

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В.А. Марков

vladimir.markov58@yandex.ru

В.И. Шатров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Совершенствование систем автоматического управления и регулирования актуально, в первую очередь, для теплоэнергетических установок, работающих в широком диапазоне эксплуатационных режимов. На основе анализа материалов Всероссийской научно-технической конференции (ВНТК) имени профессора В.И. Крутова, состоявшейся 25 января 2017 г. (заседание № 92), рассмотрены тенденции совершенствования этих систем. Объектами исследования являлись системы управления и регулирования теплоэнергетических установок различного назначения, в основном с поршневыми двигателями внутреннего сгорания. Рассмотрены возможности указанных систем при решении задач снижения токсичности отработавших газов, а также их влияние на мощностные и динамические показатели двигателей, показатели их топливной экономичности. На основании анализа представленных докладов проведена оценка современного состояния этих систем и определены перспективные направления их дальнейшего совершенствования. Рассмотрены также основные направления исследований в области топливоподающей аппаратуры двигателей внутреннего сгорания, их рабочего процесса, адаптации двигателей к работе на различных альтернативных топливах

Ключевые слова

Теплоэнергетические установки, двигатели внутреннего сгорания, дизельные двигатели, системы автоматического управления, системы автоматического регулирования

Поступила в редакцию 29.05.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Многие теплоэнергетические установки, особенно установки транспортного назначения, работают в широком диапазоне эксплуатационных режимов. В режимах с пониженной частотой вращения и частичной нагрузкой, а также в переходных процессах нарушается согласованность работы различных систем комбинированных установок. Для согласования характеристик и параметров этих систем теплоэнергетические установки оснащаются системами автоматического управления (САУ) и системами автоматического регулирования (САР) [1, 2]. На современном этапе развития теплоэнергетических установок приоритетными становятся их экологические показатели — выбросы вредных веществ с отработав-

шими газами (ОГ) [3, 4]. Совершенствование САР и САУ позволяет удовлетворить все возрастающие требования к показателям токсичности ОГ. При этом современные САР и САУ являются сложными системами, обеспечивающими взаимосвязанное управление целым комплексом параметров комбинированных теплоэнергетических установок и их элементов. Такими комбинированными установками являются, в частности, и двигатели внутреннего сгорания (ДВС).

Во вступительном слове председательствующий д-р техн. наук, профессор В.А. Марков (МГТУ им. Н.Э. Баумана) отметил непрерывное ужесточение требований к экологическим показателям теплоэнергетических установок и необходимость внедрения методов и средств, обеспечивающих снижение токсичных выбросов с ОГ. Одним из эффективных методов снижения токсичности ОГ является оснащение теплоэнергетических установок различными САР и САУ.

В докладе А.Г. Кузнецова, Д.С. Ворнычева, С.В. Харитонов (МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Расчетное исследование электромагнитного привода клапана форсунки топливной системы дизеля» представлены результаты теоретического и расчетного исследований электромагнитного привода клапана форсунки аккумуляторной системы топливоподачи типа *Common Rail*. Рассмотрены шесть вариантов конструкции привода, отличающихся параметрами катушки электромагнита и конфигурацией магнитопровода. При теоретическом исследовании привода выявлено влияние его параметров на изменение тока в электромагните. Для рассмотренных конструктивных вариантов проведен статический расчет электромагнитной силы и динамический расчет процессов перемещения якоря привода с клапаном и изменения сил, действующих в приводе. Расчеты проводились с использованием программного комплекса (ПК) *ANSYS Maxwell 16.0*. Результаты расчетов использованы при проектировании электромагнитного привода для разрабатываемой аккумуляторной системы топливоподачи дизеля.

А.Г. Кузнецов, Ш. Ускенбаев (МГТУ им. Н.Э. Баумана) выступили с докладом «Формирование тепловозной характеристики дизеля по критерию минимального расхода топлива». Рассмотрена методика формирования статической характеристики дизеля, работающего в составе энергетической установки тепловоза. Предложенная методика направлена на определение режимов тепловозной характеристики, обеспечивающих работу дизеля с минимальным удельным расходом топлива. Полученная по предложенной методике тепловозная характеристика дизеля в виде сочетаний значений крутящего момента и частоты вращения, соответствующих позициям контроллера машиниста, реализуется системой управления энергетической установкой тепловоза. Предложенная методика формирования тепловозной характеристики использована при расчетном исследовании перспективно го дизеля Д200, разработанного ОАО «Пензадизельмаш».

В докладе А.Г. Кузнецова, Лю Ин (МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Моделирование переходных процессов системы регулирования дизеля» рассмотрены вопросы использования существующих компьютерных программ для моделирования динамических характеристик дизелей. Дан анализ возможностей современного ПК *GT-Power*, использованного для расчета переходных процессов

САР дизельной энергетической установки. Объектом исследования являлся среднеоборотный дизель Д49 производства ОАО «Коломенский завод». Приведена структура разработанной в ПК *GT-Power* компьютерной модели САР дизеля Д49 с турбонаддувом при его использовании в качестве привода электрогенератора. Полученные при моделировании переходные процессы показали возможность использования указанного ПК для исследования методов повышения качества работы САР дизель-генератора.

Д.А. Епанешников, Ю.Е. Хрящёв (ООО «Роберт Бош», г. Тольятти; ЯГТУ, г. Ярославль) выступили с докладом «Проверка работоспособности алгоритма автоподстройки ПИД-регулятора при помощи искусственной нейронной сети на модели исполнительного механизма управления дроссельной заслонкой». На основе предложенной ранее методики применения искусственных нейронных сетей (ИНС) для анализа переходных процессов в системе управления, был проведен синтез ИНС по данным, полученным на модели исполнительного механизма управления дроссельной заслонкой. Выполнено имитационное моделирование переходных процессов для различных значений коэффициентов ПИД-регулятора с дальнейшей оценкой точности их определения по образу переходного процесса, полученного при помощи ИНС. Проверена и подтверждена работоспособность автоподстройки на основании распознавания образов переходного процесса при помощи ИНС.

В докладе Ю.Е. Хрящёва, С.В. Овчинникова, О.Н. Соколова (ЯГТУ; ООО «Электронная автоматика», г. Ярославль) «Оценка долговечности электрогидравлических форсунок» отмечено, что наименее надежным элементом электрогидравлических форсунок (ЭГФ) является клапанный узел. В этом узле в качестве запирающего элемента применяют конструкции клапанов различного типа (например, «шарик-конус» фирмы *R. Bosch* или «плоскость по плоскости» фирмы *Denso*). Выявлено, что уплотняющие поверхности клапанов подвержены эрозионному износу. Разработана статистическая модель оценки долговечности, основанная на анализе надежности клапанов при их ресурсных испытаниях. Фактическая реализация данного метода осуществляется путем использования в электронном блоке управления дизеля алгоритма диагностики качества ЭГФ.

