизировать поток топлива в распылителе форсунки путем выполнения на носке распылителя дополнительных гидравлических сопротивлений в виде проточек, уступов и др. Изготовлены три партии опытных распылителей на базе серийного распылителя типа 145.1112110-11 производства Ногинского завода топливной аппаратуры (НЗТА), используемого в форсунках ФДМ-22. Проведены экспериментальные исследования этих распылителей на дизеле Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) Минского моторного завода (ММЗ). Наилучшие результаты получены при установке опытных распылителей по варианту № 3. В этих распылителях выполнена подрезка части хвостовика иглы серийного распылителя, расположенной ниже посадочного диаметра $d_n = 2,8$ мм, под углом конуса 90° . Кроме того, конусная часть хвостовика иглы с углом конуса 45° сточена на 0,1 мм (по диаметру) выше диаметра $d = 3,2$ мм с таким же углом конуса. В результате указанной дообработки на хвостовике иглы образуется горизонтальный кольцевой уступ, имеющий наружный и внутренний диаметры 3,2

и 3,1 мм. При замене серийных распылителей на опытные распылители по варианту № 3 в исследуемом дизеле, работающем на режимах 13-ступенчатого цикла, удельный массовый выброс монооксида углерода уменьшился на 28 %, несгоревших углеводов на 24,7 %, интегральный (условный) удельный эффективный расход топлива сократился на 3,8 %, интегральный эффективный КПД возрос с 0,341 до 0,355. Дымность ОГ на номинальном режиме снизилась на 25 %. И лишь удельный массовый выброс оксидов азота возрос на 7,8 %.

В.А. Марков, С.Н. Девянин, А.Ю. Шустер и А.А. Ефанов (МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГАУ им. В.П. Горячкина) представили доклад “Использование многокомпонентных биотоплив в транспортном дизеле”. Исследованы биотоплива, содержащие дизельное топливо (ДТ), рапсовое масло (РМ) и бензин АИ-80. Оценка влияния состава биотоплив на показатели топливной экономичности и токсичности ОГ проведена при испытаниях дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5). Полученные данные подтверждают возможность заметного улучшения экологических показателей дизеля, работающего на многокомпонентных биотопливах. Так, при переводе дизеля с ДТ на смесь 70 % ДТ, 20 % РМ и 10 % бензина АИ-80 удельный массовый выброс оксидов азота на режимах 13-ступенчатого цикла снизился на 7,2 %. При этом выброс монооксида углерода увеличился на 3 %, а дымность ОГ на режиме максимального крутящего момента снизилась на 27,5 %. При использовании многокомпонентных биотоплив отмечен рост выброса углеводов. Однако он может быть скомпенсирован использованием средств очистки ОГ (установкой нейтрализаторов). Эффективный КПД оказался слабо зависимым от вида топлива.

Н.Н. Патрахальцев, С.А. Казаков и П.И.Д. Фернандо Кумара (РУДН) выступили с докладом “Показатели качества протекания неустановившихся режимов (НУР) разгонов дизеля после пусков”. Пуски-разгоны проведены в условиях прогретого (“горячего”) и “холодного” дизеля типа Д-240 (4Ч11/12,5) (при температуре окружающего воздуха $t = -15^{\circ}\text{C}$). Показателями качества НУР являлись отношения средних крутящих моментов, развиваемых дизелем за время реального разгона, к средним моментам, полученным моделированием таких же разгонов. Показано, что при времени приемистости 4,1 с и 9,3 с показатели качества НУР по моменту для горячего дизеля составляют 0,65 и 0,85, а для холодного — 0,19 и 0,44 соответственно. Аналогично изменяются и коэффициенты загрузки дизеля при реализации таких режимов.

Доклад Н.Н. Патрахальцева, С.А. Казакова и В.А. Страшнова (РУДН) посвящен повышению эффективности пусков-разгонов дизеля регулированием физико-химических свойств топлив, что можно достигать, добавляя легко воспламеняющуюся жидкость (ЛВЖ) к основному дизельному топливу. ЛВЖ подается в линии высокого давления ТС вблизи форсунок с помощью клапанов регулирования начального давления (РНД). Для “горячего” дизеля возможно применение добавки сжиженной смеси пропана и бутана в жидкой фазе. При длительных разгонах из горячего состояния добавкой ЛВЖ удастся сократить время приемистости на 10–18 %, а из холодного состояния — на 10–14 % вне зависимости от продолжительности разгона в выявленных пределах.

