

УДК 621.436

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В.А. Марков, В.И. Шатров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: markov@power.bmstu.ru

Приведены основные направления совершенствования систем автоматического управления и регулирования теплоэнергетических установок, рассмотренные на заседании постоянно действующей Всероссийской научно-технической конференции имени профессора В.И. Крутова. Отмечено все возрастающее применение в тепловых двигателях электронных систем управления, построенных на базе современной микропроцессорной техники. Проанализировано влияние указанных систем на мощностные и динамические показатели двигателей, показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов. Результаты проведенного анализа позволяют оценить состояние развития этих систем, сделать вывод о перспективах их дальнейшего развития, а также определить приоритетные направления исследований в области топливоподающей аппаратуры, рабочего процесса двигателей, адаптации двигателей к работе на различных альтернативных топливах, включая газообразные топлива, в ряде других областей двигателестроения.

Ключевые слова: теплоэнергетические установки, тепловые двигатели, дизельные двигатели, системы автоматического управления, системы автоматического регулирования.

WAYS OF IMPROVING SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL AND REGULATION OF HEAT AND POWER PLANTS

V.A. Markov, V.I. Shatrov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: markov@power.bmstu.ru

The article describes the main ways of improving the systems of automatic control and regulation of heat and power plants. These ways of improvement were discussed at the meeting of the permanent All-Russian Science and Engineering Workshop named after V.I. Krutov. Ever-growing application of electronic control systems in heat engines is considered; these systems are built with the help of the modern microprocessor technology. The systems' impact on the power and dynamic characteristics of engines, fuel efficiency and exhaust toxicity characteristics is analyzed. The obtained results allow both evaluating the systems' development and defining the priority research areas in the fields of fuel-injection equipment, engine operating process, engines adaptation for consuming different alternative fuels, including gaseous ones, and in other fields of the engine technology.

Keywords: heat and power plants, heat engines, diesel engines, automatic control systems, automatic regulation systems.

Одними из наиболее значимых систем теплоэнергетических установок являются системы автоматического регулирования и управления

(САР и САУ). Они позволяют обеспечить согласование характеристик разнородных элементов и систем комбинированных тепловых двигателей, в частности двигателей внутреннего сгорания (ДВС), оптимизировать их совместную работу. Совершенствование САР и САУ позволяет удовлетворить все возрастающие требования к мощностным и динамическим показателям теплоэнергетических установок, показателям их топливной экономичности и экологическим характеристикам – выбросам вредных веществ с отработавшими газами (ОГ). Это обеспечивается за счет управления целой совокупностью параметров, характеризующих работу комбинированной теплоэнергетической установки. Как правило, современные САР и САУ построены на базе микропроцессорной техники, что обеспечивает гибкое адаптивное управление указанными параметрами.

Председательствующий на очередном заседании постоянно действующей Всероссийской научно-технической конференции имени профессора В.И. Крутова д-р техн. наук, профессор В.А. Марков (МГТУ им. Н.Э. Баумана) в своем выступлении отметил, что заседания Всероссийской научно-технической конференции по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок регулярно проводятся на протяжении уже 45 лет (первое заседание состоялось в 1970 г.). Отмечено значительное расширение тематики конференции за прошедший период. В настоящее время на заседаниях рассматривается широкий круг проблем в области САР и САУ различных тепловых двигателей, их топливоподающей аппаратуры, рабочего процесса двигателей, адаптации двигателей к работе на различных альтернативных топливах, включая газообразные топлива, в ряде других областей двигателестроения.

В докладе А.Г. Кузнецова, С.В. Харитонова, Д.С. Ворнычева (МГТУ им. Н.Э. Баумана) “Концепция разработки системы комплексного адаптивного управления дизельными двигателями” отмечено, что задачами систем управления дизелями становится не просто регулирование, а комплексная автоматизация и оптимизация режимов работы двигателя и энергетической установки в целом по выбранным критериям. Система управления осуществляет воздействие на параметры рабочего процесса, определяющие важнейшие топливно-экономические и экологические показатели двигателя. Среди этих параметров – цикловая подача топлива, угол опережения впрыскивания топлива (УОВТ), характеристика впрыскивания системы топливоподачи, давление наддува, температура и давление ОГ, расход газов через турбину, положение регулирующих органов системы воздухообеспечения, количество перепускаемых газов в системе рециркуляции ОГ, температура охлаждающей жидкости и др. Рассмотрены свойства комплексности, адаптивности, иерархической структуры, которыми должна

обладать система управления для реализации поставленных целей. Комплексность системы предусматривает регулирующие воздействия на параметры рабочего процесса. Существует два вида адаптации системы: адаптация в смысле установки значений регулируемых параметров в зависимости от режима работы двигателя и адаптации самой системы управления к различным режимам. Для реализации расширенных функций управления дизелем система должна иметь двухуровневую структуру построения. На уровне управления осуществляется задание режимов работы дизеля и определение настроек контуров регулирования по матрицам оптимизированных параметров и программам коррекции. Уровень регулирования содержит контуры регулирования параметров дизеля.

А.Г. Кузнецов, С.В. Харитонов, Д.С. Ворнычев, А.А. Сотников, Ш.З. Якупов (МГТУ им. Н.Э. Баумана) представили доклад “Структура системы комплексного адаптивного управления дизелем”. Показано, что система комплексного адаптивного управления дизелем (СКАУД) содержит набор контуров управления и регулирования отдельных систем двигателя. Каждая система является объектом управления или регулирования. В состав контура управления входят устройство управления дизелем, регулятор и регулирующий орган. Регулятор использует сигналы датчиков режимных параметров. Алгоритм работы регулятора реализован в программе контроллера. Выходным элементом регулятора является исполнительное устройство. Устройство управления, контроллер и датчики – это общие элементы СКАУД. Каждый контур управления или регулирования использует сигналы необходимых для него датчиков, а исполнительные устройства и регулирующие органы различны в каждом контуре управления конкретной системы двигателя. Для реализации задач управления комбинированными двигателями используются следующие замкнутые (с главной отрицательной обратной связью) и разомкнутые контуры регулирования: непосредственное управление с формированием вида характеристик системы дизеля (разомкнутый контур управления), управление со стабилизацией (замкнутый контур управления), программное регулирование без стабилизации (разомкнутый контур регулирования), программное регулирование со стабилизацией (замкнутый контур регулирования), коррекция регулируемого параметра (разомкнутый контур регулирования). Рассмотрены основные функции СКАУД для контуров регулирования параметров рабочего процесса в отдельных системах комбинированного двигателя, необходимые для реализации заданных алгоритмов управления.