Доклад Д.А. Епанешникова, Е.С. Евдомина (ООО «Роберт Бош»; *ETAS GmbH*) «Быстрое прототипирование систем автоматического управления с использованием программных и аппаратных продуктов *ETAS*» посвящен анализу возможностей САУ, построенных с использованием программного обеспечения (ПО) *ETAS ASCET*, *INTECRIO* и комплекса аппаратного моделирования, состоящего из управляющего модуля *ES910* и модулей входа/выхода *ES930*. ПО *ETAS ASCET* предоставляет возможность разработки алгоритмов управления путем построения графических моделей и генерации С-кода на базе моделей в соответствии со стандартами безопасности, принятыми для микропроцессорных системах; управления *INTECRIO* позволяет проводить интеграцию разработанного алгоритма с комплексом аппаратного моделирования и осуществлять проверку алгоритма управления с применением реальных исполнительных меха-

низмов и датчиков, подключаемых к модулям входа/выхода *ES930*. Отсутствующие физические компоненты могут быть заменены их математическими моделями и подключены к прототипу системы управления также в среде ПО *INTECRIO*. Описанное решение позволяет реализовать комплексный подход при разработке микропроцессорных САУ, начиная от синтеза алгоритма управления на основе требуемого функционала и заканчивая проверкой работоспособности, без привязки к конкретному целевому электронному блоку управления (т. е. на ранних этапах разработки, когда требуется быстрое создание прототипа). ПО *ASCET* и *INTECRIO* поддерживают спецификации *AUTOSAR*, что обеспечивает переносимость реализации алгоритмов между различными САУ.

Н.Н. Патрахальцев, Л.В. Виноградов, Ш.Р. Лотфуллин (РУДН; ООО «Био Интер», Москва) выступили с докладом «Возможности повышения топливной экономичности автобусного газового двигателя типа КамАЗ регулированием его активного рабочего объема». Отмечено, что актуальность проблем повышения экономических и экологических качеств автомобильного транспорта возрастает. Их успешное решение в значительной степени определяется возможностью использования в ДВС различных альтернативных топлив и, прежде всего, природного газа. Известная проблема загруженности транспортных магистралей, приводящая к росту режимов малых нагрузок и холостых ходов, сопровождается повышенными расходами топлив и загрязнением окружающей среды вредными веществами ОГ. Определенное улучшение показателей двигателей на таких режимах может быть достигнуто путем регулирования ДВС изменением их активных рабочих объемов (в простейшем случае — отключением цилиндров или циклов). Экспериментальные исследования возможностей такого улучшения сложны, дороги, длительны, и применять их целесообразно после поисковых расчетных работ, позволяющих выбрать рациональные пути достижения поставленных целей. Для предварительной оценки (экспресс-оценки) возможностей повышения экономичности работы ДВС в условиях эксплуатации путем отключения части цилиндров применена расчетно-экспериментальная методика (математическая модель), основанная на использовании экспериментальных универсальных или многопараметровых характеристик исследуемых двигателей. Показано, что при реализации статистически достоверного эксплуатационного цикла движения городского автобуса с газовым двигателем КамАЗ возможно за счет отключения четырех цилиндров на режимах малых нагрузок достичь улучшения топливной экономичности двигателя на величину от 10 до 20 % по сравнению с экономичностью полноразмерного двигателя, работающего в тех же условиях.

Доклад Н.Н. Патрахальцева, П.П. Ощепкова, Х. Бехджуйана (РУДН) «Повышение среднеэксплуатационной топливной экономичности многотопливного дизеля изменением его активного рабочего объема» посвящен применению в дизелях различных альтернативных топлив (АТ). Показано, что использование АТ, в частности спиртов, является одним из путей экономии традиционных энергоресурсов одновременно с улучшением экологических качеств ДВС. В свя-

зи с отсутствием широкой сети соответствующих автозаправок эта проблема может быть решена путем использования многотопливных двигателей, но при этом сохраняются проблемы повышения экономичности и экологичности транспорта, длительное время работающего на режимах малых нагрузок. С использованием расчетно-экспериментальной методики показано, что реализация исследуемого метода регулирования активного рабочего объема на режимах малых нагрузок (около 20 % полной нагрузки) обеспечивает снижение удельных расходов метанола, аналогичное снижению расходов дизельного топлива.

В докладе М.Г. Шатрова, А.Ю. Дунина, Е.С. Евдонина, П.В. Душкина, П.И. Найденова (ГТУ «МАДИ»; *ETAS GmbH*) «Разработка регулятора давления для аккумуляторной топливной системы с применением современных технических средств» представлен процесс разработки макетного образца САУ давлением в топливном аккумуляторе. В основу алгоритма управления положен принцип пропорционально-интегрального (ПИ) регулирования. Такой регулятор с датчиком давления генерирует сигнал с широтно-импульсным модулированием, служащий для управления электромагнитным клапаном, ограничивающим производительность топливного насоса высокого давления (ТНВД) за счет дросселирования топлива, поступающего в насос. Описано основное оборудование — безмоторный стенд и макетный образец контроллера управления давлением, приведены схема алгоритма ПИ-регулятора и перечень применяемого программного обеспечения, представлена блок-схема процесса разработки. Особенность предлагаемой методики состоит в том, что благодаря применению современных аппаратных и программных средств, в том числе фирмы *ETAS GmbH*, удастся существенно ускорить процесс разработки регулятора давления. Приведены показатели качества регулирования давления разработанной САУ: время регулирования — 2 с, перерегулирование — 2 МПа при изменении давления в аккумуляторе от 20 до 50 МПа (при отключенной подаче топлива).

В докладе А.Ю. Дунина, П.В. Душкина, Е.В. Горбачевского (ГТУ «МАДИ») «Особенности впрыскивания топлив, содержащих масло растительного происхождения, аккумуляторной топливной системой» были представлены результаты экспериментальных и расчетных исследований двух конструкций ЭГФ при подаче рапсового и подсолнечного масел, а также их смесей с дизельным топливом (ДТ). В обеих ЭГФ используется электромагнитный привод управляющего клапана. Вторая конструкция форсунки отличается от первой наличием встроенного в корпус топливного аккумулятора и конструкцией управляющего клапана, разгруженного от силы давления топлива. Отмечено сокращение расхода топлива на управление ЭГФ на величину до 50 % — при использовании второй конструкции форсунки и переходе от ДТ к подсолнечному маслу при давлении в аккумуляторе 300 МПа. Необходимость увеличения цикловой подачи масел в цилиндр дизеля по сравнению с ДТ (из-за пониженного энергосодержания масел) увеличивает гидравлическую эффективность ЭГФ. Применение масел обеспечивает снижение колебаний давления в ЭГФ, которые заметно усиливаются при росте давления в аккумуляторе от 200 до 300 МПа.

Ю.Е. Драган (Владимирский государственный университет) сделал доклад «Влияние процессов деформирования деталей электрогидравлической форсунки на ее работу». Отмечено, что детали ЭГФ испытывают значительные нагрузки от высоких давлений в аккумуляторных топливных системах типа *Common Rail*. Наибольшим деформациям сжатия подвержены плунжерный мультипликатор запираения, штанга и игла распылителя. Деформации сжатия в конце цикла посадки иглы вызывают перемещение вниз верхнего торца мультипликатора, при этом увеличивается объем камеры управления. С другой стороны, в начале цикла подачи топлива после открытия управляющего клапана происходит снижение давления в камере управления, которое приводит к разгрузке сжатых деталей и к соответствующему перемещению вверх торца мультипликатора. Расчеты показали, что задержка подъема иглы распылителя вызвана замедлением падения давления топлива в камере управления вследствие перемещения вверх верхнего торца мультипликатора при закрытой игле. Для оценки влияния разгрузки сжатых деталей на процессы в ЭГФ разработана методика, в которой учтены два фактора: процесс перемещения верхнего торца мультипликатора при закрытой игле распылителя и уменьшение объема камеры управления, вызванное этим перемещением. Рассмотрены осциллограммы, записанные в ходе стендовых испытаний ЭГФ конструкции НИКТИД (г. Владимир) при давлении топлива в аккумуляторе, равном 70 МПа. Установлено, что время от начала открытия управляющего клапана до начала подъема иглы распылителя в девяти опытах составило от 247 до 370 мкс при среднем значении 305 мкс и стандартном отклонении 36 мкс. Расчетное время до начала подъема иглы распылителя при условии учета указанных выше двух факторов и для такого же давления топлива (70 МПа) составило 136 мкс. Это время имеет один порядок с экспериментальными значениями. Если же не учитывать влияние деформации сжатых деталей ЭГФ, то расчетные значения отличаются от экспериментальных данных на порядок и составляют 34 мкс.