В докладе С.В. Гусакова и И.В. Афанасьевой (РУДН) “Энергетический баланс гибридной силовой установки автомобиля при его движении в соответствии с новым европейским испытательным циклом NEDC” проанализированы преимущества гибридных силовых установок. Предложена методика расчета энергетического баланса, базирующаяся на тяговом балансе автомобиля. Показано, что разрыв механической связи между коленчатым валом ДВС и колесами автомобиля позволяет снизить эксплуатационный расход топлива на 3,5 % при КПД электрической передачи 98 % (без внутренней циркуляции энергии в силовой установке). Работа в режиме старт-стоп дает снижение эксплуатационного расхода топлива на 5,6 % при доле режимов холостого хода двигателя до 40 % времени всего цикла NEDC.

Доклад Н.Н. Барбашова и И.В. Леонова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) посвящен выбору оптимальной мощности ДВС гибридной силовой установки автомобиля. Зна-

чительную часть времени современные автомобили работают в комбинированном цикле с чередованием разгона, кратковременного установившегося режима и торможения. Выяснено, что повышение топливной экономичности возможно путем снижения номинальной мощности ДВС, что ведет к ухудшению динамических качеств автомобиля. Поэтому перспективным методом повышения экономичности силовых установок, работающих в неустановившихся режимах, является применение разгонных электродвигателей и рекуперации энергии торможения.

В.А. Марков, Е.Ф. Поздняков и В.И. Шатров (МГТУ им. Н.Э. Баумана, ОАО “Форант-Сервис”, г. Ногинск) выступили с докладом “Методика оценка токсичности ОГ дизеля в переходных процессах”. При разработке указанной методики учитывалось, что показатели дизелей в значительной степени предопределяются коэффициентом избытка воздуха α . С использованием этой методики проведена оценка влияния качества процесса регулирования на показатели токсичности ОГ дизеля типа 6ЧН15/18 в переходном процессе наброса полной нагрузки. Этот процесс моделировался с использованием математической модели САР. Требуемые показатели качества процесса регулирования, соответствующие различным классам точности САР дизелей в соответствии с ГОСТ 10511–83, достигались путем изменения коэффициентов пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-закона регулирования, а также постоянной времени электрогидравлического исполнительного механизма (ИМ). Выбранные значения указанных параметров обеспечили предельные значения продолжительности переходного процесса $t_{п1}$ и провала частоты вращения в переходном процессе (перерегулирования σ) для различных классов точности САР. Наибольшие средние значения показателей дизеля имеют место при использовании САР первого класса точности: средний за переходный процесс расход топлива возрос на 2% (по сравнению с номинальным значением), содержание в ОГ оксидов азота — на 5%, монооксида углерода — на 10%, несгоревших углеводородов — на 3,5%, сажи — на 8%. Оснащение дизеля САР 2, 3 и 4-го классов точности приводит к уменьшению средних за переходный процесс указанных показателей дизеля. Но несмотря на большие средние значения показателей топливной экономичности и токсичности ОГ в переходном процессе в дизеле с САР первого класса точности, соответствующие приведенные показатели оказались минимальными, что обусловлено наименьшей продолжительностью переходного процесса этой САР ($t_{п1} = 2$ с).