В докладе И.В. Леонова, Н.Н. Барбашова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) “Управление машинного агрегата с ДВС по экономической характеристике” отмечено, что экономичность машинного агрегата (МА) является одной из важнейших его характеристик. Основные динамические и

экономические свойства МА закладываются в процессе проектирования при выборе таких параметров, как мощность двигателя и передаточное отношение передаточного механизма. Последующие расчеты по критериям прочности и долговечности, как правило, не влияют на динамические качества МА и расход энергии при эксплуатации, если при этом не происходит значительного увеличения подвижных масс. Особую сложность представляет проектирование машин с ДВС, так как этот тип двигателя может развивать одинаковую мощность при различных сочетаниях скоростного и нагрузочного режимов. В связи с этим для снижения расхода топлива на переходных режимах в условиях эксплуатации необходимо иметь математическую модель алгоритма управления ДВС по экономической характеристике. Проектирование ДВС проводится таким образом, что режим работы, указываемый как номинальный, не совпадает с его экономичным режимом. Номинальная мощность установленного в МА ДВС, как правило, выбирается исходя из необходимости сокращения времени разгона или для кратковременного приема пиковой нагрузки, поэтому она оказывается заведомо большей, чем это необходимо для работы на установившемся режиме. Таким образом, повышение экономичности (снижение расхода энергии) на установившихся режимах возможно за счет выбора оптимальной номинальной установленной мощности ДВС, т.е. за счет приближения установившегося режима работы к режиму минимального удельного расхода энергии. Управление ДВС при эксплуатации по экономической характеристике может служить значительным резервом повышения экономичности машины на переходных режимах, но алгоритм действия системы управления ДВС до сих пор не разработан. В качестве математического критерия экономичности при разработке алгоритма действия системы управления ДВС может быть принято отклонение параметров переходного режима от точки минимального расхода топлива, которое должно минимизироваться системой управления ДВС.

Н.Н. Патрахальцев, Р.О. Камышников, Д.С. Скрипник (РУДН) выступили с докладом “Регулирование дизеля изменением его рабочего объема”. Метод регулирования дизеля изменением его рабочего объема путем отключения части цилиндров или рабочих циклов известен как средство повышения экономичности и снижения токсичности ОГ дизеля на режимах малых нагрузок и холостых ходов. При реализации такого метода поддержание частоты вращения вала при изменении нагрузки происходит не только за счет изменения положения рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД), но и числа активных (находящихся в работе) цилиндров. Вследствие этого меняется и удельная работа двигателя. В результате проведенных исследований получены новые виды нагрузочных, регулировочных и регуляторных

характеристик, одним из параметров которых является удельная работа двигателя. Метод применим прежде всего для многоцилиндровых ДВС. Достижимое таким путем дискретное регулирование во многих случаях позволяет повысить динамические качества двигателя, сохранить в допустимых пределах нестабильность частоты вращения, уменьшить длительности переходных процессов наброса и сброса нагрузки.

В докладе Н.Н. Патрахальцева, И.А. Петруни, Р.О. Камышникова (РУДН) “Снижение путевого расхода топлива автомобильного дизеля, работающего с низким коэффициентом загрузки” предложена методика оценки путевого расхода топлива автомобилем с дизелем, регулируемым изменением рабочего объема при низких нагрузках. Существо методики заключается в следующем. При известной мощности, необходимой автомобилю для движения с данной постоянной скоростью, определяют соответствующие мощности полноразмерного дизеля, а также полные и удельные работы двигателя с отключаемыми цилиндрами. Эти зависимости наносят на универсальную характеристику и по параметрическим кривым удельных расходов определяют соответствующие удельные расходы топлива. При известной скорости автомобиля вычисляют и строят характеристики часовых и путевых расходов топлива. В результате могут быть получены рекомендации по законам “включения-выключения” цилиндров в целях получения максимальной экономичности. Расчетно-экспериментальный анализ показал, например, что при нагрузке полноразмерного дизеля типа ЯМЗ-238 порядка 10 %, отключая цилиндры до двух активных, можно снизить на 40. . . 50 % расход топлива. При нагрузках порядка 40. . . 50 % экономия топлива может составить около 7 %, причем при работе на четырех активных цилиндрах.

В докладе Н.Н. Патрахальцева, Э.А. Савастенко, Д.С. Скрипника (РУДН) “Возможности повышения экономичности режимов малых нагрузок бензинового двигателя методом отключения цилиндров” представлены результаты расчета изменения расходов топлива двигателем при отключении разного числа цилиндров при разных уровнях малых нагрузок с использованием многопараметровых характеристик V-образного восьмицилиндрового бензинового двигателя “Порше 928”. Проведено сравнение с опубликованными экспериментальными характеристиками полноразмерного двигателя и при выключении четырех цилиндров при работе с малой нагрузкой. Отмечено, что если расчетная методика показывает повышение на 20 % экономичности на данном режиме, то эксперимент — 12 %. Расчетный ожидаемый выигрыш в расходе топлива составлял 30 %, а по результатам эксперимента — 23 %. В целом расчетная методика постоянно дает завышенные примерно на 8. . . 10 % результаты по сравнению с экспериментом.

Н.Н. Патрахальцев, А.А. Савастенко, Т.С. Аношина, Р.О. Камышников (РУДН) представили доклад “Повышение экономических и экологических качеств транспортного дизеля при работе на режимах малых нагрузок и холостого хода”. Отмечено, что в современных условиях эксплуатации транспортных дизелей коэффициенты их загрузки снизились до 0,4...0,5, а автобусов городского назначения — до 0,2. Таким образом, доля режимов малых нагрузок и холостых ходов существенно возросла. Это приводит к повышенным удельным, часовым и путевым расходам топлива, ухудшению экологических характеристик дизеля. Одним из методов повышения экономических и экологических качеств дизелей в таких условиях является метод регулирования двигателя изменением его рабочего объема, что в простейшем случае достигается отключением части цилиндров. В докладе излагается существо методики расчетно-экспериментального определения выбросов основных токсичных компонентов с ОГ дизеля КамАЗ-7406 (8 ЧН 12/12) при применении метода отключения цилиндров. Методика основана на использовании экспериментальных универсальных характеристик дизеля по показателям экономичности и токсичности ОГ, перестроенных в показатели удельной работы дизеля при реализации данного режима. Показано, что методом отключения разного числа цилиндров дизеля КамАЗ на режимах малых нагрузок (менее 30 %) возможно уменьшение удельных выбросов оксидов азота на 10...30 %, а на повышенных частотах вращения — до 50...55 %; оксидов углерода — на 20...80 %, углеводородов — на 30...80 %. При этом снижение расходов топлива может составить 15...35 % по сравнению с расходом топлива полно-размерного дизеля на тех же режимах.