В докладе В.И. Ерохова (Московский политехнический университет) «Экологические параметры газобаллонного автомобиля (ГБА), работающего на сжиженном природном газе (СПГ)» отмечено, что отечественной практикой накоплен достаточный опыт создания и эксплуатации ГБА для работы на СПГ. Значительная часть транспортных средств оснащена базовым двигателем КамАЗ 820.60-260 (8 ЧН 12/13), предназначенным для установки на шасси самосвалов, седельных тягачей и спецтехники. Двигатель КамАЗ 820.61-260 (8 VЧН 12/13) предназначен для установки на автобусные шасси НЕФАЗ-5339. Газобаллонный автомобиль оснащен встроенной диагностической системой (OBD), позволяющей контролировать параметры токсичности ОГ. Требования экологических стандартов OBD-II и EOBD предполагают приоритетное определение неисправностей системы рециркуляции ОГ, отказ от которой неизбежно приводит к повышению выброса вредных веществ, прежде всего — оксидов азота NO_x. Для снижения выброса NO_x широко используется рециркуляция ОГ, присутствие которых в камере сгорания (КС) приводит к снижению локальных и

средних температур цикла, способствующих образованию NO_x . Степень рециркуляции ОГ регулируют путем изменения положения дроссельных заслонок по величине наддувочного воздуха. Охлаждение ОГ в испарителе осуществляется путем подачи охлаждающей жидкости из внутреннего контура двигателя. Оптимальная температура охлаждающей жидкости составляет $75 \dots 80$ °С, а оптимальная температура ОГ в системе рециркуляции 150 °С. Скорость сгорания газа и температура ОГ на 10 % меньше по сравнению с базовым топливом. Подобная особенность сопровождается снижением ударных нагрузок на поршневую группу, коленчатый вал двигателя и способствует более мягкой работе двигателя, характеризуемой снижением шума на $7 \dots 8$ дБ(А). Наиболее эффективна система рециркуляции при полностью открытой дроссельной заслонке (максимальная степень рециркуляции). Для снижения выбросов NO_x до уровня требований норм *EURO-5* необходимо изменять степень рециркуляции в диапазоне от 0 до 20 % в зависимости от режима работы. С точки зрения снижения выбросов NO_x газовых двигателей система рециркуляции ОГ наиболее эффективна в сочетании с уменьшением угла опережения зажигания. Сделан вывод о том, что автомобили на СПГ в 2 раза экологичней автомобилей на ДТ. Для нейтрализации ОГ дизеля КамАЗ применена технология *SCR (Selective Catalytic Reduction)*.

В докладе В.Г. Камалтдинова, В.А. Маркова, И.О. Лысова, С.С. Никифорова (ЮУрГУ, г. Челябинск; МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Обработка индикаторной диаграммы форсированного дизеля с системой топливоподачи типа *Common Rail*» представлены результаты анализа процесса тепловыделения по экспериментальной диаграмме давления в цилиндре, зарегистрированной с помощью системы индицирования рабочих процессов фирмы *FEV GmbH*. Установлено, что за 25° поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки (п.к.в. до ВМТ) начинается интенсивная теплоотдача от рабочего тела, которая практически линейно увеличивается в течение 10° п.к.в. В результате рост температуры в цилиндре приостанавливается на уровне 1100 К. Именно в этот период происходит впрыск топлива в цилиндр. Расчетная оценка затрат теплоты на нагрев и испарение цикловой подачи топлива подтвердила ее соответствие величине суммарной теплоотдачи, полученной при обработке индикаторной диаграммы. Второй особенностью рабочего процесса форсированного дизеля с системой топливоподачи *Common Rail* является то, что скорость тепловыделения в начальный период возрастает до максимума (около 300 Дж/° п.к.в.) в течение $28 \dots 30^\circ$ п.к.в., а затем плавно снижается в течение 120° п.к.в. с небольшим подъемом (на уровне $60 \dots 70$ Дж/° п.к.в.) в конце сгорания. Такой характер протекания тепловыделения существенно отличается от привычного закона с кинетическим и диффузионным периодами, характерными для форсированных дизелей с механической системой топливоподачи.

В докладе В.Г. Камалтдинова, И.О. Лысова, А.Е. Попова, И.С. Сидорова (ЮУрГУ) «Некоторые результаты экспериментальных исследований процессов подачи топлива и смесеобразования в камере постоянного объема» описана динамика изменения длины и угла конуса распыливаемых топливных струй при

различных давлениях в топливном аккумуляторе (от 100 до 165 МПа), продолжительности электрического импульса управления электромагнитной форсункой (от 0,5 до 3,0 мс) и параметрах сжатого воздуха в камере постоянного объема (плотность — 35,5 кг/м³ и давление — 30 бар). Установлено, что процесс впрыскивания топлива начинается с задержкой 0,3 мс от момента начала подачи электрического импульса управления, а заканчивается с задержкой до 1,0 мс от окончания подачи управляющего импульса. Скорость движения головной части топливных струй в процессе впрыскивания уменьшается от 90...130 до 30...40 м/с. С увеличением давления в аккумуляторе от 100 до 165 МПа время достижения топливными струями длины 75 мм сокращается примерно в 1,4 раза (от 2,5 до 1,8 мс). При этом углы их конусов уменьшаются от 19...22 до 17...18,5°, т. е. в среднем на 15 %.

В.В. Фурман («ППП Дизельавтоматика», г. Саратов) представил доклад «Экспериментальные исследования тепловозного дизеля с системой электронного управления топливоподачей». Целью таких исследований дизеля типа Д50 (6 ЧН 31,8/33) производства ОАО «Пензадизельмаш» на моторном стенде была оценка влияния управления углом опережения впрыскивания топлива (УОВТ) на показатели топливной экономичности и токсичности ОГ при использовании системы типа ЭСУВТ.01. Она представляет собой систему управления с ТНВД с импульсным индивидуальным управлением топливоподачей с помощью клапанов, установленных в каждой секции ТНВД. На первом этапе двигатель был укомплектован штатным гидромеханическим регулятором, на последующих этапах на двигатель была установлена электронная система управления типа ЭСУВТ.01. Серийная система топливоподачи не предусматривает управление УОВТ, поэтому при ее испытаниях статический УОВТ не изменялся и был равен 24° п.к.в. до ВМТ. При испытаниях системы ЭСУВТ.01 момент начала впрыскивания оптимизировался по топливной экономичности. На каждом режиме производилось осциллографирование процессов сгорания и топливоподачи и получены значения угла начала подъема давления в линии высокого давления топливной системы, УОВТ (соответствующего углу начала подъема иглы форсунки) и его продолжительности. При испытаниях дизеля с системой ЭСУВТ.01 отмечено более равномерное дозирование топлива по всем цилиндрам на всех режимах. Полученные результаты по удельному эффективному расходу топлива свидетельствуют о том, что применение системы ЭСУВТ.01 позволило снизить расход топлива на 3,5...17 % на позициях контроллера от нулевой до третьей и на 0,9 % — на четвертой и пятой позициях контроллера при оптимальных значениях УОВТ по сравнению с серийной топливной аппаратурой. На режимах холостого хода снижение частоты вращения дизеля до 250 мин⁻¹ позволило снизить расход топлива на 31,3 % по сравнению с серийной системой (при частоте вращения холостого хода, равной 300 мин⁻¹), а при снижении частоты вращения холостого хода до 220 мин⁻¹ — на 37,0 %. Результаты испытаний показали, что дымность ОГ дизеля находилась в пределах норм ГОСТ Р 51250–99, выбросы оксидов азота и монооксида углерода ди-