В докладе “Аккумуляторная система впрыскивания топлива дизельного двигателя” Е.Ф. Позднякова, В.А. Маркова и К.С. Мизева (ОАО “Форант-Сервис”, г. Ногинск, МГТУ им. Н.Э. Баумана) представлены результаты исследований ТС, содержащей топливный насос высокого давления (ТНВД) с дозированием топлива на впуске, нагнетательный топливопровод и форсунку с гидравлическим аккумулятором. Топливный насос с дозированием топлива на впуске был создан на базе серийного ТНВД типа 4УТНМ. В наполнительных магистралях насосных секций ТНВД были установлены электромагнитные дозирующие клапаны. Дозирование осуществлялось при нахождении плунжера в нижней мертвой точке. Количество поступающего в наполнительное отверстие плунжерной пары топлива определялось временем открытия электромагнитного клапана, его проходным сечением и давлением топлива в надплунжерной полости. Форсунка разработана на базе серийной форсунки типа ФДМ-22 и дополнена обратным клапаном и гидроусилителем с поршнем и силовой пружиной. При впрыскивании топливо поступало в наддыгольную полость, что увеличивало силу, прижимающую иглу к седлу распылителя. Одновременно топливо подавалось в гидроусилитель и перемещало поршень, увеличивая объем гидроусилителя и деформируя силовую пружину. После отсечки топлива в ТНВД давление в наддыгольной полости уменьшалось, игла отрывалась от седла и топливо, накопленное в гидроусилителе, впрыскивалось в цилиндр двигателя. Проведенные испытания предложенных ТНВД и форсунки подтвердили их работоспособность и возможность формирования требуемых характеристик топливоподачи.

В докладе Ю.М. Крохотина (Воронежская государственная лесотехническая академия) предложена новая топливная система непосредственного действия для тепловозных дизелей типа 6ЧН21/21 и 8ЧН21/21. Принципиальным отличием этой ТС является применение электрогидравлической форсунки с комбинированным запирающим и перепускным клапаном, имеющим электромагнитный или пьезоэлектрический привод. Причем слив топлива из полости пружины форсунки исключен. В целях проведения численного эксперимента разработана математическая модель ТС, включающая уравнения баланса топлива в различных полостях, уравнения перемещения иглы форсунки, расхода топлива через распылитель форсунки. Проведенные расчеты подтвердили эффективность предложенной ТС.

Л.Н. Голубков, А.А. Быков и Д.А. Михальченко (ГТУ “МАДИ”) представили доклад “Математическое моделирование процессов топливной аппаратуры дизеля с индивидуальными топливными насосами”. На основе метода гидродинамического расчета разработаны математические модели и программы расчета ТС с тремя конструктивными схемами индивидуальных топливных насосов (ИТН): с конусным запирающим слива топлива и без нагнетательного клапана, с конусным запирающим слива топлива и с нагнетательным клапаном, с запирающим слива топлива по цилиндрической поверхности. Математические модели и программы расчета позволяют с достаточной для инженерных расчетов точностью проводить аналитическое исследование рабочих процессов ТС и определять необходимые конструктивные параметры.

В.И. Ерохов, Д.А. Мельников и М.П. Макарова (МГТУ “МАМИ”) выступили с докладом “Система управления ДВС с изменяемыми фазами газораспределения”. Проведены расчетно-аналитические и экспериментальные исследования бензинового ДВС с четырехклапанной системой газораспределения. Предложена схема СУ фазами газораспределительного механизма (ГРМ). Для электропривода в СУ ГРМ использованы шаговые двигатели. Разработаны экспериментально-аналитические модели СУ четырехклапанных ДВС с переменными фазами газораспределения. Проведенные исследования показали, что на режимах малых и средних нагрузок применение ГРМ с переменными фазами обеспечивает улучшение топливной экономичности на 10 %, снижение уровней токсичности ОГ и шума автомобиля.

В докладе В.И. Ерохова, А.М. Ревонченкова, А.А. Ревонченкова и И.В. Одиноквой (МГТУ “МАМИ”, ГТУ “МАДИ”) “Золотниковое устройство в системах топливоподачи ДВС” представлена принципиальная схема подачи сжиженного нефтяного газа в цилиндры двигателя цифровым дозирующим устройством. Дозирование осуществляется с использованием шагового электродвигателя. Особенностью данного устройства является управление цикловой подачей топлива как за счет изменения времени открытия дозатора, так и путем изменения проходного сечения дозатора, что обеспечивает более гибкое управление подачей топлива по сравнению с использованием для этой цели традиционных электромагнитных форсунок. Исследования предложенной ТС на двигателе ВАЗ-2103 подтвердили ее эффективность и возможность снижения выбросов в атмосферу оксидов азота и несгоревших углеводородов.