М.В. Тихомиров, Ю.Е. Хрящев (ЯГТУ) выступили с докладом “Комплекс алгоритмов для управления и диагностики дизеля”. Разработан комплекс алгоритмов управления дизельным двигателем с помощью электронной системы управления (ЭСУ), а также алгоритмов (программ) для управления, настройки и диагностики электронной системы. Осуществлена разработка диагностического комплекса ЭСУ. С помощью математического описания элементов ЭСУ частотой вращения дизеля осуществлен синтез САУ с использованием различных регуляторов (алгоритмов). Предложены новые алгоритмы управления автомобильным дизелем на основе модифицированного ПИД-регулятора. Поставленные задачи решались с использованием аппарата математической логики, методов системного анализа, теории управления, теории алгоритмов и структур данных, методов имитационного машинного моделирования, методов математического программирования, а также путем экспериментальных полунатурных и натурных испытаний.

В докладе Д.А. Епанешникова, Ю.Е. Хрящева (ЯГТУ) “Алгоритмы управления ДВС на основе искусственных нейронных сетей (ИНС)”

отмечено, что для конкретной системы управления ДВС определяется ее отклик на различные входные сигналы при различных значениях коэффициентов ПИД-регулятора. Полученный набор откликов в дальнейшем используется для определения коррекции коэффициентов при ручной настройке или для определения конкретного набора коэффициентов в зависимости от требуемого протекания переходного процесса. В соответствии с предлагаемым в работе алгоритмом настройки регулятора предполагается его синтезирование путем применения настроечных карт, полученных с помощью математической модели системы управления. Синтезированная ИНС, в свою очередь, используется как наблюдатель за процессом настройки, определяя необходимость коррекции коэффициентов. По результатам формирования настроечных карт подготавливаются данные для “тренировки” ИНС по методике, представленной на конференции в МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2014 г. ИНС формируется на базе библиотеки FANN. В качестве исходных данных для обучения применяется текстовый файл, содержащий обучающую выборку. Файл представляет собой строки с исходными данными, предшествующими строкам с требуемой реакцией ИНС. На следующем этапе с помощью ИНС проводится анализ образа переходного процесса, по результатам которого определяется необходимость изменения коэффициентов регулятора. При этом исходя из присвоенной переходному процессу оценки, проводится либо изменение соответствующих коэффициентов регулятора, либо значение коэффициентов меняется на величину “по умолчанию”, либо проводится выход из алгоритма без изменения коэффициентов.

С.В. Овчинников, О.Н. Соколов, С.Н. Тихомиров, В.А. Гуськов, Р.О. Антошин, Ю.Е. Хрящев (ООО “Электронная автоматика”, ОАО “Автодизель”, ЯГТУ) представили доклад “Резервные системы управления (PCY) транспортным дизелем”. Эти системы предназначены для резервирования основных электронных систем управления дизелем. Работоспособность PCY не зависит от штатных измерительных и управляющих элементов. Системы являются полностью автономными, и могут функционировать независимо от состояния штатной электронной системы управления. Перевод дизеля, оснащенного аккумуляторной топливopодающей системой, на работу под управлением PCY осуществляется со специального пульта и не требует вмешательства в другие его системы и механизмы, а дизеля, оснащенного традиционной электронно-управляемой топливopодающей системой, — поворотом специального рычага в кабине водителя. В первом случае PCY состоит из блока управления, распределителя, байпаса и пульта управления. При выключенной PCY сигналы открытия форсунок формируются в штатной системе управления, проходят через байпас PCY и управляют форсунками. При переводе на работу под управление

PCY байпас отключается. Электромагниты форсунок подключаются к блоку управления PCY. Во втором случае в качестве PCY используется обычный центробежный регулятор частоты вращения, который подключается водителем при отказе штатной ЭСУ.

С.В. Гусаков, И.В. Афанасьева, Мохсен Ахмадния, В.А. Марков (РУДН, МГТУ им. Н.Э. Баумана) выступили с докладом “Анализ алгоритма работы ДВС автомобиля с электромеханической трансмиссией”. Для оценки эффективности использования такой трансмиссии проведены расчетные исследования. При этом в качестве базового цикла, отражающего распределение режимов работы автомобильного двигателя, принято движение транспортного средства в соответствии с Европейским ездовым циклом NEDC (New European Driving Cycle). При оценке эффективности использования электромеханической трансмиссии в качестве базового автомобиля выбран автомобиль фирмы Volkswagen с механической пятиступенчатой коробкой переключения передач (КПП). В качестве силовой установки смоделирован дизель типа Volkswagen TDI модели ALH с турбонаддувом и рабочим объемом 1,9 л, имеющий номинальную мощность 66 кВт при частоте вращения 3750 мин⁻¹ и развивающий максимальный крутящий момент 210 Н·м при частоте вращения 1900 мин⁻¹. Для проведения численного эксперимента была разработана модифицированная программа оценки энергетического баланса. При расчетных исследованиях получены значения минимального путевого расхода в цикле NEDC. Они свидетельствуют о том, что при оптимальной регулировке двигателя автомобиля с электромеханической трансмиссией получен минимальный путевой расход топлива. По сравнению с механической пятиступенчатой КПП эта регулировка позволяет снизить на 19 % путевой расход топлива. Указанный расчет был проведен при КПД электрической трансмиссии, равном 0,95. Отмечено, что такая трансмиссия предполагает использование современных высокоэффективных электрогенератора и электродвигателя, связь между которыми осуществляет блок управления, использующий цифровое управление частотой и мощностью привода, что снижает потери в электрической части трансмиссии.

С.В. Гусаков, И.В. Афанасьева, Мохсен Ахмадния, В.А. Марков (РУДН, МГТУ им. Н.Э. Баумана) представили доклад “Оптимальное управление мощностью двигателя автомобиля, оборудованного электромеханической трансмиссией и силовым аккумулятором”. Отмечено, что при эксплуатации автомобиля в городских условиях целесообразна замена механических трансмиссий с механическими КПП электромеханическими трансмиссиями. Электромеханическая трансмиссия позволяет оптимизировать работу силовой установки в широком диапазоне эксплуатационных режимов, обеспечивая снижение путевого расхода топлива. Включение аккумулирующего энергию

элемента в электромеханическую трансмиссию позволяет в определенных пределах оптимизировать работу двигателя по нагрузке. Для проведения сравнительного анализа энергетического баланса автомобиля с механической и электромеханической трансмиссиями были проведены расчеты с использованием модернизированной программы. Исследован автомобильный дизель типа Volkswagen TDI модели ALH, описанный в предыдущем докладе. Реальные режимы работы двигателя моделировались ездовыми циклами. Наиболее популярные из них — европейский ездовой цикл NEDC, федеральная испытательная процедура США FTP-75 (Federal Test Procedure) и японский ездовой цикл JC08. Расчеты показали, что наименее эффективно двигатель используется в японском цикле, для которого характерен низкий уровень загрузки двигателя — средняя скорость автомобиля составляет всего 24,4 км/ч (по сравнению с 32,8 км/ч в европейском цикле и 34,2 км/ч в американском цикле). Основная задача оптимального управления мощностью двигателя состоит в том, чтобы ДВС как можно больше времени работал на режимах с минимальным удельным эффективным расходом топлива. Данные испытаний исследуемого автомобильного дизеля показали, что на режимах с малыми частотами вращения область минимальных расходов топлива обеспечивается при нагрузках, соответствующих среднему эффективному давлению 1,2...1,3 МПа. На режимах со средними и высокими частотами вращения эта область смещается в область более низких нагрузок (среднее эффективное давление порядка 1 МПа). Выбор скорости перехода с электрического привода на движение с помощью ДВС во многом определяется емкостью аккумулятора, которая должна быть выбрана такой, чтобы в наибольшей степени обеспечить работу двигателя в области минимальных удельных расходов топлива.