зеля Д50 с системой ЭСУВТ.01 удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51249–99, лишь удельные выбросы углеводородов несколько превышают норму, установленную ГОСТ Р 51249–99. Оценка динамических свойств системы ЭСУВТ.01 проведена при ее исследованиях в переходных процессах. Получены следующие результаты: величина заброса частоты вращения дизеля при сбросе 100 % нагрузки составила 1,21 %; длительность переходного процесса — 3,5 с.

В.А. Марков, В.В. Фурман, Е.В. Бебенин (МГТУ им. Н.Э. Баумана; «ППП Дизельавтоматика»; Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова) выступили с докладом «Совершенствование системы автоматического регулирования транспортного дизеля в процессе перехода его работы с дизельного цикла на газодизельный». Обоснованы преимущества использования природного газа в качестве моторного топлива. Рассмотрен двухтопливный цикл, в котором двигатель работает на природном газе с запальной дозой дизельного топлива. Объектом исследования являлся трактор МТЗ-82.1 с газодизельным двигателем типа Д240 (4 Ч 11/12,5) производства Минского моторного завода (ММЗ). Показана необходимость реализации пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) закона регулирования частоты вращения вала дизеля. Проведены расчетные исследования влияния структуры ПИД-регулятора на динамические показатели САР частоты вращения двигателя, работающего по дизельному и газодизельному циклам. Оптимизация параметров ПИД-закона регулирования проведена по комплексному критерию, определяемому в виде произведения продолжительности переходного процесса и максимального отклонения регулируемого параметра в этом процессе. Минимальное значение такого комплексного критерия качества в дизельном цикле получено при следующих значениях коэффициентов ПИД-закона регулирования: пропорциональный — 14, интегральный — 20, дифференциальный — 1,5. Обоснована целесообразность изменения коэффициентов пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-закона регулирования при переходе от дизельного к газодизельному циклу.

В.А. Марков, А.Ю. Епишин, С.С. Лобода (МГТУ им. Н.Э. Баумана) представили доклад «Повышение топливной экономичности дизель-генераторной установки тепловоза в условиях эксплуатации». Целью исследования являлась разработка методики профилирования тепловозной характеристики дизеля, обеспечивающей улучшение показателей топливной экономичности силовых установок маневровых тепловозов, работающих в условиях частой смены скоростного и нагрузочного режимов. Предлагаемая методика оптимизации формы тепловозной характеристики заключается в ее пошаговом определении. Базовой точкой является точка с наименьшим удельным эффективным расходом топлива. В этой исходной точке тепловозной характеристики определяется направление, в котором удельный эффективный расход топлива получает наименьшее приращение. При этом в качестве меры приращения указанного расхода топлива выбрана сумма производных этого расхода по частоте вращения и нагрузке. Проведены расчеты оптимизированной тепловозной характери-

ки тепловозного дизель-генератора 21-26ДГ тепловоза 2ТЭ25К. Формирование этой характеристики обеспечивает снижение расхода топлива дизель-генераторной установки тепловоза в условиях ее реальной эксплуатации при обеспечении приемлемых показателей тепловой напряженности деталей дизеля.

В.А. Марков, С.Н. Девянин, С.А. Зыков, Са Бовэнь (МГТУ им. Н.Э. Баумана; РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) выступили с докладом «Оптимизация состава биотоплив с добавками метиловых эфиров растительных масел». Отмечено, что среди топлив растительного происхождения наибольшее практическое применение для автомобильных дизелей нашло биодизельное топливо — сложные эфиры растительных масел. В условиях России целесообразным представляется использование в качестве моторного топлива смесей нефтяного ДТ с метиловым эфиром рапсового масла (МЭРМ) и метиловым эфиром подсолнечного масла (МЭПМ). Для оценки показателей топливной экономичности и токсичности ОГ дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5), работающего на этих смесях, проведены его испытания. При испытаниях исследовались ДТ марки «Л» по ГОСТ 305–82, смеси ДТ с МЭРМ с содержанием эфира от 0 до 60 % и смеси ДТ с МЭПМ с содержанием эфира от 0 до 40 % (указано объемное содержание компонентов). Дизель испытывался на режимах внешней скоростной характеристики (ВСХ) 13-режимного испытательного цикла *ECE R49*. Для решения задачи выбора оптимального состава смесового биотоплива использован метод свертки, при котором обобщенный критерий оптимальности формируется в виде суммы частных критериев. Поскольку наиболее значимыми экологическими показателями дизелей являются выбросы оксидов азота и сажи, при решении оптимизационной задачи использован обобщенный критерий, определяемый в виде суммы частных критериев, характеризующих концентрацию в ОГ оксидов азота и дымность ОГ на двух основных режимах — максимальной мощности и максимального крутящего момента. Наилучшие результаты достигнуты при использовании смесей 40 % ДТ + 60 % МЭРМ и 60 % ДТ + 40 % МЭПМ. Перевод дизеля Д245.12С с нефтяного ДТ на смесь 40 % ДТ и 60 % МЭРМ на режиме максимальной мощности сопровождался снижением дымности ОГ от 18,0 до 7,0 % по шкале Хартриджа, а на режиме максимального крутящего момента — от 21,0 до 8,5 % по той же шкале. При этом интегральный на режимах 13-режимного цикла удельный массовый выброс оксидов азота возрос от 7,286 до 7,759 г/(кВт·ч), удельный выброс монооксида углерода снизился от 2,834 до 1,932 г/(кВт·ч), а удельный выброс углеводородов уменьшился от 0,713 до 0,681 г/(кВт·ч). Перевод дизеля с нефтяного ДТ на смесь 60 % ДТ и 40 % МЭПМ на режиме максимальной мощности привел к снижению дымности ОГ от 15,0 до 6,0 % по шкале Хартриджа, а на режиме максимального крутящего момента — от 36,0 до 25,0 % по той же шкале. При этом интегральный на режимах 13-режимного цикла удельный массовый выброс оксидов азота снизился от 5,949 до 5,742 г/(кВт·ч), выброс монооксида углерода — от 2,782 до 1,949 г/(кВт·ч), углеводородов — от 1,006 до 0,784 г/(кВт·ч). Полученные результаты оптимизации подтверждают близкие экологические качества смесей ДТ с МЭРМ и МЭПМ.