В.Е. Кузин и С.А. Ахтырский (КИ(ф)МГОУ, г. Коломна) представили доклад “Микроэлектронная система фазированного управления подачей газового топлива в цилиндры дизеля”. Разработана и изготовлена микроэлектронная система фазированного управления подачей газа в цилиндры среднеоборотного дизеля. По сигналам с датчиков положения коленчатого и распределительного валов СУ формирует основные сигналы для управления: командный сигнал, включающий форсирующую и удерживающие ступени, и размагничивающий импульс; СУ также обеспечивает заданную скорость нарастания и спада длительности командного сигнала. Конструкция многоканальной системы фазированного управления подачей газа технологична и легко реализуема. Модульный принцип построения составных частей устройства обеспечивает их независимое изготовление, испытание, отладку и модернизацию.

В докладе В.Е. Кузина и С.А. Ахтырского (КИ(ф)МГОУ, г. Коломна) “Силовой ключ для управления электромагнитным клапаном” показано, что надежность микроэлектронного управления подачей топлива в цилиндры дизелей определяется, в первую очередь, надежностью силовых электронных устройств, входящих в состав СУ. Разработана конструкция силового ключа, обладающая преимуществами полумостовой схемы, но отличающаяся от прототипа наличием дополнительных цепей, рекуперативно формирующих размагничивающий импульс тока. Размагничивающий сигнал существенно повышает быстродействие при применении сплошного магнитопровода. Силовой ключ пригоден для управления клапанами, рассчитанными не только на работу с напряжением питания, равным 110 В, но и на более низкие напряжения. Проведенные испытания показали, что устройство обеспечивает требуемое быстродействие электромагнитного клапана (несколько мс) с потреблением мощности от источника питания от 60 до 90 Вт при длительности управляющего сигнала до 20 мс.

М.Г. Крупский, В.Е. Кузин, Э.В. Широких и А.Д. Головачев (КИ(ф)МГОУ, г. Коломна) сделали доклад “Повышение эффективности микроэлектронных систем топливоподачи дизелей”. Одним из путей совершенствования современных микроэлектронных ТС является использование в исполнительных устройствах быстродействующих приводов на основе пьезоактюаторов (ПА). В последнее время авторами получено семь патентов на микроэлектронные системы топливоподачи с использованием ПА. В одной из них используется традиционный ТНВД, снабженный перепускным клапаном с нормально открытым затвором, привод которого осуществляется от наборного ПА осевого перемещения. Эксперименты показали, что задержка исполнения командного сигнала по переднему и заднему фронтам осциллограммы перемещения ПА меньше, чем у лучших быстродействующих электромагнитных приводов соответственно в 4 и более чем в 10 раз. Другая система основана на использовании ТНВД принципиально новой конструкции, в которой для вытеснения топлива из камеры сжатия используется погружной ПА объемного принципа действия. При этом приращение объема ПА определяется положительной разницей между увеличением осевого размера ПА и одновременным уменьшением его поперечного размера. Преимуществом таких ТНВД является простота конструкции и отсутствие сложных прецизионных и кинематических элементов.

В докладе В.Ю. Рудакова (КИ(ф)МГОУ, г. Коломна) представлен метод расчета угла конуса топливной струи. Исследование процесса распыливания топлива дизелей типа ЧН 26/26 и ЧН 21/21 проводилось путем кинесъемки рабочих процессов через прозрачную головку цилиндров. Динамика развития струй топлива оценивалась с использованием кинограмм. Временное разрешение кинограмм не позволяло выявить угол конуса в интервале времени 0...0,2 мс. Поэтому выражение для угла конуса ограничено интервалом времени 0,2...3 мс с шагом измерений 0,2 мс. Обработка экспериментальных данных показала, что с изменением времени и действующих факторов (давление впрыскивания, плотность воздуха в КС, диаметр распыливающих отверстий) угол конуса топливной струи заметно изменяется. Предложена критериальная зависимость угла конуса струи от указанных факторов.