В докладе В.В. Фурмана (“ППП Дизельавтоматика”, г. Саратов) “Основные направления развития электронных систем управления и топливоподачи дизелей и газовых двигателей на “ППП Дизельавтоматика” обоснована необходимость реализации электронного управления топливоподачей в тепловозных дизелях, а также в двигателях автотракторного назначения. Рассмотрены системы управления топливоподачей с воздействием на дозирующую рейку ТНВД. Представлены конструкции разработанных для этих систем исполнительных устройств и их технические характеристики. Рассмотрены также системы управления топливоподачей с импульсной подачей топлива на дизеле. Работа этих систем построена на управлении дозирующим клапаном, установленным в надплунжерной полости насосной секции ТНВД. Описаны функции, реализуемые системой управления с импульсной подачей топлива. Приведены результаты безмоторных и моторных испытаний разработанных систем управления топливоподачей. Показана возможность улучшения показателей топливной

экономичности и токсичности ОГ дизелей при использовании разработанных систем управления. Отдельно рассмотрены системы управления топливopодачей, разработанные для газовых и газодизельных двигателей. Приведены конструкции газовых дозаторов и клапанов.

В докладе В.П. Антипина, Е.Н. Власова, М.Я. Дурманова (СПб. ГЛТУ) “Расход масла на угар и скорость изнашивания двигателя 4Ч 12/14 (СМД-18БН) при динамических нагрузках” отмечено, что ресурс двигателей лесопромышленных тракторов составляет 2000–2500 моточасов. Основной причиной повышенной скорости изнашивания пар трения в двигателях является запаздывание по фазе на -180° приращения давления масла в главной масляной магистрали (ГММ) от приращения динамической составляющей нагрузки. В целях снижения скорости изнашивания пар трения в ГММ двигателя был установлен пневмогидроаккумулятор (ПГА). В результате фазовое запаздывание приращения давления масла в ГММ уменьшилось до (-45°) . При этом расход масла на угар оставался без изменений — 580 г/ч, а скорость изнашивания компрессионного кольца снизилась от 27,92 до 19,80 мкм/10³ ч, вкладыша коренного подшипника — от 10,00 до 7,39 мкм/10³ ч. С установкой последовательно второго ПГА в ГММ приращение давления масла стало опережать по фазе на 45° приращение динамической составляющей нагрузки. В результате расход масла на угар увеличился с 580 до 840 г/ч.

В докладе Ю.Е. Драгана (Владимирский государственный гуманитарный университет) “Результаты экспериментальных исследований гидродинамических процессов в электрогидравлической форсунке” рассмотрены процессы, возникающие в электрогидравлической форсунке (ЭГФ) при подаче топлива. При испытаниях форсунка оснащена емкостными датчиками перемещений якоря электромагнитного клапана (ЭМК) и иглы распылителя. Одновременно с осциллограммами этих перемещений записывались показания датчика давления топлива в аккумуляторе, значения напряжения и тока на обмотке ЭМК. Расходы топлива через форсунку измерялись с помощью мерных стаканчиков стенда топливной аппаратуры. Установлена практически линейная зависимость цикловых подач от давления в аккумуляторе при различных длительностях открытия ЭМК. Влияние продолжительности открытия иглы распылителя ЭГФ на цикловые подачи характеризуется разбросом экспериментальных значений при существенной зависимости между этими параметрами. Коэффициент корреляции равен 0,731. Такой разброс объясняется широким диапазоном давлений в аккумуляторе и параметров управляющих импульсов при испытании. Особое внимание уделено процессам перемещения иглы распылителя ЭГФ и влиянию на эти перемещения разгрузки сжатой штанги, плунжера-мультипликатора запирающего и иглы распылителя. Подъем плунжера

вследствие разгрузки сжатой штанги вызывается падением давления в камере управления при открытом электромагнитном клапане. Это перемещение практически пропорционально давлению в аккумуляторе. По результатам анализа 59 осциллограмм, записанных при форсирующих напряжениях от 80 до 150 В, при давлениях в аккумуляторе от 30 до 80 МПа длительности открытия ЭМК от 0,3 до 1,0 мс получена следующая статистика: среднее значение времени от включения ЭМК до начала разгрузки штанги равно 431 мкс при стандартном отклонении 40,7 мкс, а до начала подъема иглы — 878 мкс при стандартном отклонении 57,6 мкс. Коэффициент корреляции между этими двумя массивами времени составляет 0,732. Это свидетельствует о достаточно тесной связи продолжительности времени до начала разгрузки штанги и продолжительности времени до начала подъема иглы распылителя. Установлено влияние давления топлива в аккумуляторе на величину цикловых подач и на кинематику иглы распылителя в зависимости от параметров управляющего электрического импульса.

В докладе В.Г. Камалтдинова, В.А. Маркова, С.С. Никифорова, В.И. Дайбова, Д.Р. Бакиева (ЮУрГУ, г. Челябинск, МГТУ им. Н.Э. Баумана) “Безмоторный топливный стенд для исследования параметров регулирования процесса впрыска системы топливоподачи аккумуляторного типа” отмечены проблемы, возникающие при экспериментальном исследовании топливных систем с повышенным давлением впрыскивания. Разработанный стенд предназначен для проведения испытаний топливной аппаратуры аккумуляторного типа для нового поколения высокофорсированных дизелей ЧН15/16 в целях исследования влияния параметров процесса впрыскивания топлива на процесс смесеобразования. Для реализации и имитации различных условий среды, в которую впрыскивается топливо, и визуального контроля процессов впрыскивания и распыливания стенд оборудован системами топливоподачи аккумуляторного типа с регулируемым давлением впрыска и электронным управлением его продолжительностью и числом впрысков. Стенд включает в себя также камеру постоянного объема, системы дозирования и подачи воздуха, продувки камеры постоянного объема, скоростной видеосъемки, подогрева и закрутки газозооушной смеси в камере постоянного объема и измерительный комплекс для регистрации давления и температуры в ней.