В.А. Марков, В.И. Шатров, Ф.Б. Барченко, К.П. Рязанов, И.П. Харитонов (МГТУ им. Н.Э. Баумана) представили доклад «Оценка токсичности отработавших газов дизеля в переходных процессах». Отмечено, что важнейшей характеристикой транспортного дизеля является ВСХ с участками положительной и отрицательной коррекции. Для оценки влияния формы ВСХ на показатели токсичности ОГ проведены расчетные исследования дизеля КамАЗ-740 в переходных процессах с использованием разработанной математической модели САР. В этой модели дифференциальные уравнения основных элементов дизеля с турбонаддувом — поршневой части двигателя, турбокомпрессора, впускного и выпускного трубопроводов представлены в нелинейном виде. Значения параметров двигателя, входящих в правые части этих уравнений, определялись в виде полиномиальных зависимостей. При расчетах использован и ряд дополнительных полиномиальных зависимостей для концентраций в ОГ оксидов азота, монооксида углерода, углеводородов и дымности ОГ. С использованием математической модели исследовано влияние формы ВСХ на показатели дизеля КамАЗ-740 в переходном процессе разгона с режима с положением дозирующей рейки ТНВД 9,5 мм при частоте вращения 800 мин^{-1} на режим с положением рейки и частотой вращения, равными соответственно 14,0 и 2200 мин^{-1} . Диапазон корректирования топливоподачи на участке отрицательной коррекции оценивался коэффициентом отрицательного корректирования, определяемым в виде отношения крутящих моментов на минимальном скоростном и номинальном режимах. Исследовалось четыре варианта наклона этого участка, в которых указанный коэффициент изменялся от 1,24 до 0,65. Такое изменение этого коэффициента не приводило к заметному изменению времени переходного процесса — во всех четырех случаях оно составило ~ 6 с. Максимальное значение содержания оксидов азота в ОГ дизеля в переходном процессе отмечено при значении указанного коэффициента 0,65 и составляло 2300 ppm. Но можно отметить, что осредненные для переходного процесса значения концентрации оксидов азота, а также монооксида углерода в ОГ для исследованных вариантов ВСХ отличаются незначительно. Более значительное влияние форма ВСХ оказывает на содержание в ОГ углеводородов. Для исследованных вариантов ВСХ при фиксированных значениях времени концентрации углеводородов в ОГ отличались в 1,5 раза. При этом наиболее неблагоприятна ВСХ с коэффициентом отрицательного корректирования, равным 0,65. При реализации такой ВСХ в начальной фазе переходного процесса отмечена наибольшая концентрация углеводородов в ОГ, равная 480...500 ppm. От наклона участка отрицательной коррекции в наибольшей степени зависит дымность ОГ. При изменении коэффициента отрицательного корректирования от 1,24 до 0,65 максимальная дымность ОГ в переходном процессе снизилась с 60 до 36 % по шкале Хартриджа, т. е. в 1,7 раза. Диапазон корректирования топливоподачи на участке положительной коррекции ВСХ оценивался коэффициентом положительного корректирования, определяемым в виде отношения крутящих моментов на режимах

максимального крутящего момента и максимальной мощности. Исследован описанный выше переходный процесс разгона дизеля. При этом диапазон корректирования топливоподачи на участке отрицательной коррекции был практически неизменным и равным единице. Исследовано четыре варианта протекания участка положительной коррекции с изменением диапазона корректирования топливоподачи от 1,05 до 1,50, сопровождающимся сокращением времени переходного процесса от 8,2 до 5,4 с. При увеличении диапазона корректирования топливоподачи на этом участке максимальные концентрации оксидов азота в ОГ в переходном процессе возрастали. Их максимальное содержание в ОГ, равное 2240 ppm отмечено при значении указанного коэффициента 1,50. Максимальная концентрация монооксида углерода в ОГ (810 ppm) также соответствует значению этого коэффициента 1,50. Но при этом концентрации оксидов азота и монооксида углерода в ОГ сравнительно слабо зависят от значений этого коэффициента. Более значительное влияние указанный диапазон корректирования оказывает на содержание в ОГ углеводородов. Их максимальная концентрация в ОГ отмечена при значении указанного коэффициента 1,50 и составляет 560 ppm. Наибольшее влияние диапазон положительного корректирования оказывает на дымность ОГ. Ее максимальные значения отмечены при коэффициенте 1,50. Уменьшение этого коэффициента сопровождается быстрым снижением дымности ОГ и при коэффициенте положительного корректирования, равном 1,05, максимальная дымность ОГ в переходном процессе снижается примерно в 1,5 раза.

В докладе В.А. Маркова, В.В. Бирюкова, А.С. Блинова, С.А. Зыкова, Са Бовэня (МГТУ им. Н.Э. Баумана; РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) «Свойства эмульгированных биотоплив для дизелей» рассмотрена возможность использования в качестве моторного топлива эмульсий рапсового масла (РМ) и этилового спирта (ЭС). Эти два биотоплива имеют различные физико-химические свойства, определяющие протекание процессов топливоподачи, распыливания топлива, смесеобразования и сгорания. На процесс топливоподачи значительное влияние оказывает вязкость указанных эмульгированных топлив, поэтому исследованы вязкостные характеристики двух эмульсий. Первая из них содержит 90 % РМ и 10 % ЭС (по объему), вторая — 70 % РМ и 30 % ЭС. Авторами разработана методика аппроксимации экспериментальных данных по вязкости этих эмульсий и проведены расчетные исследования. Получена зависимость вязкости рассматриваемых эмульсий от содержания ЭС в смеси с РМ. Проведено моделирование течения эмульгированного биотоплива в распылителе дизельной форсунки.

С.Н. Девянин, С.А. Зыков, В.А. Марков, С.С. Лобода, Э.А. Савастенко (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; МГТУ им. Н.Э. Баумана; РУДН) представили доклад «Анализ эффективности различных способов подачи воды в цилиндры дизеля». Показано, что эффективным средством улучшения показателей токсичности ОГ дизелей, в первую очередь — снижения выбросов оксидов азота и сажи, является подача воды в КС дизеля. Рассмотрено несколько способов

подачи воды в цилиндры дизелей. Возможна подача воды в цилиндры в жидкой фазе или в виде пара. Подача водяного пара в КС может быть реализована в силовых установках, имеющих контур утилизации теплоты (в первую очередь — теплоты ОГ), отводимой от двигателя и используемой для подогрева воды и ее испарения. Для быстроходных двигателей транспортных средств предпочтительным является подача воды в КС в жидкой фазе. Наибольшее практическое применение нашли следующие способы: впрыскивание воды непосредственно в цилиндры, подача воды на всасывание (во впускной трубопровод), применение в качестве топлива водотопливной эмульсии (ВТЭ). Предложена методика оценки экологических качеств эмульгированного топлива, базирующаяся на использовании обобщенного критерия оптимальности в виде суммы относительных безразмерных критериев, характеризующих выбросы основных токсичных компонентов ОГ дизелей — оксидов азота и сажи на двух основных режимах работы дизеля — на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента. Проведенные расчеты показали, что для дизеля Д245.12С, работающего на эмульгированных топливах, оптимальное в соответствии с предложенной методикой содержание воды в ВТЭ равно 15 %. При таком составе ВТЭ достигается минимум обобщенного критерия оптимальности, равный 0,659 (при работе на нефтяном ДТ он равен единице). В этом случае обеспечиваются и минимальный выброс оксидов азота на режимах 13-режимного цикла, равный 4,849 г/(кВт·ч), и минимальная дымность ОГ (8,5 и 18 % по шкале Хартриджа, соответственно на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента). При таком составе ВТЭ отмечен максимальный условный (средний) на режимах 13-режимного цикла эффективный КПД — 0,361 (при работе на нефтяном ДТ он был равен 0,341).