С.Н. Вознюк, С.В. Трофимов (ВТУ), П.В. Федоров, Э.Н. Федорова и И.Д. Шелковин (РГАЗУ) представили доклад “Бортовые устройства оценки энергетических параметров дизеля”. Проведены исследования по расширению функциональных возможностей ранее разработанных приборов оценки мощности и затраченной работы дизелей землеройно-транспортных машин (ЗТМ). В основу устройства положен метод косвенного измерения энергетического параметра дизеля, основанный на использовании линейной зависимости крутящего момента от цикловой подачи топлива, определяемой положением рейки ТНВД. Сигналы от датчиков положения рейки и частоты вращения коленчатого вала поступают в электронное устройство, к выходу которого подключены прибор регистрации мощности и счетчик затраченной дизелем работы. В целях получения возможности измерения мощностных параметров дизеля в хронизирующую цепь электронного устройства дополнительно подключены датчик

давления и температуры воздуха после компрессора. За счет такого включения повышается достоверность оценки и точность измерения энергетических параметров дизеля ЗТМ.

Ю.Е. Драган (ВГГУ, г. Владимир) выступил с докладом “Методология поэлементного исследования гидродинамических процессов в форсунках аккумуляторных топливных систем”. Представлен метод расчетно-экспериментального исследования гидродинамических процессов в ЭГФ в целях определения оптимальных значений параметров гидравлической системы, обеспечивающей выходные показатели форсунки. Расчет гидродинамических процессов базируется на классических уравнениях мгновенного баланса топлива в гидравлических трактах форсунок, предложенных И.В. Астаховым, и уравнениях кинематики подвижных частей форсунки. В качестве исходных данных расчетного исследования приняты следующие параметры форсунки: эффективные проходные сечения входного и выходного жиклеров форсунки, объем управляющей камеры, диаметр плунжера-мультипликатора, диаметр и длина штанги, эффективное проходное сечение распылителя как функция подъема иглы, диаметр направляющей части и длина иглы, коэффициент сжимаемости топлива как функция давления в управляющей камере. В результате расчетно-экспериментальных исследований выданы рекомендации по определению оптимальных значений указанных параметров.

Г.Д. Драгунов и В.Г. Камалтдинов (ЮУрГУ, г. Челябинск) выступили с докладом “Экспериментальное исследование рабочего цикла дизеля типа 1С15/16 с плазменно-факельным зажиганием на пусковых режимах”. Исследование рабочего процесса исследуемого дизеля с низкой степенью сжатия $\varepsilon_r = 8$ и плазменно-факельным зажиганием проводилось на пусковых частотах вращения $n = 40 \dots 100 \text{ мин}^{-1}$. В результате обработки индикаторных диаграмм получены характеристики тепловыделения и зависимости индикаторных показателей от регулировок ТС (геометрического начала и величины цикловой подачи топлива), энергии и момента электроразряда, а также частоты вращения коленчатого вала. На основе их анализа выбраны оптимальные регулировки ТС при $n = 100 \text{ мин}^{-1}$: угол геометрического начала подачи топлива 20° п.к.в. до ВМТ, цикловая подача топлива $0,18 \text{ г/цикл}$. Выбраны также оптимальные параметры системы плазменно-факельного зажигания: момент электроразряда 5° п.к.в. до ВМТ, энергия плазмообразования 50 Дж , что обеспечивает интенсивное воспламенение и 80% -ное выгорание топлива.

В.Г. Камалтдинов и С.С. Никифоров (ЮУрГУ, г. Челябинск) представили доклад “Экспериментальное исследование рабочего цикла дизеля типа 1С15/16 при моделировании факельного подогрева на пусковых режимах”. Имитация условий подогрева впускного воздуха в факельных подогревателях при неполном сгорании дизельного топлива осуществлялась при помощи паяльной лампы с одновременным дополнительным впрыском дизельного топлива во впускной коллектор. Экспериментально установлено, что при увеличении степени подогрева от 45 до 130°C и подачи топлива на впуске от $0,011$ до $0,21 \text{ г/цикл}$ воспламенение интенсифицируется и сгорание начинается раньше. Исключение составляют режимы без дополнительной подачи топлива на впуске, когда топливно-воздушная смесь в цилиндре образуется только в результате подачи серийной форсункой и с малой степенью подогрева ($45 \dots 50^\circ \text{C}$), когда повышенные подачи топлива (более $0,077 \text{ г/цикл}$) сопровождаются ухудшением процесса воспламенения. При увеличении подогрева по мере уменьшения содержания кислорода во впускном воздухе среднее индикаторное давление цикла снижается от $0,38 \text{ МПа}$ до нуля. При подогреве свыше 130°C воспламенение прекращается.

В докладе В.С. Морозовой и В.С. Гун (ЮУрГУ, г. Челябинск) “Улучшение динамики и экологических показателей переходных процессов дизеля с электронным управлением подачей топлива” разработан и научно обоснован метод синтеза конструктивных параметров электронного регулятора – коэффициентов обратных связей контура управления частотой вращения коленчатого вала дизеля. Метод обеспечивает требуемые динамические характеристики с оценкой экологических показателей

дизеля. Определены динамические характеристики и экологические показатели переходных процессов дизеля типа 4ЧН14,5/20,5.

В докладе С.Н. Девянина, Л.Л. Михальского и М.Л. Насоновского (МГАУ им. В.П. Горячкина) исследован способ обеспечения протекания внешней скоростной характеристики воздействием на впускной заряд дизеля. В работе рассмотрен способ воздействия на свежий заряд, обеспечивающий заданное протекание кривой крутящего момента по скоростной характеристике. Показано, что согласование подачи дополнительного топлива на впуске с наддувом позволяет существенно увеличить запас крутящего момента и управлять этим запасом момента в зависимости от условий эксплуатации и конструктивных ограничений.

В.Г. Семенов, А.И. Атамась и С.В. Рудаченко (НТУ “Харьковский политехнический институт”, Кременчугский ГПУ, НПО “Виктор”, г. Харьков) представили доклад “Исследование влияния состава смесового биотоплива на топливную экономичность вихрекамерного дизеля”. Отмечено, что проблема экономии топлив нефтяного происхождения частично может быть решена путем применения биодизельного топлива (БТ) из возобновляемых сырьевых ресурсов (жиров растительного и животного происхождения). Показано, что по мере увеличения процентного (по объему) содержания БТ в бинарной смеси с ДТ прямо пропорционально увеличивается и эффективный КПД вихрекамерных дизелей. Установлено, что при работе двигателя на смеси с содержанием БТ 30% по объему (“В30”) коэффициент эффективного тепловыделения повышается на 1,5% и составляет 0,558. Исследования дизеля типа 3Ч8,8/8,2 при его работе на ДТ и бинарной смеси “В30” показали, что повышение эффективного КПД составляет 1,5%.

В докладе Л.Л. Михальского, В.А. Маркова, А.Я. Перельмана, А.Б. Азбеля и Б.Е. Поликера (МГАУ им. В.П. Горячкина, МГТУ им. Н.Э. Баумана, СПб ГЛТА, ЗАО “Дизель-КАР”) “Разработка обобщенной динамической модели регулирования скоростного и теплового режимов дизеля” отмечено, что дизельный двигатель представляет собой многомерный, многосвязный динамический объект регулирования, который обладает большим количеством входных воздействий. Создание адаптивной СУ предполагает разработку методов анализа и синтеза каналов связанного регулирования в целях инвариантного, оптимального по быстродействию их регулирования. В связи с этим была разработана обобщенная математическая модель динамических процессов каналов регулирования скоростного и теплового режимов дизельного ДВС. Предложена методика синтеза такой САУ.

В докладе Л.Л. Михальского, О.Н. Слепцова и Д.Б. Бабенко (МГАУ им. В.П. Горячкина, ОАО “КИА Моторс”) “Моделирование процессов поршневых топливоподкачивающих насосов автотракторных дизелей” представлена математическая модель топливоподкачивающего насоса ТС дизеля. Разработанная модель учитывает конструктивные параметры топливоподкачивающего насоса и ТС дизеля, свойства используемого топлива. В результате моделирования получены соответствующие характеристики моделируемого узла ТС, позволяющие анализировать процесс работы поршневого топливоподкачивающего насоса и условия течения жидкости в системе.

Ю.В. Рождественский, К.В. Гаврилов и А.А. Дойкин (ЮУрГУ, г. Челябинск) представили доклад “Гидромеханические характеристики сопряжения “поршень-цилиндр” при использовании масел с улучшенными вязкостно-температурными свойствами”. На примере поршня дизеля типа ЧН 13/15 (длина юбки поршня 83,5 мм) показана возможность улучшения гидромеханических характеристик (ГМХ) сопряжения применением масел с улучшенной вязкостно-температурной характеристикой. Выбран следующий перечень моторных масел: М10-ДМ, Mobil Delvac XHP, Shell Rimula R3X, Shell Rimula R5X, Total Rubia XT. При расчетах использовался комплекс программ, отличительной особенностью которого является возможность учета вязкости смазочного материала на основе трехконстантной эмпирической формулы Фогеля. Для определения констант были выполнены экспериментальные исследования выбранных масел на ротационном вискозиметре.

Результаты расчетов показывают, что наилучшие ГМХ сопряжения “поршень–цилиндр” достигаются для масла Shell Rimula R3X.

И.А. Барский, П.Р. Вальехо Мальдонадо и В.А. Марков (РУДН, МГТУ им. Н.Э. Баумана) представили доклад “Оптимизация скорости наддувочного воздуха в воздухо-жидкостном охладителе дизеля”. Проанализированы конструкции воздухо-воздушных и воздухо-жидкостных охладителей наддувочного воздуха. Проведено сравнение тепловой эффективности охладителей различных типов. Проведенные расчетные исследования показали, что существует оптимальная скорость наддувочного воздуха в воздухо-жидкостном охладителе дизеля. Предложена формула для определения этой оптимальной скорости, обеспечивающей максимум плотности воздушного заряда в цилиндрах дизеля.

В докладе Ю.А. Гришина и К.С. Мизева (МГТУ им. Н.Э. Баумана) “Расчет оптимальной длины впускного трубопровода транспортного дизеля” отмечено, что все процессы течения по трастам и преобразования рабочего тела характеризуются большой нестационарностью. В связи с этим при расчете двигателя учитываются волновые процессы в трубопроводах. Задачей исследования был расчет оптимальной длины впускного трубопровода на режиме максимального крутящего момента в целях достижения максимального коэффициента наполнения. Для решения поставленной задачи была создана программа расчета влияния волновых явлений на коэффициент наполнения. В качестве метода расчета был выбран метод распада произвольного разрыва. Полученные при расчетах результаты весьма точно совпадают с экспериментальными данными.

С.Н. Девянин, Л.И. Быковская и В.В. Маркова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГАУ им. В.П. Горячкина) представили доклад “Сравнительный анализ показателей дизеля при его работе на смесях дизельного топлива с рапсовым и подсолнечным маслами”. Рассмотрена возможность использования в качестве моторных топлив смесей ДТ с РМ и с подсолнечным маслом (ПМ). Для сравнительной оценки показателей двигателя, работающего на ДТ и на биотопливах на базе РМ и ПМ, был проведен анализ экспериментальных данных по дизелю Д-245.12С. Этот анализ подтвердил перспективность использования смесей ДТ с РМ и ПМ в качестве моторных топлив. При переводе дизеля с ДТ на исследуемые смесевые биотоплива отмечено снижение на 25–30% дымности ОГ при практически неизменном эффективном КПД дизеля. Полученные зависимости основных показателей токсичности ОГ (удельные массовые выбросы оксидов азота, монооксида углерода, несгоревших углеводородов) подтвердили возможность улучшения экологических свойств биодизельных смесей путем оптимизации состава рассматриваемых смесевых биотоплив.

В докладе В.А. Зяброва (МГАВТ) обобщен опыт использования современных тренажеров для обучающихся в технических вузах по курсу “Автоматика”. Описаны наиболее известные тренажеры и проанализированы их функциональные возможности. Рассмотрен опыт применения тренажеров ряда отечественных и зарубежных компаний и рекомендации по их применению. Даны рекомендации по рациональному использованию тренажеров.

В развернутой дискуссии по докладам активное участие приняли постоянные участники семинара Л.В. Грехов, С.Н. Девянин, В.И. Ерохов, Н.А. Иващенко, М.В. Мазинг, В.А. Марков, В.И. Толшин, В.В. Фурман, Ю.Е. Хрящев, Б.Я. Черняк, другие участники семинара. В заключение работы ВНТС были подведены итоги заседания, принята резолюция, проведен обмен научной информацией, намечены пути дальнейшей работы.

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