В докладе В.Г. Камалтдинова, Г.Д. Драгунова, И.О. Лысова (ЮУрГУ, г. Челябинск) “Модель рабочего цикла для определения рациональной характеристики выгорания топлива для высокофорсированного дизеля” приведено описание разработанной модели для расчета рабочего цикла высокофорсированного дизеля. Она включает в себя новую математическую модель процесса сгорания со сложным

законом выгорания топлива и уточненную методику расчета параметров рабочего тела переменной массы в цилиндре при тепло- и массообмене в течение всего цикла. Закон выгорания топлива описывается двумя функциями И.И. Вибе со своими независимыми параметрами. При этом задаются массы топлива, сгорающие в начальной и основной фазах. Подбор кинетических констант процесса сгорания и доли цикловой подачи топлива для каждой из фаз позволяет определять условия достижения требуемых параметров рабочего цикла форсированного дизеля, а также индикаторные показатели и максимальное давление в цилиндре. Полученный таким образом закон выгорания топлива можно взять за основу при форсировании дизелей с аккумуляторной системой топливоподачи для определения требуемого закона топливоподачи, регулирования давления впрыска и электронного управления числом и продолжительностью впрысков.

Доклад В.Г. Камалтдинова, Г.Д. Драгунова, А.Е. Попова, И.О. Лысова, А.А. Якубовского (ЮУрГУ, г. Челябинск) “Моторный стенд для испытаний работы газового двигателя на различных режимах” посвящен вопросам перевода бензинового двигателя на газовое топливо и созданию стенда для проведения его экспериментальных исследований. Стенд создан путем модернизации существующего моторного стенда австрийской фирмы AVL GMBH с двигателем ВАЗ-21124. Головка блока цилиндров этого двигателя дообработана для повышения до 12 степени сжатия и установки датчика давления в первом цилиндре. Для исследования возможностей работы на обедненных газовых смесях широкого состава стенд дополнительно оборудован системами подачи природного газа Digitronic, подогрева впускного воздуха, рециркуляции охлажденных ОГ, принудительного зажигания электроразрядом повышенной энергии. Содержание в ОГ токсичных компонентов (монооксида углерода CO, диоксида углерода CO₂, несгоревших углеводородов CН_x, оксидов азота NO_x) и коэффициент избытка воздуха (по содержанию кислорода) измеряются “Автотестом”.

Доклад В.С. Акимова, В.А. Маркова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) “Численное моделирование впрыскивания, распыливания и смесеобразования в дизеле” посвящен методике расчета рабочего процесса ДВС с использованием программного комплекса (ПК) ANSYS Fluent 14. Исследованы процессы впрыскивания, распыливания и смесеобразования как в традиционных дизелях, так и в двигателе Z-engine, разработанном Компанией AumetOy (Финляндия). В этом двигателе организован рабочий цикл HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition). Проведены моделирование, расчет и оптимизация рабочего процесса двигателя Z-engine. При предварительных расчетах с использованием ПК ДИЗЕЛЬ-ПК определены показатели двухцилиндрового двигателя Z-engine с воспламенением рабочей смеси от искры.

Исследован двигатель с размерностью 70/72, степенью сжатия 15, работающий на частичном нагрузочном режиме с мощностью 8,9 кВт при частоте вращения 1400 мин^{-1} . Мощность поршневого компрессора составила 1,37 кВт, давление на впуске 0,44 МПа, коэффициент избытка воздуха 2,3, его расход 0,014 кг/с, доля “внутренней” рециркуляции 31 %, УОВТ 67 градусов п.к.в. до ВМТ, его продолжительность 2,8 град п.к.в., давление впрыскивания 54,5 МПа, цикловая подача топлива 11 мг, его удельный эффективный расход 210 г/(кВт·ч), выброс оксидов азота 0,01 г/(кВт·ч). В двигателе Z-engine использованы штифтовые или клапанные форсунки. Смоделировано впрыскивание ДТ штифтовой форсункой, разделенное на два этапа: течение топлива в каналах распылителя и развитие струй топлива с испарением капель внутри цилиндра. Сначала определялись расходные параметры распылителя, характеристики турбулентности, толщина потока на выходе из распылителя, области, занятые паром, образовавшимся в процессе кавитации и области, занятые воздухом, проникающим из цилиндра в каналы распылителя. На втором этапе моделировался распад струи на капли. Проведен анализ факторов, влияющих на распыливание топлива (диаметр штифта форсунки, максимальное давление впрыскивания и его продолжительность, коэффициент сужения струи) в целях ограничения дальнобойности струи. Определено сочетание указанных факторов, обеспечивающих впрыскивание с максимальными скоростями, но уменьшенными массами, что дает возможность увеличить продолжительность впрыскивания, не допуская попадания топлива на стенки цилиндра.

В докладе В.А. Маркова, В.В. Фурмана, С.С. Лободы (МГТУ им. Н.Э. Баумана, “ППП Дизельавтоматика”, г. Саратов) “Моделирование рабочего процесса дизеля типа Д50 с системой электронного управления топливоподачей” представлены результаты расчета параметров тепловозного дизеля со штатной и опытной системами топливоподачи. Штатная система представляет собой разделенную систему топливоподачи с ТНВД, нагнетательными топливопроводами и многосопловыми форсунками. Опытная система содержит электронно-управляемые клапаны, установленные в надплунжерных полостях насосных секций ТНВД. Расчетные исследования проведены с использованием ПК ДИЗЕЛЬ-РК. В качестве исследуемого фактора принято изменение закона подачи топлива и характеристики давления впрыскивания при переходе от штатной системы с гидромеханической системой управления к опытной системе топливоподачи с системой электронного управления типа ЭСУВТ.01. При расчете рабочего процесса дизеля со штатной и опытной системами топливоподачи использованы законы подачи, полученные при расчетных исследованиях с использованием ПК ВПРЫСК для номинального режима с частотой вращения 750 мин^{-1} и цикловой подачей топлива