В докладе В.А. Маркова, Р.З. Кавтарадзе, Са Бовэня, В.Л. Трифонова, П.Р. Вальехо Мальдонадо «Воспламеняемость биотоплив в камере сгорания дизеля» (МГТУ им. Н.Э. Баумана; Московский политехнический университет) обоснована необходимость использования биотоплив в ДВС. Рассмотрены характеристики воспламеняемости моторных топлив в КС дизеля. Предложены формулы для определения периода задержки воспламенения нефтяного ДТ и растительных масел в КС тракторного дизеля типа *Perkins AD3.152* (3 Ч 9,15/12,69) без турбонаддува с непосредственным впрыскиванием топлива. Этот двигатель мощностью 35 кВт (средним эффективным давлением 0,84 МПа) при частоте вращения 2000 мин⁻¹ выполнен рядным с тремя цилиндрами, рабочим объемом 2,503 л и водяным охлаждением. Степень сжатия двигателя составляла 17,4. Результаты исследований показали, что на режиме с частотой вращения 2000 мин⁻¹ и неполной нагрузкой (при среднем эффективном давлении 0,68 МПа) период задержки воспламенения оказался равен: 0,50 мс — для нефтяного ДТ и 0,63 мс — для исследуемых растительных масел — рапсового, подсолнечного и соевого.

В докладе П.Р. Вальехо Мальдонадо, В.А. Маркова, Н.Д. Чайнова (Московский политехнический университет; МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Влияние отклю-

чения отдельных цилиндров на равномерность крутящего момента» отмечено, что одним из методов повышения экономичности двигателей, работающих на режимах с частичной нагрузкой и холостого хода, является отключение цилиндров. При отключении одного или нескольких цилиндров увеличивают мощность в каждом из оставшихся работающих цилиндров, сохраняя необходимую мощность двигателя в целом. Экономичность двигателя при этом улучшается. Однако отключение части цилиндров приводит к возрастанию коэффициента неравномерности крутящего момента. Представлены результаты расчетных исследований V-образного дизеля типа 8 ЧН 12/12. Расчет выполнялся для двух способов отключения цилиндров — простого прекращения подачи топлива и прекращения подачи с одновременной декомпрессией отключаемых цилиндров. В первом случае в отключенных цилиндрах учитывались силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс и (на тактах сжатия и расширения) силы давления газов. Во втором случае в отключенных цилиндрах учитывались только силы инерции. Анализ графиков подтверждает неуклонное увеличение коэффициента неравномерности суммарного крутящего момента по мере роста числа отключенных цилиндров. Декомпрессия отключаемых цилиндров чаще всего увеличивает неравномерность крутящего момента. Наименьшее ухудшение равномерности крутящего момента отмечено при таком отключении цилиндров, при котором в двигателе сохраняется равномерное чередование вспышек. Например, при порядке работы восьмицилиндрового V-образного двигателя 1-5-4-2-6-3-7-8 и отключении одновременно четырех цилиндров, лучше отключить следующие цилиндры 5-2-3-8.

В.М. Фомин, А.Н. Нетрусов (Московский политехнический университет) представили доклад «Исследование возможности использования композиционных материалов для рабочих колес агрегатов наддува». Целью работы являлось проведение сравнительного анализа прочностных показателей рабочих колес, изготовленных из композитного материала, с прочностными показателями рабочих колес из алюминиевого сплава. Основным методом исследования являлся метод конечных элементов. Для подготовки модели и обработки результатов исследования использован пре- и постпроцессор Femap. Расчеты выполнены при помощи ПК NX Nastran для двух типоразмеров колес (двух диаметров) и двух расчетных случаев (для максимальной рабочей угловой скорости и разрушающей). Получены напряженно-деформированные состояния рабочих колес. Распределение напряжений качественно идентично во всех расчетных вариантах. Перераспределение напряжений в рабочих колесах вследствие различной жесткости материалов отсутствует. Коэффициенты запасов прочности в результате замены материалов для 1-го и 2-го типоразмера снизились на 7,8 и 5 % соответственно (абсолютные значения — 1,06 и 1,16 соответственно). Напряженно-деформированные состояния, полученные при прочностном расчете, могут быть использованы для последующего изготовления рабочего колеса из анизотропного материала. Проведенный расчет частот и форм свободных колебаний показал уменьшение частот свободных колебаний рабочих колес, изготовлен-

ных из композиционного материала. Однако стоит отметить, что даже самые «низшие» частоты колебаний имеют значения приблизительно в 2 раза больше максимальных значений частот рабочего диапазона турбокомпрессора. Результаты проведенного анализа указывают на перспективность замены материалов в целях повышения надежности. Прочностной расчет показал необходимость дополнительных экспериментальных исследований рабочих колес, изготовленных из композиционных материалов.

В.П. Антипин, В.Д. Валяжонков, М.Я. Дурманов (СпбГЛТУ) выступили с докладом «Оценка эффективности касательной силы тяги трактора «Кировец» при неустановившихся режимах». Выполнены теоретико-экспериментальные исследования изнашивания пар трения цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма двигателя ЯМЗ-238НД5 трактора К-744Р-05 в зависимости от скорости движения и частоты колебаний нагрузки на ведущих колесах и в силовой передаче в транспортном режиме. Разработана математическая модель скорости изнашивания, состоящая из передаточных функций частоты вращения коленчатого вала и давления масла в главной масляной магистрали (ГММ), полученных с помощью экспериментальных исследований, а колебания машинно-тракторного агрегата (МТА) в продольно-вертикальной плоскости — теоретических. Построена трехмерная поверхность состояния частотной характеристики (ЧХ) скорости изнашивания верхнего компрессионного кольца в зависимости от частоты колебаний нагрузки и скорости движения МТА. Выполнены сечения поверхности состояния в продольно-вертикальной плоскости и построены ЧХ компонентов передаточной функции скорости изнашивания. В результате установлено, при малой скорости движения (равной 2,01 м/с) динамическая составляющая скорости изнашивания равна 16,65 мкм на 1000 ч, а регулярная — 2,17 мкм на 1000 ч. При скорости движения 5,2 м/с динамическая составляющая скорости изнашивания снизилась до 2,09 мкм на 1000 ч, а регулярная выросла до 9,05 мкм на 1000 ч. Такая закономерность объясняется поведением динамической составляющей касательной силы тяги. В целях снижения скорости изнашивания установлены гасители колебаний в системе регулирования скорости и ГММ двигателя. В результате скорость изнашивания верхнего компрессионного кольца в динамике снизилась: при скорости движения МТА 2,01 м/с до 10,08 мкм на 1000 ч; при скорости 5,2 м/с до 1,00 мкм на 1000 ч.

В.С. Епифанов, Д.А. Попов (МГАВТ) выступили с докладом «О применении antivибрационного соединения в судовом валопроводе». Для ослабления крутильных колебаний в пределах запретных зон и для резкого смещения последних на другие скоростные режимы в систему судового валопровода встраиваются специальные агрегаты. Эти агрегаты можно разделить на два вида: antivибраторы и демпферы. Данные агрегаты могут быть включены в систему либо параллельно, либо последовательно. В первом случае они выполняют только основную роль — борьбу с опасными колебаниями. Во втором же случае выполняются дополнительные функции соединения в процессе передачи энергии системы. Этого вида агрегаты являются antivибрационными или демпфирующими. В качестве данного

промежуточного соединения может быть использована муфта с прямоугольными пружинами, разработанная в МГАВТ. Муфта с прямоугольными пружинами относится к оборудованию для передачи крутящего момента от двигателей потребителю. Устройство содержит две полумуфты, четыре пружины, из которых две работают на сжатие, а две — на растяжение. На одной из полумуфт расположены ограничители, в которые при работе упираются пружины. В ненагруженном состоянии между пружинами и ограничителями имеется зазор. В зависимости от величины передаваемого крутящего момента между пружинами и ограничителями выбирается зазор, за счет чего изменяется жесткость пружин. Благодаря этому муфта обладает нелинейными свойствами. Пружины в полумуфте устанавливаются на пальцы в шахматном порядке. Это техническое решение позволяет уменьшить касательные напряжения в валопроводе, возникающие от неравномерности вращения и от крутильных колебаний.

А.М. Степанов, А.Ю. Ретюнских (МГАВТ; «ФАУ» Российский речной регистр) представили доклад «О факторах, влияющих на пожаровзрывобезопасность судовых СЭУ». Отмечено, что к возможным путям повышения пожаровзрывобезопасности на судах с энергоустановками на природном газе можно отнести: организационные меры; надежное и своевременное обнаружение малейших утечек газа; проектирование машинных и других помещений с учетом факторов, затрудняющих развитие цепной реакции взрыва; подбор добавок к природному газу (топливу), затрудняющих развитие цепной реакции взрыва; физико-химические воздействия на воздушную среду машинного и других помещений. Проанализированы преимущества и недостатки перечисленных путей повышения пожаровзрывобезопасности. Уточнение требований и норм Российского речного регистра с учетом этих путей и имеющегося опыта эксплуатации двигателей на природном газе позволит повысить пожаровзрывобезопасность судов с энергоустановками на природном газе.

М.А. Савельев, Ю.А. Заяц, Д.И. Насакин (РВВДКУ им. В.Ф. Маргелова. г. Рязань) выступили с докладом «Оптимизация энергетического баланса автомобиля применением электронного управления вспомогательной тормозной системой». Обобщение недостатков и основных принципов работы вспомогательных тормозных систем позволило разработать новую более совершенную систему с повышенной в 2–2,5 раза энергией торможения. При этом конструктивно система максимально унифицирована со штатными тормозными системами автомобиля и дополнительно включает в себя лишь пневматические электромагнитные воздушные клапаны двойного действия, расположенные в головках цилиндров, заслонку впускного патрубка, электронный блок управления с датчиками положения коленчатого вала и трубопроводы. Технический результат достигается применением электронного управления газообменом в процессе торможения двигателем. Разработанная система обладает следующими основными преимуществами. Повышение тормозного момента в 2–2,5 раза достигается при переводе двигателя в режим работы двухтактного компрессора, что уменьшает работу сжатого воздуха на тактах рабочего хода и впуска, а также создает про-

тиводавление на тактах сжатия и выпуска. Конструкция тормозного крана обеспечивает следящее действие за счет изменения проходного сечения пневматической секции. Улучшение условий торможения на льду, снеге, песке, спусках, в городских условиях повышает надежность и безопасность транспортного средства. При длительных спусках в горных условиях двигатель не переохлаждается вследствие осуществления теплообмена с ресивером, что увеличивает его ресурс и улучшает пусковые качества. При этом достигаются экономия топлива, снижение количества и токсичности ОГ, снижение затрат на замену тормозных накладок и барабанов.

М.А. Савельев, Ю.А. Заяц, А.Е. Рассохин (РВВДКУ им. В.Ф. Маргелова, г. Рязань) представили доклад «Направления улучшения показателей работы ДВС совершенствованием системы охлаждения». Отмечена актуальность оптимизации теплового баланса двигателей в условиях холодного климата, когда перепад температур способствует увеличению теплоотвода. Для сокращения потерь теплоты предлагается метод модернизации системы охлаждения, основанный на принципах управления рециркуляцией и теплоемкостью теплоносителя. Этот метод предполагает алгоритм управления по нескольким граничным условиям на следующих режимах. Режим № 1 — двигатель холодный и в рубашку системы охлаждения подается воздух из атмосферы, который циркулирует по замкнутому контуру (малому кругу). Граничное условие для перехода на режим 2 — достижение нормального температурного режима работы двигателя или допустимой температуры в критических областях. Режим № 2 — воздух в системе охлаждения перестает циркулировать по замкнутому контуру, холодный воздух поступает из атмосферы в рубашку охлаждения. Управление температурным режимом — через увеличение расхода воздуха из атмосферы воздушной заслонкой и изменение производительности насоса системы охлаждения. Граничное условие для перехода на режим № 3 — положение полного открытия воздушной заслонки и максимальная производительность насоса (продувка системы). Режим № 3 — включается в работу ультразвуковой испаритель на впуске воздуха в систему охлаждения, создавая двухфазную среду (воздух + аэрозоль воды), увеличивая тем самым теплоемкость теплоносителя. Управление температурным режимом — изменением производительности ультразвукового испарителя и насоса. Граничное условие для перехода на режим № 4 — максимальная производительность ультразвукового испарителя и насоса. Режим № 4 — заполнение системы водой из бака и работа в соответствии с режимом работы штатной жидкостной системы охлаждения. Режим № 5 — подготовка к останову двигателя. Переход на режим холостого хода, автоматический слив воды в бак и продувка системы. Преимущества предлагаемого метода: работа на режиме № 1 способствует более быстрому прогреву двигателя. На режиме № 2 теплота, отдаваемая в систему охлаждения, может использоваться для прогрева кабины, кузова, для разогрева мостов или коробки передач трансмиссии, подогрева воды в баке для обеспечения работы на режимах № 3 и № 4. На режиме № 3 рассматривается возможность подачи двухфазной среды в систему питания: за счет

паров воды достигается повышение мощности, снижение токсичности ОГ и уменьшение температур в КС.

Ю.А. Заяц, М.А. Савельев М.А. (РВВДКУ им. В.Ф. Маргелова. г. Рязань) выступили с докладом «Мониторинг режимов работы ДВС как способ прогнозирования их технического состояния». Принято предположение о том, что ДВС одних и тех же марок, типов при равных условиях эксплуатации и режимах работы будут иметь одинаковый ресурс. Отклонения в ресурсе будут вызваны отклонениями (допусками) структурных параметров и факторами, которые не учитываются (или которые невозможно учесть) при определении режимов работы и условий эксплуатации двигателя. В этом случае прогнозирование технического состояния, требуемых воздействий и остаточного ресурса может быть выполнено путем математической обработки параметров, поступающих с бортовых датчиков и характеризующих режимы работы и условия эксплуатации двигателя и транспортного средства в целом. Среди наиболее характерных режимов можно выделить следующие: работа двигателя под нагрузкой, работа двигателя под нагрузкой с включенным наддувом, режим пуска двигателя, режим работы на холостом ходу. Параметрами, характеризующими каждый из режимов, являются частота вращения коленчатого вала двигателя и нагрузка на двигатель, температура охлаждающей жидкости и масла, давление наддува двигателя. Все указанные параметры фиксируются штатными датчиками за исключением нагрузки двигателя, которая характеризуется максимальным значением крутящего момента на ВСХ. Температурный режим двигателя оценивается по температуре охлаждающей жидкости и температуре масла в системе смазки. Диапазоны изменения температуры на нагрузочных режимах отличаются от пусковых. Таким образом, решение задачи сбора информации о режимах работы ДВС на различных временных участках в совокупности с информацией об отказах и воздействиях с соответствующей порежимной наработкой, является основой для работы системы прогнозирования технического состояния ДВС.