1,54 г. Расчеты показали, что установка на дизель опытной системы топливоподачи заметно улучшает показатели распыливания топлива и смесеобразования. Так, замена штатной системы на опытную позволила сократить продолжительность топливоподачи с 31,2 до 29,9 град. п.к.в., увеличить максимальное давление впрыскивания — от 924,8 до 1163,7 бара, уменьшить средний диаметр капель по Заутеру — с 25,89 до 23,23 мкм. При такой замене мощностные показатели дизеля практически не изменились (его эффективная мощность была равна соответственно 880,2 и 882,4 кВт), а эффективные показатели улучшились — удельный эффективный расход топлива снизился с 205,1 до 203,9 г/кВт·ч. При установке системы управления ЭСУВТ.01 дымность ОГ снизилась от 18 до 17% по шкале Хартриджа. Повышение эффективности сгорания дизеля с системой ЭСУВТ.01 привело к небольшому росту содержания в ОГ оксидов азота — при использовании штатной и опытной систем их концентрация в ОГ составила соответственно 1301 и 1322 ppm. Однако такой рост эмиссии с ОГ оксидов азота легко компенсируется при оптимизации значений УОВТ, которую реализует система ЭСУВТ.01. В целом расчеты подтвердили улучшение показателей дизеля Д50 при установке системы ЭСУВТ.01 за счет трансформации закона подачи топлива и увеличения давления впрыскивания. Однако улучшение названных показателей, обусловленное этими факторами, не очень значительное. Более значимым фактором является возможность реализации оптимизированных законов управления УОВТ, которую обеспечивает система ЭСУВТ.01. Реализация такого управления на дизеле Д50 с помощью системы ЭСУВТ.01 сократила удельный эффективный расход топлива на 3,5...17% на позициях контроллера от 0 до 3 и на 0,9% — на четвертой и пятой позициях контроллера при оптимальных значениях УОВТ по сравнению с серийной системой топливоподачи. На режимах холостого хода снижение частоты вращения до 250 мин⁻¹ позволяет снизить удельный эффективный расход топлива на 31,3% по сравнению с серийной системой (при частоте вращения холостого хода 300 мин⁻¹), а при снижении частоты вращения холостого хода до 220 мин⁻¹ — на 37%.

В докладе В.М. Фомина (Московский государственный машиностроительный университет “МАМИ”) “Повышение эффективности дизеля, работающего на биологических видах топлива” указано, что основная причина недостаточно широкого применения биотоплив в дизелях — несоответствие их свойств аналогичным свойствам нефтяного ДТ. Показана целесообразность работы дизеля на смесях ДТ и биотоплив, производимых из растительных масел, с добавкой водородного реагента. При оптимизации состава таких смесей использованы метод свертки и экспериментальные данные по тракторному

дизелю типа 4Ч10,5/12, работающему на ДТ, а также на его смесях с метиловым эфиром рапсового масла (МЭРМ). Установлено, что оптимальным является содержание МЭРМ в смеси с ДТ на уровне 35...45%. Однако при работе на топливе такого состава выбросы оксидов азота превышают их выбросы при работе на ДТ. Добавка водородного реагента в смесевое топливо позволяет инициировать процессы окисления углеводородных и биологических компонентов топлива. В итоге эмиссия вредных веществ (в первую очередь NO_x) уменьшается практически без повышения максимальных уровней температуры и давления в рабочем цикле. Обоснован необходимый объем водородосодержащего реагента в смесевом топливе, составляющий (по энергетическому эквиваленту) 1,6...1,8% химической энергии смесевого топлива. Таким образом, предложенный метод предполагает совокупное воздействие на показатели дизеля одновременно двух факторов — оптимизации состава смесевого топлива и применения водородного реагента. Генерирование водорода осуществляется на основе термokatалитического преобразования (конверсии) соединений с высоким содержанием водорода (например, метанола) в бортовом реакторе с использованием теплоты ОГ. Разработан опытный образец реактора для конверсии метанола — в штатную систему питания дизеля 4Ч10,5/12 встраивалась опытная система ввода и дозирования реагента. При работе дизеля на смесевом топливе с добавкой водорода интегральные за цикл удельные массовые выбросы токсичных компонентов уменьшились — выброс CO на 11,2%, выброс CH_x на 32,8%, выброс твердых частиц на 48% по сравнению с работой на ДТ. Причем при добавлении водорода выбросы NO_x снижались не только в дизеле, работающем на смесевом биотопливе, но и при работе на ДТ.

В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.А. Шумовский, В.С. Акимов (МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГАУ им. В.П. Горячкина) представили доклад “Работа дизеля типа Д-245.12С на эмульгированном топливе”. Для получения водотопливной эмульсии (ВТЭ) — смеси ДТ и воды авторами использовано эмульгирующее устройство, создающее электромагнитные колебания в смешиваемых жидкостях. Повышение стабильности эмульсий достигалось за счет добавления в ВТЭ эмульгатора — алкенилсукцинимид мочевины в количестве, не превышающем 0,5% (масс.). Испытания дизеля типа Д-245.12С (4ЧН 11/12,5) производства ММЗ показали, что при переходе от нефтяного ДТ на ВТЭ с содержанием воды 15,0% (об.) выброс NO_x снизился на 20...30%, а дымность ОГ — на 40...50%. Для определения параметров потока топлива в проточной части распылителей использован ПК ANSYS CFX 12.0. Исследовано стационарное течение топлива в проточной части серийного распылителя 145.1112110 форсунки типа ФДМ-22 дизеля Д-245.12С при его работе на нефтяном ДТ и ВТЭ, содержащей 85% ДТ и 15%

воды. В качестве расчетной области выбрана проточная часть между хвостовиком иглы и седлом распылителя при максимально поднятой игле. Давление топлива на входе в расчетную область было принято равным 51,5 МПа, расход топлива через распылитель принят равным 0,08 кг/с. Эти показатели соответствуют номинальному режиму работы дизеля при частоте вращения 2400 мин^{-1} и цикловой подаче топлива $q_{ц} = 80 \text{ мм}^3$. По полученным распределениям давлений, скоростей и турбулентной кинетической энергии потока отмечено, что существуют различия параметров потока топлива в распылителе при работе на исследуемых топливах, но эти различия незначительны. Наибольшая турбулизация струи ВТЭ наблюдается на выходе из распыливающего отверстия за счет возникновения “микровзрывов”, вызванных быстрым испарением капель воды из ВТЭ в условиях повышенных температур в камере сгорания дизеля.

В докладе В.А. Маркова, С.Н. Девянина, С.П. Шимченко (МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГАУ им. В.П. Горячкина) “Использование соевого масла в качестве топлива для дизелей” обоснована необходимость более широкого применения биотоплив в ДВС. Рассмотрена возможность конвертирования дизеля к работе на смесях нефтяного ДТ и соевого масла (СМ). Исследован дизель Д-245.12С, работающий на смесях ДТ с СМ. На первом этапе проведены испытания дизеля на чистом ДТ и на смеси 80 % ДТ и 20 % СМ (по объему) на режимах внешней скоростной характеристики (ВСХ). Из-за пониженной теплотворной способности СМ при использовании указанной смеси на большинстве режимов ВСХ удельный эффективный расход топлива оказался несколько выше, чем при работе на ДТ. В частности, при переходе с ДТ на смесевое биотопливо на режиме максимальной мощности с частотой вращения 2400 мин^{-1} удельный эффективный расход топлива увеличился с 248,4 до 253,0 г/кВт·ч, а на режиме максимального крутящего момента при 1500 мин^{-1} — с 226,2 до 232,2 г/кВт·ч. Эффективный КПД дизеля на этих режимах практически не изменялся. При работе на смеси отмечено также заметное уменьшение дымности ОГ. Так, на режиме максимальной мощности переход с ДТ на смесь 80 % ДТ и 20 % СМ сопровождался снижением дымности ОГ от 16 до 8 % по шкале Хартриджа, а на режиме максимального крутящего момента — от 43 до 27 % по шкале Хартриджа. Испытания дизеля Д-245.12С на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН показали, что переход с ДТ на смесевое биотопливо сопровождался снижением интегральных удельных массовых выбросов нормируемых токсичных компонентов ОГ. Так, выброс NO_x уменьшился с 7,018 до 5,683 г/кВт·ч — на 19 %, выброс СО — с 1,723 до 1,535 г/кВт·ч — на 10,9 %, выброс CH_x — с 0,788 до 0,715 г/кВт·ч — на 9,3 %.

В докладе В.А.Маркова, С.Н.Девянина, В.В.Бирюкова (МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГАУ им. В.П.Горячкина) “Этанол как экологическая добавка к нефтяному дизельному топливу” рассмотрены виды альтернативных топлив, получаемых из растительного сырья. Рассмотрена возможность использования безводного (абсолютного) этанола в качестве добавки к нефтяному ДТ. Этот спирт, практически не содержащий воды, хорошо смешивается с нефтяным ДТ с образованием стойких смесей. Был использован абсолютный спирт, произведенный ФГУП “Алексинский химический комбинат” (г.Алексин Тульской обл.) с соответствии с ТУ 2421-064-07506004–2003. Этот спирт смешивался с нефтяным ДТ в пропорции 96 % ДТ и 4 % этанола (по объему). Проведены испытания упомянутого выше дизеля Д-245.12С на чистом ДТ и на указанной смеси на режимах ВСХ. Отмечено, что при переходе с ДТ на смесевое биотопливо на режиме максимальной мощности с частотой вращения 2400 мин^{-1} удельный эффективный расход топлива увеличился с 248,4 до 250,0 г/кВт·ч, а на режиме максимального крутящего момента при 1500 мин^{-1} — с 226,2 до 229,0 г/кВт·ч. При этом эффективный КПД дизеля на этих режимах повысился на 0,5... 0,8 %. Вместе с тем добавка в ДТ этанола привела к заметному уменьшению дымности ОГ. Так, на режиме максимальной мощности переход с ДТ на смесевое биотопливо сопровождался снижением дымности ОГ с 16 до 12 % по шкале Хартриджа, а на режиме максимального крутящего момента — с 43,0 до 36,5 % по шкале Хартриджа. Исследования дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла Правил 49 ЕЭК ООН показали, что удельный массовый выброс NO_x снизился с 7,018 до 5,798 г/(кВт·ч), т.е. на 17,4 %, выброс CO возрос с 1,723 до 1,879 г/(кВт·ч), т.е. на 9 %, выброс CH_x увеличился с 0,788 до 0,856 г/(кВт·ч), т.е. на 8,6 %. Здесь следует отметить, что выбросы CO и CH_x эффективно снижаются установкой в выпускной системе двигателя каталитических нейтрализаторов.

В.А. Марков, В.И. Шатров, Е.Ф. Поздняков, В.Л. Трифонов (МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЗАО “Форант-Сервис”) выступили с докладом “Экспериментальный стенд газодизельного двигателя типа Д-243”. Этот стенд представляет собой дизель-генераторную установку, адаптированную к работе на природном газе, в которой в качестве первичного двигателя использован дизель типа Д-243 (4Ч 11/12,5) производства ММЗ. Основным топливом является природный газ, подаваемый через впускную систему двигателя и воспламеняемый от запальной дозы нефтяного ДТ. Номинальная приведенная мощность дизеля дизель-генераторной установки, адаптированной к работе на природном газе, составляет 36 кВт при частоте вращения 1500 мин^{-1} . При этом на номинальном режиме часовой расход природного газа составил 10,2 кг или $314,2 \text{ м}^3$. Регулятор дизеля поддерживает постоянство запальной

дозы ДТ на уровне 20 мм^3 . В результате при снижении нагрузки на дизель доля запального ДТ в общем расходе топлива увеличивается с 26,7% на режиме с полной нагрузкой (36 кВт) до 100% на режиме холостого хода. Дизель работает на режимах предельной регуляторной характеристики с наклоном (степенью неравномерности) 3,7%, формируемой регулятором при частоте вращения 1500 мин^{-1} . В состав дизель-генераторной установки входит также электрический генератор переменного тока типа ЕСО-ЕСР фирмы RINA (Италия). Вырабатываемая электроэнергия потребляется тремя тепловентиляторами, максимальная мощность каждого из которых составляет 12 кВт (эти тепловентиляторы могут также работать с электрической нагрузкой, равной 6 кВт). Стенд оснащен газоаналитической аппаратурой. Дымность ОГ измеряется с помощью дымомера “Инфракар Д1.01” предприятия “Западприбор” (Москва) с погрешностью измерения $\pm 1\%$. Концентрации в ОГ нормируемых токсичных компонентов — NO_x , СО и СН_x — определяются газоанализатором “Инфракар 5М-3.01” той же фирмы с погрешностями измерения указанных компонентов $\pm 1\%$. Для конвертирования дизеля Д-243 на природный газ был разработан ТНВД с системой регулирования подачи газа и ДТ. Эта система включает регулятор подачи ДТ, регулятор подачи природного газа и газоздушный смеситель, установленный во впускной системе газодизеля. Смешивание природного газа с воздухом происходит во впускном коллекторе, и газоздушная смесь поступает в цилиндры через впускные клапаны. Воспламенение этой смеси осуществляется в камере сгорания дизеля от запальной дозы ДТ. Таким образом реализуется схема газодизеля с внешним смесеобразованием (по природному газу).

В докладе П.Р. Вальехо Мальдонадо, В.А. Маркова, И.М. Шендеровского “Некоторые особенности детонации в цилиндре ДВС при высоких частотах вращения коленчатого вала” (Московский государственный машиностроительный университет “МАМИ”, МГТУ им. Н.Э. Баумана) отмечено, что повышение интенсивности турбулентных пульсаций в цилиндре ДВС с искровым зажиганием обуславливает усиление теплоотдачи в стенки камеры сгорания и делает неприменимой стандартную модель возникновения детонации в цилиндре (так называемая модель последней части заряда). На модельном уровне рассмотрен альтернативный механизм возникновения жесткого сгорания (стука), связанный с ускорением процесса выгорания глобул свежей топливоздушной смеси, захваченных турбулентными пульсациями продуктов сгорания.

А.М. Степанов (МГАВТ) сделал доклад “О возможностях снижения пожаровзрывоопасности на судах-газоходах”. Анализ применимости различных топлив в судовых дизелях показал, что природный газ на судах речного транспорта пока не нашел широкого распространения. Основная причина — окончательно нерешенные вопросы

безопасного использования газа в энергоустановках. Для повышения безопасности эксплуатации судов-газоходов рассмотрена возможность использования метода “меченых атомов” для сверххранного обнаружения утечек газообразного топлива. Известно, что в природном газе содержится радон, поэтому, имея простые надежные индикаторы радона, можно зафиксировать утечки газа меньшие, чем 10 г/год. Кроме того, при наличии искусственного источника радона появляются дополнительные возможности для уточнения характеристик и параметров судовых помещений и систем. Также появляется возможность применения радоновых датчиков для трассировки воздушных потоков во внутренних отсеках судна (машинном, криогенном и жилых помещениях) в целях локализации мест возможного скопления метана и мест повышенной турбулентности воздуха, а также в целях проверки герметичности судовой холодильной и других систем. Эти мероприятия должны снизить вероятность пожара и взрыва, а рациональный выбор формы основных помещений и покрытие внутренних стен специальным материалом позволит снизить вероятность развития цепной химической реакции взрыва.

Д.А. Попов (МГАВТ) выступил с докладом “О диагностировании крутильных колебаний судового валопровода”. Известно, что при резонансе крутильных колебаний валопровода интенсивность вибраций и шума возрастает. Это связано с тем, что с опрокидывающим моментом двигателя складывается опрокидывающий момент от крутильных колебаний. Момент от крутильных колебаний возникает из-за передачи энергии от кривошипа коленчатого вала шатуну, поэтому представляется возможной оценка крутильных колебаний силовой установки посредством измерений ее колебаний на упругих опорах. Для построения такой системы диагностирования необходимы данные о крутильно-колеблющейся системе, прибор для измерения параметров вибрации, программа обработки данных, штатные контрольно-измерительные приборы и устройство для ввода, обработки и хранения данных. На резонансных режимах работы двигателя необходимо провести спектральный и порядковый анализы параметров вибрации. Из сравнения порядкового анализа измеренных вибраций на различных режимах делается вывод о наличии резонанса крутильных колебаний. Разработанная в МГАВТ система диагностирования крутильных колебаний валопровода позволяет сделать вывод о работоспособности установки и проводить корректировку запретных зон частот вращения валопровода при отсутствии торсиографирования. Предполагается, что для снижения уровня крутильных колебаний может быть использована специальная муфта с прямоугольными пружинами.

В докладе С.М. Крутиева (МГАВТ) “Повышение мощности дизеля путем повышения концентрации кислорода на впуске” представлена

экспериментальная установка — двигатель типа 6Ч 18/22 “Хабаровец” с нагрузочным генератором и необходимой измерительной аппаратурой. Во впускной коллектор через понижающий редуктор подавали 90 %-ный кислород. Концентрацию кислорода на впуске контролировали датчиком. Температуру и давление на впуске контролировали термометром и вакуумметром. Двигатель работал по нагрузочной характеристике. Испытания проводились на режимах 25, 50, 75 и 100 %-ной мощности при концентрации кислорода 25 и 30 %. Полезный эффект измеряли по расходу топлива. Сделан вывод об эффективности подачи кислорода на впуск двигателя.

В докладе Е.В. Бебенина (Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова) “Эксплуатационные исследования тракторов К-700А и МТЗ-82.1 при работе по газодизельному циклу” рассмотрена разработанная система подачи газообразного топлива в газодизельном двигателе типа 8ЧН 13/14 трактора К-700А. Это система распределенной подачи газообразного топлива, работающая по эжекционному принципу, включает в себя датчики режимных параметров (положения топливной рейки ТНВД, частоты вращения коленчатого вала, температуры и давления газа), электронный блок управления и устройства управления циклами эжекционной подачи газообразного топлива в двигатель. Экологическая эффективность разработанной системы с распределенной подачей газа по эжекционному принципу превышает экологическую эффективность системы с центральной подачей газа типа СЭРГ-500. Установка этой системы позволяет снизить выбросы NO_x — на 50 %, CH_x — на 30 %, CO — на 10 %, дымность ОГ — на 15 %. Этот эффект получен за счет оптимизации процессов горения газообразного топлива. Сделан вывод о том, что оснащение дизеля предложенной системой позволяет значительно улучшить показатели токсичности ОГ и приблизить их к предельным значениям, регламентируемым стандартом ЕВРО 4.

А.А. Строкин, М.И. Кроленко (МГТУ им. Н.Э. Баумана) представили доклад “Методика расчета непостоянного шума ступенчатого характера”. Исследованы характеристики ожидаемого производственного шума (эквивалентного уровня звука) на рабочих местах в случае, когда шум оборудования имеет непостоянный характер и изменяется при этом ступенчато. Это типовой случай на производстве (например, оборудование в течение рабочей смены может включаться и выключаться многократно). Приведены примеры соответствующих расчетов. Исходными параметрами для расчетов являются паспортные шумовые характеристики оборудования и технологические режимы его работы. Таким образом, методика позволяет заранее, еще на стадии технологического проектирования, выбирать как само оборудование с необходимыми акустическими параметрами, так и корректировать режимы его работы. Использование представленной методики обеспечивает

соответствие шума на рабочих местах требованиям действующих санитарных норм.

Н.Д. Чайнов, А.В. Гуртовой (МГТУ им. Н.Э. Баумана) представили доклад “Оценка параметров двигателей внутреннего сгорания с переменной степенью сжатия”. Проведен анализ конструкций двигателей с переменной степенью сжатия. Рассмотрена возможность реализации изменяемой степени сжатия в дизеле типа ЯМЗ-238. Проанализированы характеристики этого двигателя и показана целесообразность оптимизации степени сжатия в соответствии с режимом работы двигателя. Разработан алгоритм регулирования степени сжатия в двигателе для фронтального погрузчика.

Статья поступила в редакцию 21.04.2014

Марков Владимир Анатольевич — д-р техн. наук, профессор кафедры “Теплофизика” МГТУ им. Н.Э. Баумана.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Markov V.A. — D.Sc. (Eng.), Professor, Department of Thermal Physics, Bauman Moscow State Technical University.
Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Шатров Виктор Иванович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Shatrov V.I. — Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, Head of Department Energy Engineering Research and Development Institute, Bauman Moscow State Technical University.
Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Марков В.А., Шатров В.И. Направления совершенствования систем автоматического управления и регулирования теплоэнергетических установок // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 5. С. 128–148.

Please cite this article in English as:

Markov V.A., Shatrov V.I. Ways of improving systems of automatic control and regulation of heat and power plants. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2015, no. 5, pp. 128–148.