В докладе А.А. Строкина (МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Особенности характеристик направленности шума ДВС» отмечено, что для объективной оценки шума машины в целях разработки шумозащитных мероприятий чаще всего используются следующие параметры — уровень звуковой мощности и показатель направленности. Измерение этих объективных параметров является трудоемкой задачей. Применительно к источникам шума ДВС наибольшей направленностью обладают системы впуска и особенно выпуска. Газовый импульс на выходе из выпускного патрубка создает начальное возмущение в спокойной атмосфере, которое затем, распространяясь в виде звуковой волны, попадает в произвольную точку пространства и воспринимается в этой точке как шум. Если разбить выходную область патрубка на элементы и представить их в виде набора элементарных излучателей звука, синхронно по отношению друг к другу излучающих звук в окружающую среду, то получим когерентные источники шума. Эти элементы имеют разные фазы распространения волн, что даст в итоге интерференционную картину звукового поля вокруг макроизлучателя. Таким

образом, интерференция является одной из основных причин появления направленности при излучении звука машиной. При этом оказываются важными также частоты, на которых происходит излучение. Показано, что «склонность к направленности» имеют высокочастотные излучатели. На средних и особенно на низких частотах «направленность» при расчетах шума ДВС можно не учитывать. Кроме того, при случайной, несогласованной генерации шума различными элементами машины (например элементами корпуса многоцилиндрового ДВС) когерентные источники отсутствуют, и направленность излучения у таких источников также можно не учитывать. Более того, если даже есть когерентные источники (и, следовательно, следует ожидать направленности звука), но машина излучает шум в низком и среднем диапазонах частот, то величиной показателя направленности в приближенных расчетах можно пренебречь. Это существенно упрощает расчет шума в контрольных точках и разработку соответствующих средств защиты от шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Теплотехника* / А.М. Архаров, А.Г. Кузнецов, В.И. Шатров и др. / под ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 792 с.
2. *Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А.* Системы топливоподачи и управления дизелей. М.: Легион-Автодата, 2005. 344 с.
3. *Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания* / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др. / под ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. М.: Машиностроение, 2013. 784 с.
4. *Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И.* Токсичность отработавших газов дизелей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.

Марков Владимир Анатольевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Шатров Виктор Иванович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИ энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Марков В.А., Шатров В.И. Перспективные направления совершенствования систем автоматического управления и регулирования теплоэнергетических установок // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 4. С. 121–141.

DOI: 10.18698/0236-3941-2016-4-121-141

PROMISING DIRECTIONS FOR IMPROVING AUTOMATED CONTROL AND ADJUSTMENT SYSTEMS IN THERMAL POWER PLANTS

V.A. Markov

vladimir.markov58@yandex.ru

V.I. Shatrov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Improving automated control and adjustment systems is first and foremost relevant for thermal power plants operating in a wide range of working conditions. Our analysis of the proceedings of the V.I. Krutov Russian scientific and technological conference that took place on January 25th 2017 (referring to session no. 92) formed the basis for our review of the trends in improving these systems. The objects of our study were control and adjustment systems of various thermal power plants, primarily those with piston internal combustion engines. We studied the possibilities these systems offer for solving problems of reducing exhaust gas toxicity and their effect on engine power characteristics, dynamic parameters and fuel efficiency. Based on our analysis of the reports presented, we assessed the current state of these systems and determined promising directions for their further improvement. We also consider primary research areas in the field of fuel injection equipment for internal combustion engines, their work cycles, and adapting engines to running on various alternative fuels

Keywords

Thermal power plants, internal combustion engines, diesel engines, automated control systems, automated adjustment systems

REFERENCES

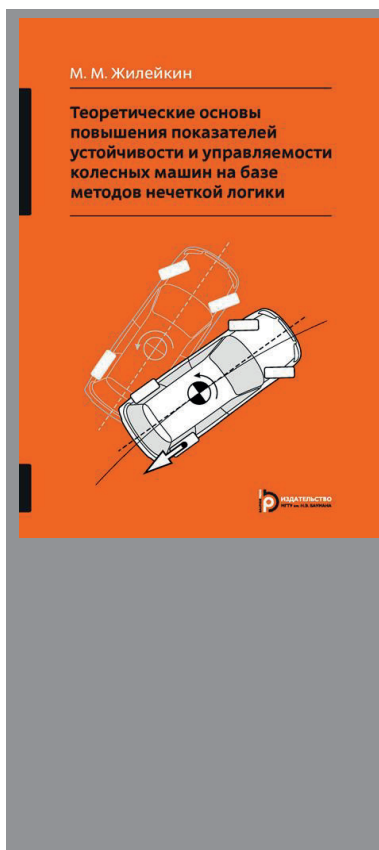
- [1] Arkharov A.M., Afanas'ev V.N., eds. Teplotekhnika [Heat Engineering]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 792 p.
- [2] Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. Sistemy toplivopodachi i upravleniya dizelej [Fuel system and engine control]. Moscow, Legion-Avtodata Publ., 2005. 344 p.
- [3] Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A., Aleksandrov A.A., Frolov K.V., eds. Mashinostroenie. Entsiklopediya T. IV. Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Mechanical Engineering. Encyclopedia. Vol. IV. Internal combustion engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2013. 784 p.
- [4] Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizelej [Toxicity of exhaust gases of diesel engines]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2002. 376 p.

Markov V.A. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of Piston Engines Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Shatrov V.I. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Scientist of Research Institute of Power Engineering, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Markov V.A., Shatrov V.I. Promising Directions for Improving Automated Control and Adjustment Systems in Thermal Power Plants. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana. Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2017, no. 4, pp. 121–141. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-4-121-141



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие автора

М.М. Жилейкина

**«Теоретические основы повышения
показателей устойчивости и управляемости
колесных машин на базе методов нечеткой
логики»**

Управляемость и устойчивость автомобиля являются важнейшими эксплуатационными свойствами и составляющими активной безопасности движения, оценке которых придается большое значение. Представлены результаты теоретических исследований, выполненных на кафедре «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Разработаны принципы повышения показателей устойчивости и управляемости как двухосных, так и многоосных колесных машин, оснащенных различными типами трансмиссий. Обоснованы принципиальные решения по способам управления движением машин, обеспечивающих повышение их курсовой и траекторной устойчивости. Предложены критерии оценки эффективности работы комплексной системы динамической стабилизации движения колесных машин. Разработаны алгоритмы работы системы динамической стабилизации с применением методов нечеткой логики для двухосных и многоосных колесных машин.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
+7 (499) 263-60-45
press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru