

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

В МГТУ им. Н.Э. Баумана 30 января 2008 г. состоялось 83-е заседание Всероссийского научно-технического семинара (ВНТС) по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок, основанного В.И. Крутовым в 1970 г.

Председательствующий д-р техн. наук, проф. В.А. Толшин (МГАВТ) вступительное слово посвятил результатам исследований способов снижения вредных выбросов судовых энергоустановок. Экономически развитые страны тратят значительные средства на улучшение экологической обстановки. Так, например, в одном из регионов Канады с населением 7 млн человек годовые затраты на улучшение экологии в 2002 г. составили более 2 млрд долл. Обзор различных способов снижения вредных выбросов судовых энергоустановок показал, что к числу наиболее эффективных относятся введение усовершенствований непосредственно в двигатель, улучшение качества используемого топлива и использование устройств очистки отработавших газов (ОГ). К числу способов снижения эмиссии оксидов азота NO_x путем изменения конструкции дизеля относится известный способ уменьшения угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) с одновременным повышением степени сжатия. Для снижения эмиссии NO_x эффективны способы подачи воды в цилиндры двигателя, например увлажнение воздуха на впуске и подача водотопливных эмульсий. Среди других способов снижения эмиссии NO_x следует выделить снижение температуры воздуха на впуске, рециркуляцию ОГ и восстановление NO_x с помощью аммиака или мочевины в присутствии ванадия и других материалов. Последние два способа исследованы в МГАВТ, они эффективны и рентабельны. В ближайшем будущем ставится задача снижения суммарной эмиссии NO_x и твердых выбросов до 3 г/(кВт·ч) (не более).

Далее в соответствии с планом работ было заслушано 32 доклада.

“Особенности управления гибридными энергетическими установками автомобилей” — тема выступления Б.Я. Черняка и К.А. Морозова (ГТУ “МАДИ”). Основная цель внедрения комбинированных энергетических установок (КЭУ) — резкое снижение выбросов углекислого газа CO_2 с ОГ и расхода топлива. Для достижения этих целей, особенно в КЭУ с параллельным использованием электрической и механической энергий в приводе автомобиля, необходимо организовать оптимальное управление потоками энергии; ДВС должен работать только на высокоэкономичных режимах и иметь дополнительное управление рабочим процессом для повышения КПД. Избыток мощности ДВС поступает на привод генератора, а вырабатываемая электроэнергия запасается в аккумуляторе. Эта энергия расходуется на привод автомобиля при малых скоростях движения, пуск двигателя, привод вспомогательных систем и для улучшения динамики разгона автомобиля. Рекуперация энергии торможения увеличивает запас энергии в аккумуляторе и повышает экономичность КЭУ. При этом управление должно обеспечить определенный баланс энергии, запасаемой в аккумуляторе.

А.Б. Смирнов (ГТУ “МАДИ”) выступил с докладом “Применение современных программных аппаратных средств при разработке и реализации нейросетевых алгоритмов управления”. Разработка нейросетевых алгоритмов управления двигателем — это сложный и довольно длительный процесс, состоящий из многих этапов. Одним из возможных способов ускорения процесса отработки нейросетевых алгоритмов является применение интегральных сред, реализующих все этапы процесса в виде непрерывного единого цикла. Примером такой среды является математический пакет MATLAB и его приложения. Динамическую модель нейросетевого алгоритма управления можно реализовать на основе приложения SIMULINK. Нейросетевую структуру возможно быстро сформировать с помощью готовых функций-конструкторов, поставляемых с приложением NEURAL

NETWORKS TOOLBOX, а для настройки параметров нейронной сети можно применить оптимизационные процедуры 0-го, 1-го и 2-го порядков, программно реализованные в приложении OPTIMIZATION TOOLBOX. Расчетные эксперименты очень удобно проводить на основе среды SIMULINK, которая позволяет: исследовать совместную работу нейросетового алгоритма управления и модели двигателя; загружать экспериментальные данные непосредственно в процессе проведения расчетного эксперимента; наблюдать за изменением любого параметра как самой нейросетовой модели управления, так и модели двигателя, что в условиях проведения реального моторного испытания часто практически невозможно реализовать; автоматически генерировать программный модуль нейросетового алгоритма управления для широко применяемых в автомобильной промышленности микроконтроллеров фирмы INFINEON, что возможно при совместном использовании таких приложений, как REAL-TIME WORKSHOP и LINK FOR TASKING. В этом случае можно отлаживать генерированный программный модуль также в среде SIMULINK, однако основное преимущество заключается в том, что модель обрабатывается точно так же, как и в реальном микроконтроллере, и имеется возможность оценить использование его вычислительных ресурсов и памяти. На заключительном этапе возможно использование MATLAB для автоматизированной настройки параметров нейросетовой модели управления через программу калибровки, которая имеет динамическую программную связь с электронным блоком управления. Отмечается, что применение интегральных сред, обеспечивающих полный цикл разработки нейросетовых алгоритмов управления, может значительно сократить время их внедрения в промышленно выпускаемые электронные системы управления.

“Динамическая модель энергетической установки тепловоза” — тема выступления А.Г. Кузнецова (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Представленная математическая модель разработана для полунатурного моделирования работы энергетической установки, обмен информацией между натурной и модельной частями стенда происходит в реальном времени с периодом, продолжительность которого порядка миллисекунд. Для полунатурного моделирования необходима “быстрая” динамическая модель энергетической установки и самого дизеля как ее основного элемента. Такая модель должна адекватно реальному дизелю имитировать динамические режимы, в частности переходные процессы системы управления. Параметры рабочего процесса, входящие в правые части дифференциальных уравнений, разделены на группы. Первую составляют исходные данные, вторую — параметры, которые для достижения высокой скорости расчета определены заранее в виде функциональных зависимостей от первичных параметров. Наибольшие трудности при составлении “быстрой” динамической модели вызывает правильное задание определяемых параметров (2-я группа) от первичных. В соответствии с теорией рабочих процессов дизеля и турбокомпрессора был проведен анализ связей между параметрами и выявлены необходимые зависимости. Такие зависимости, с одной стороны, должны отражать физику рабочих процессов, а с другой стороны, быть удобными для математического описания. Универсальные характеристики турбины и компрессора содержат достаточно данных для описания параметров рабочего процесса турбокомпрессора в форме полиномов. Для получения аналогичных данных по дизелю требуется проведение специальных исследований с независимым подводом воздуха. Необходимая для построения полиномов информация может быть получена расчетным путем с использованием программ расчета рабочего процесса. Предложенная методика была использована при создании “быстрой” динамической модели тепловозного дизеля.

А.Г. Кузнецов и В.Л. Грифонов (МГТУ им. Н.Э. Баумана) посвятили свое выступление разработке стенда для полунатурного моделирования систем управления двигателями. При создании такого стенда необходимо решить ряд задач: разработать математическую модель, имитирующую динамические режимы энергетической установки с дизелем в реальном времени; разработать устройство сопряжения натурной и модельной частей стенда; подготовить набор программных средств, обеспечивающих вычислительный процесс, управление режимами работы стенда и отображение результатов моделирования. Основной особенностью работы стенда является обмен информацией между натурной и модельной частями стенда в реальном времени. Периодичность обмена задается контроллером. В связи с этим для имитации работы энергетической установки в переходных процессах необходима “быстрая” динамическая модель (см. предыдущий доклад). Стенд

полунатурного моделирования наряду с натурной частью включает один или два компьютера и устройство сопряжения натурной и модельной частей стенда. Компьютерная часть содержит модель энергетической установки, а также средства оперативного управления процессом моделирования и отображения его результатов. Устройство сопряжения преобразует коды сигналов датчиков на выходе модели в физическую форму, воспринимаемую контроллером, и осуществляет обратное преобразование регулирующих сигналов на выходе контроллера из физической формы в коды. Сигналы, участвующие в обмене, являются аналоговыми по току и напряжению (близкими к гармоническим) и импульсными. Устройство сопряжения может быть реализовано на базе однокристалльной микроЭВМ и должно содержать каналы преобразования сигналов. Для быстрого обмена информацией в реальном времени модель энергетической установки может быть включена в программу микроЭВМ устройства сопряжения. Изложенные подходы использованы при разработке стенда полунатурного моделирования энергетической установки тепловоза с дизелем.

В докладе А.Г. Кузнецова и Е.А. Лиходеда (МГТУ им. Н.Э. Баумана) рассмотрены вопросы описания статических характеристик рабочего процесса комбинированного двигателя полиномами. Расчет параметров рабочего процесса дизеля в переходных процессах при полунатурном моделировании проводился по динамической модели. Время расчета должно быть настолько малым, чтобы обеспечивался обмен сигналами между натурной и модельной частями стенда в реальном времени. В связи с этим возникает задача предварительной подготовки функциональных зависимостей между параметрами рабочего процесса, использование которых в модели позволит существенно сократить время расчета динамических режимов дизеля. Были выбраны определяемые по предварительно заданным зависимостям параметры рабочего процесса и их связи с первичными параметрами. Необходимо задать следующие зависимости. Для дизеля: индикаторный КПД, коэффициент наполнения, цикловую подачу топлива, температуру ОГ, момент сопротивления внутренних потерь, момент нагрузки. Для турбокомпрессора: адиабатный КПД компрессора, эффективный КПД турбины, расход воздуха через компрессор, расход ОГ через турбину. В основном, эти зависимости имеют вид функций двух переменных (кроме температуры ОГ — функции трех переменных) и представляют собой гладкие поверхности с одним экстремумом (при его наличии) и могут быть описаны полиномами с помощью метода наименьших квадратов. Подбор вида полиномов осуществлялся по критерию высокой точности приближения при возможно более простой структуре полиномов. Полиномы должны правильно описывать зависимости между параметрами рабочего процесса не только в области исходных данных (интерполяция), но и за ее пределами (экстраполяция). Повышение степени полиномов приводит в ряде случаев к резкому изменению описываемых параметров в зонах, примыкающих к заданной области исходных данных, что не соответствует закономерностям рабочего процесса. Для использования могут быть приняты только такие полиномы, для которых резкие изменения параметров находятся вне зоны возможных значений этих параметров, соответствующих динамическим режимам. Полиномы, описывающие связи между параметрами рабочего процесса, были получены для динамической модели тепловозного дизеля 16ЧН26/26.

Ю.Е. Хрящев, С.В. Овчинников, М.В. Тихомиров, С.Н. Тихомиров, А.П. Кузнецов, А.А. Третьяков (ЯГТУ, ОАО “ЯЗДА”) посвятили свой доклад рассмотрению комплекса аппаратуры для сопровождения настройки ТНВД типа “Компакт-40” с ЭСУ-1А двигателями типа ЯМЗ автомобилями типа МАЗ, АЗ “Урал”, КраЗ, ЛиАЗ и других в производстве и сервисном обслуживании. Комплекс включает блок настройки насоса (БНН), блок настройки двигателя (БНД-2), диагностический комплекс (ДК-2), блок сервисной настройки (БНС), пульс управления (ПУ-2), блок обкатки насоса (БНО). Комплекс аппаратуры унифицирован как в аппаратной части, так и в программном обеспечении. БНС, БНН и БНО встроены в технологический процесс сборки, настройки и испытаний серийных ТНВД и двигателей. Разработан критерий контроля устойчивости холостого хода двигателя по косвенным признакам во время обкатки ТНВД. Представлена оригинальная система контроля качества сборки и настройки топливной аппаратуры (ТА) по косвенным признакам отклонений от теоретически обоснованного критерия подвижности рейки ТНВД и топливopодачи.

В докладе Ю.Е. Хрящева и А.В. Федорова (ЯГТУ, ОАО “ЯЗДА”) рассмотрены особенности управления холостым ходом дизеля с помощью электронной системы управления ЭСУ-1. Эта система, внедренная на дизелях ЯМЗ, не имеет специальных алгоритмов управления холостым ходом дизеля как режимом, на котором труднее всего обеспечить устойчивость. Вместе с тем, ЭСУ-1 — адаптивная система, коэффициенты которой при пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих обоих каскадов ПИД-регуляторов назначаются автоматически в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов. Однако устойчивость холостого хода зависит от всех составляющих системы, в том числе и ТА, рассматриваемой в качестве исполнительного механизма ЭСУ. Проведенный анализ динамики системы на режиме холостого хода выявил совокупность конструктивных и технологических факторов, влияющих на устойчивость холостого хода. Выработан комплекс мер, внедренных в серийное производство.

Группа авторов — В.А. Марков, В.И. Шатров, Е.Е. Полухин, М.И. Шленов, А.В. Микитенко (МГТУ им. Н.Э. Баумана) — представила доклад “Моделирование переходных процессов дизеля с системой регулирования угла опережения впрыскивания топлива”. Оценка влияния закона регулирования УОВТ на динамические показатели транспортного дизеля и показатели токсичности его ОГ в переходных процессах проведена с использованием разработанной математической модели системы автоматического регулирования (САР). Параметры, входящие в правые части уравнений системы, заданы в виде полиномиальных зависимостей от частоты вращения вала двигателя и ротора турбокомпрессора, давлений наддувочного воздуха и ОГ, положения дозирующей рейки ТНВД. При расчетных исследованиях использованы дополнительные функциональные зависимости концентраций в ОГ оксидов азота C_{NO_x} , монооксида углерода C_{CO} , углеводородов C_{CH_x} и дымности ОГ K_x от частоты вращения двигателя, положения дозирующей рейки, давления наддувочного воздуха и УОВТ. Эта система уравнений дополнена уравнениями электронного регулятора частоты вращения. Для расчета указанных полиномиальных зависимостей разработана программа аппроксимации экспериментальных данных полиномиальными зависимостями. Для расчета переходного процесса разгона дизеля разработана программа, написанная на языке FORTRAN. Проведен расчет переходного процесса разгона дизеля типа Д-245 (4 ЧН 11/12,5) от исходного режима с $h_p = 1,50$ мм при $\omega_d = 115$ с⁻¹ до номинального режима с $h_p = 5,75$ мм при $\omega_d = 240$ с⁻¹ при постоянной настройке потребителя. Этот переходный процесс исследовался при различных законах регулирования УОВТ. Показано, что исследуемые законы регулирования УОВТ не оказывают существенного влияния на динамические свойства дизеля. Время переходного процесса разгона дизеля составило $t_n = 8$ с при допустимой нестабильности частоты вращения $\omega_\varepsilon = 1,5$ %. Вместе с тем, закон регулирования УОВТ заметно влияет на показатели токсичности ОГ дизеля — C_{NO_x} , C_{CO} , C_{CH_x} и K_x . Наименьшие концентрации в ОГ продуктов неполного сгорания топлива (C_{CO} , C_{CH_x} , K_x) отмечены при разгоне дизеля с наибольшим постоянным УОВТ $\theta = 16^\circ$ п.к.в. до ВМТ. Однако при таком разгоне имеет место повышенное содержание в ОГ оксидов азота NO_x .

Доклад Н.Н. Патрахальцева, А.А. Савастенко, М.В. Кузнецова (РУДН) посвящен корректированию частичных скоростных характеристик дизеля в целях повышения устойчивости режима и стабильности частоты вращения коленчатого вала. Протекание частичных скоростных характеристик дизеля в большинстве случаев не обеспечивает стабильной, устойчивой работы двигателя с потребителем без соответствующего управления дизелем на этих режимах. Этот недостаток определяется ростом нестабильности и неравномерности подачи топлива, снижением корректирующей способности ТА при уменьшении нагрузки. В работе показано, что применением методов стабилизации процессов топливоподачи, метода регулирования дизеля отключением–включением цилиндров или циклов удается провести корректирование частичных характеристик, повысить стабильность и равномерность частоты вращения, увеличить устойчивость режима при частичной нагрузке. Для реализации такого метода разработан элемент, встраиваемый в штатную топливную систему, обеспечивающий создание повышенного и стабильного начального давления топлива, интенсификацию впрыскивания и отключение отдельных циклов топливоподачи.

“Регулирование эффективности пуска–разгона холодного дизеля при низких температурах окружающего воздуха” — тема выступления Н.Н. Патрахальцева, И.А. Соболева,

Е.Л. Силина (РУДН). Даже при использовании достаточно мощных источников предпусковой прокрутки вала дизеля остается проблема обеспечения первых вспышек в цилиндрах, устойчивого разгона дизеля. Для обеспечения надежного воспламенения пусковой смеси в предлагаемой работе применен ввод внутрь цилиндра легко воспламеняющейся жидкости (ЛВЖ “Холод Д-40”) в смеси со штатным дизельным топливом. Для исключения возможности неустойчивого пуска дизеля применен метод регулирования интенсивности разгона двигателя путем выключения–включения части цилиндров или циклов двигателя. Приведенные результаты экспериментальных исследований получены при исследовании дизелей типов КамАЗ-7405 и Д-240 в морозильных камерах НТЦ АО “КамАЗ” и ММЗ.

Е.Ф. Поздняков (ОАО “Форант.Сервис”, г. Ногинск) представил доклад “Частотно-фазовое регулирование частоты вращения дизель-генератора”. Для улучшения характеристик статического регулятора частоты вращения для электроагрегатов предлагается организовать в системе регулирования частоты вращения двигателя дополнительную обратную связь по рассогласованию фаз колебаний частоты вращения регулируемого двигателя и задающего генератора стабильной частоты. В качестве датчика фазы электроагрегата могут использоваться как датчик частоты вращения двигателя, так и выходное напряжение генератора. Задатчиком фазы может быть электронный генератор стабильной частоты, встроенный в регулятор частоты вращения. При этом выделенный сигнал сдвига фаз $\Delta\phi$ является интегральным; т.е. он вводится в статический регулятор как дополнительная обратная связь, обеспечивающая астатизм регулирования. При больших рассогласованиях заданной и фактической частот вращения основным сигналом на выходе регулятора является сигнал ошибки, сформированный статическим регулятором. При выходе двигателя на заданную частоту сигнал фазового регулятора перестает быть периодическим и обеспечивает изменение сигнала управления от 0 до 100 %. Введение обратной связи по фазе позволяет сформировать астатическую характеристику регулирования. Это обеспечивает более качественный переходный процесс; возможность параллельной работы в сети двух или нескольких электроагрегатов, имеющих астатические характеристики; равномерное распределение нагрузки при работе электроагрегатов в сети, а также не требует наличия синхронизаторов для включения двух электроагрегатов в сеть, затрат времени оператора на синхронизацию частот и сведения фаз напряжения сети и ЭДС подключаемого электроагрегата при подготовке включения электроагрегатов в параллельную работу.

В докладе В.И. Толщина, Р.Н. Романова, И.Б. Косыгина (МГАВТ) представлены результаты экспериментальных исследований по увлажнению воздуха на впуске дизеля ДГР 18/22. Авторами был спроектирован стенд на базе двигателя 6Ч18/22 без наддува для предварительной оценки эффективности снижения выбросов оксидов азота NO_x методом увлажнения воздуха, поступающего в двигатель через специальную форсунку. Эксперимент проводился при работе двигателя по нагрузочной характеристике. В ходе эксперимента были получены следующие данные: выбросы NO_x на эксплуатационных нагрузках дизеля уменьшились на 10 % при незначительном изменении расхода топлива (в отличие от ряда способов, которые приводят к увеличению расхода топлива). В качестве недостатка данного эксперимента следует отметить повышенный расход воды, примерно равный расходу топлива, что значительно выше расходов воды в аналогичных исследованиях, проведенных за рубежом.

Пути применения сжиженного газа на судовых дизелях рассмотрены в докладе В.И. Толщина и В.С. Епифанова (МГАВТ). Отмечен повышенный интерес к использованию сжиженного природного газа в судостроении. Признано целесообразным сохранение природного газа на судах в жидкой фазе и использование его паровой фазы для питания судовых энергетических установок (СЭУ). В существующих СЭУ сжиженный природный газ хранится в двух (и более) цилиндрических криогенных емкостях. Вопросы безопасного использования природного газа на судах морского и прибрежного плавания продолжают усиленно прорабатываться компаниями — производителями СЭУ в Норвегии. Приведены примеры успешно реализованных преимуществ этой технологии. Изложены условия, сопутствующие успешному применению природного газа для питания СЭУ речных судов.

С.В. Гусаков, А.М. Довольнов, И.В. Епифанов (РУДН) выступили с докладом “Концентрационные пределы горения гомогенных смесей в условиях двигателя с НСЦИ процессом”. Для расширения пределов горения (в сторону бедных смесей) можно использовать различные методы. Например, если каким-либо образом подвести дополнительную теплоту в зону подогрева извне, то затухания можно избежать. Примером может служить концепция циркуляции теплоты без одновременного разбавления. Ее суть заключается в подъеме температуры в зоне реакции за счет рециркуляции теплоты от продуктов сгорания перед их выходом из системы. Повысить стабильность горения бедных смесей можно гомогенизацией смеси, испаряя топливо, например применив С-процесс, предложенный Ю.Б. Свиридовым. Использование в качестве источника зажигания факела горячей богатой смеси, поступающей из вспомогательной камеры и насыщенной активными радикалами, обогащенной водородом и оксидом углерода, позволяет существенно расширить границы устойчивого горения в область бедных смесей сгорания в форкамерно-факельных двигателях. Однако в настоящее время не просматриваются перспективы создания рабочего процесса с гомогенным зарядом и принудительным зажиганием, в котором во всем диапазоне изменения нагрузок можно было бы отказаться от дроссельной заслонки, полностью перейдя на более эффективное качественное регулирование. Это относится и к перспективным альтернативным топливам, среди которых рассматривается биогаз. Выходом из этой ситуации является использование нового рабочего процесса с воспламенением гомогенного заряда от сжатия (в зарубежной литературе обозначаемого как НСЦИ). Проведенные экспериментальные исследования показывают, что при работе на топливе с высокой удельной теплотой сгорания, например природном газе, диапазон рабочих режимов НСЦИ двигателя при качественном регулировании простирается до значений $\alpha = 5 \dots 6$. Для анализа возможности организации НСЦИ на биогазе были проведены расчеты с применением модели детального кинетического механизма окисления смеси метана с диоксидом углерода, были определены условия ее воспламенения вблизи ВМТ при различных коэффициентах избытка воздуха ($\alpha = 2 \dots 6$) и биогазе различного состава (содержание метана 50...70%).

Доклад В.И. Ерохова и А.М. Ревонченкова (МГТУ “МАМИ”) посвящен совершенствованию системы управления высокоэнергетическим источником воспламенения рабочей смеси транспортного двигателя. Разработана лазерная система зажигания, состоящая из блока управления, лазерных и лазерно-искровых свечей зажигания. Для решения задачи повышения эффективности воспламенения горячей смеси предложено в рабочей смеси в конце такта сжатия создавать энергетическим импульсом отдельного лазерного источника нагретую область (активную зону воспламенения) определенной конфигурации. Предложенный метод организации воспламенения рабочей смеси увеличивает на 5...6% индикаторный КПД, снижает на 6...8% удельный расход топлива и на 20...25% суммарную токсичность. Его применение обеспечивает выполнение норм EURO-3, а в перспективе — более жестких норм EURO-4. Испытания системы проведены на автомобиле ВАЗ 21108, с двигателем размерности 8,25/8,4 со степенью сжатия $\varepsilon = 10,5$. В экспериментальной установке для зажигания горячей смеси использована лазерно-искровая свеча с полупроводниковым лазером отечественного производства. Сфокусированный луч лазера через кварцевое окно, выполненное в свече зажигания, направляется в область ее искрового зазора. Для регистрации фактов воспламенения рядом с первой свечой установлена аналогичная свеча со снятым полупроводниковым лазером и установленным вместо него фотодиодом. Устройство регистрации срабатывает только тогда, когда уровень сигнала с фотодиода превышает некоторый порог, установленный для факта воспламенения. Обоснована и экспериментально подтверждена методика создания перспективной лазерной системы зажигания для двигателя с принудительным воспламенением. Расход топлива в городском цикле составил 9 л/100 км, а при скорости 90 и 120 км/ч — соответственно 5,9 и 7,5 л/100 км. Концентрации вредных веществ в ОГ составили: CO — 0,2% при норме 1,5%, CH_x — 0,03% при норме 0,12%. Содержание в ОГ вредных веществ при частоте вращения двигателя, равной 0,6 от номинальной, следующее: CO — 0,15%, при норме 2,0%, CH_x — 0,015% при норме 0,06%.

Проблемам совершенствования современных систем топливоподдачи газового двигателя было посвящено выступление В.И. Ерохова, А.М. Ревонченкова, П.А. Бузина (МГТУ “МАМИ”). Авторами разработаны теоретические основы проектирования газовой аппаратуры при работе двигателя на компримированном природном газе (КПГ). Дальнейшим

этапом этой работы является создание адаптивной газовой аппаратуры, оснащенной электронными средствами управления. В основу концепции положены новые представления о целесообразности коренного улучшения системы редуцирования и дозирования газового топлива, управления рабочими процессами газовой аппаратуры и двигателя, повышения эффективности воспламенением газозоудной смеси, а также безопасности использования КПП. Концепция определяет приоритеты, цели и задачи развития газовой аппаратуры для двигателей. В основу разработанной концепции положены новые подходы к обеспечению стабильности процесса сгорания, низкого содержания концентраций вредных выбросов с ОГ и одновременно с этим сохранения эксплуатационных параметров газового двигателя при значительном обеднении состава горючей смеси (до $\alpha = 1,9$). Теоретические положения концепции позволили создать номенклатуру универсальных, двухтопливных и специализированных систем питания газового двигателя. Проведен теоретический анализ существующих систем подачи газа в зависимости от принципа их работы. Сформулирована, теоретически обоснована и экспериментально подтверждена концепция перспективного двигателя с искровым зажиганием, позволившая разработать технико-эксплуатационные требования к перспективным конструкциям газовой аппаратуры в целом и функциональным ее элементам, а также к конструкции действующей газовой аппаратуры, подлежащей модернизации.

Л.Н. Голубков (ГТУ “МАДИ”), О.В. Олисевиц (ФГУП “НАМИ”), Д.А. Михальченко (ГТУ “МАДИ”) представили доклад “Результаты расчетно-экспериментального исследования узлов аккумуляторной топливной системы типа Common-Rail”. Для ускорения разработки аккумуляторных систем топливоподачи для автомобильных дизелей необходим тщательный анализ конструктивных особенностей и рабочего процесса серийно выпускаемых зарубежных аккумуляторных систем типа Common Rail (CR). Для этого разработаны математические методы и программы гидродинамического расчета таких аккумуляторных систем с различным конструктивным исполнением электрогидравлических форсунок (ЭГФ), позволяющие расчетным путем определять параметры рабочего процесса этих систем, включая многофазное впрыскивание топлива с погрешностью не более 5 % при шаге расчета 0,001 мс. В качестве объектов исследований были выбраны две конструкции ЭГФ с однозатворным управляющим клапаном, разгруженным и не разгруженным от давления топлива. По результатам расчетного исследования были выявлены диапазоны допустимого изменения конструктивных параметров ЭГФ, определяющие качество рабочего процесса топливных систем аккумуляторного типа, и взаимосвязь этих параметров.

Ю.Е. Драган (ВлГПУ) посвятил доклад результатам определения проходных сечений жиклеров при математическом моделировании ЭГФ. В представленной работе определены расчетных значений эффективных проходных сечений входного $\mu F_{вх}$ и выходного $\mu F_{вых}$ жиклеров базируется на математической модели ЭГФ, учитывающей функциональные зависимости сжимаемости топлива и деформации штанги от давления топлива в управляющей камере. В качестве оценочного показателя на первом этапе принимается время t_0 от момента подачи управляющего сигнала до момента падения давления в управляющей камере до уровня p_{z0} , соответствующего началу подъема иглы распылителя и других подвижных частей. На основе расчетных зависимостей параметра t_0 от $\mu F_{вх}$ при фиксированных значениях $\mu F_{вых}$ для различных давлений в аккумуляторе и максимальных цикловых подач определяется диапазон и поле их возможных значений и значений отношения $k = \mu F_{вх} / \mu F_{вых}$. Полученные данные позволяют определить расчетные значения параметров $\mu F_{вх}$, $\mu F_{вых}$ по выбранному уровню быстродействия t_0 на первом этапе. На втором этапе эти параметры будут связаны со значениями цикловых подач.

И.И. Габитов, А.В. Неговора, А.Г. Габбасов (БГАУ, Уфа) выступили с докладом “Технологии и средства технического обслуживания топливной аппаратуры типа Common Rail”. Авторами предложен простой и недорогой диагностический модуль КИ-1950 для машинно-технологических станций и ремонтно-технологических центров. Для проведения качественного диагностирования разработана подробная инструкция по эксплуатации модуля на CD с мультимедийным сопровождением и алгоритмом диагностирования. Область применения модуля — диагностирование аккумуляторных систем типа CR фирм Bosch, Denso, Delphi, Siemens современных автотракторных и комбайновых дизелей.

С использованием диагностического модуля проверяют качество функционирования линии низкого давления; регуляторов и датчиков давления в топливной рампе и (или) ТНВД; производительность и давление подачи ТНВД; работоспособность ЭГФ по расходу топлива на управление (тест обратного потока) и др. Диагностический модуль КИ-1950 был апробирован на автомобилях импортного производства с топливоподающими системами типа CR, таких как Bosch, Denso, Delphi, и на отечественном тракторе “Толпар” с топливной системой типа CR фирмы Bosch.

Тема выступления В.В. Куклиновского (ГТУ “МАМИ”) — “Математическая модель пьезокварцевого привода форсунок дизелей”. В докладе проведена классификация электроуправляемых топливных форсунок для дизелей. Показаны преимущества пьезоэлектрических приводов форсунок. Предложена конструкция пакетного пьезопривода, работающего на расширение. Представлены структурная схема лабораторной установки для исследования динамических процессов в пьезоприводе и графики зависимости перемещения подвижной части пакетного пьезопривода от внешнего напряжения, внешней нагрузки и времени. Пьезокварцевый привод форсунки имеет следующие характеристики: длина 30 мм, напряжение питания 50...70 В, ток до 4 А, реализуемое перемещение 40 мкм. Увеличение перемещения иглы форсунки достигается применением усилителя перемещения.

М.Г. Крупский, А.Д. Головачев (КИ МГОУ) представили доклад “Исследование электромагнитного клапана для подачи газа в ДВС”. Авторами разработана и создана новая, более совершенная конструкция электромагнитного клапана с плоским затвором для дозирования подачи газа в цилиндры ДВС (патент РФ № 2283439). Цель выполненных экспериментальных исследований — анализ расходных, динамических и энергозатратных характеристик новой конструкции. Электромагнитный клапан был всесторонне исследован на холодном стенде с возможностью физического моделирования различных режимов его работы на двигателе. Управление проводилось от микропроцессорной системы, имитирующей частотный и нагрузочный диапазоны работы ДВС. Полученные расходные и динамические характеристики клапана подтверждают возможность его использования для среднеоборотных газовых ДВС, а также в двигателях автотракторного назначения. Энергозатратные характеристики можно корректировать с помощью микропроцессорной системы управления. Электромагнитный клапан конструктивно прост, не нуждается в смазке и специальном охлаждении, что облегчает эксплуатацию и обеспечивает высокую надежность его работы.

В докладе С.А. Григорченко, Н.Х. Мьяльзина, А.М. Родова (КИ МГОУ) представлена универсальная модель системы объединенного регулирования частоты вращения и мощности транспортного дизель-генератора. Появление на рынке транспортных дизелей с электроуправляемыми системами топливоподачи и газораспределения позволяет по новому взглянуть на объединенную систему регулирования частоты и мощности транспортного дизель-генератора. Появляется возможность более точного воспроизведения нагрузочной характеристики дизеля. Возможность использования как постоянного, так и переменного тока требует проведения дополнительных исследований на стадии проектирования новых модификаций тепловозов. Поэтому целесообразно на стадии проектирования провести исследование перечисленных модификаций с использованием математической модели. Создана модель объединенной системы регулирования частоты и мощности теплового дизель-генератора. Это двухконтурная система управления, включающая в себя естественные межконтурные связи по частоте вращения коленчатого вала дизеля и по нагрузке генератора. Модель является универсальной. Проведенные исследования модели объединенной системы регулирования частоты и мощности теплового 2ТЭ116 показывают достаточно хорошее совпадение характеристик разработанной модели и реальной системы управления.

В.Г. Семенов (НТУ “ХПИ”, Украина), И.П. Васильев (Восточно-украинский НУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина) посвятили доклад методике определения углеродной фракции частиц в ОГ дизеля при работе на биодизельном и дизельном топливах. При использовании биодизельного топлива на основе растительных масел наблюдается изменение количественного состава вредных выбросов, в частности, рост в среднем на 10% оксидов азота и снижение на 40% выбросов частиц с ОГ. Последняя характеристика зависит от качества биодизельного топлива, условий смесеобразования и режима работы

двигателя. Для определения содержания углеродной фракции проводились испытания на вихрекамерном дизеле 1С48,5/11 (5Д2) при работе на биодизельном топливе из рапсового масла и на дизельном топливе. Для замера дымности использовался дымомер ИДС-3С, представляющий собой микропроцессорный прибор, обеспечивающий автоматическую калибровку и настройку с возможностью использования компьютера. Для выявления углеродной фракции использована методика определения “сажи” в атмосферном воздухе. Принцип определения основан на растворении дихлорэтаном материала фильтра и органических веществ (углеводородной фракции) частиц. Основная высокодисперсная углеродная фракция переходит во взвешенное суспендированное состояние, а остальная часть выпадает в виде осадка. Затем углеродная фракция определяется фотометрически. Выявлено, что содержание углеродной фракции в частицах при исследуемом режиме работы двигателя с использованием биодизельного и дизельного топлива практически одинаковое. Представляет интерес проведение таких исследований на режиме холостого хода.

В докладе Н.А.Иващенко, В.А.Маркова, В.И.Шатрова, А.А.Ефанова (МГТУ им. Н.Э.Баумана) рассмотрена система регулирования состава смесового биотоплива на основе рапсового масла (РМ) для транспортного дизеля. Был проведен ряд экспериментов по работе на смесовом биотопливе дизеля Д245.12С (4ЧН 11/12,5, камера сгорания типа ЦНИДИ) Минского моторного завода, устанавливаемого на малотоннажные грузовые автомобили ЗиЛ-5301 “Бычок”. Испытания проводились по 13-ступенчатому испытательному циклу ECE R49 для оценки токсичности ОГ на четырех типах топлив: чистое дизельное топливо (ДТ) и смесовое биотопливо в соотношениях (ДТ:РМ): 4:1, 3:2, 2:3. Оптимизация состава применяемого биотоплива проводилась по методу свертки, нормирование предельных значений вредных выбросов производилось по нормам EURO-2 (R 49-02B). В результате оптимизации определено, что наиболее эффективным является использование смесового биотоплива переменного состава в зависимости от режима работы дизеля. Для реализации полученной характеристики был разработан смеситель, в котором состав смесового биотоплива регулируется в соответствии с изменением давления топлива в линии высокого давления системы топливоподдачи. Проведенный безмоторный эксперимент подтвердил изменение доли рапсового масла в смесовом биотопливе в соответствии с изменениями суммарной цикловой подачи топлива и частоты вращения кулачкового вала ТНВД. Подобраны диаметр плунжера и жесткость возвратной пружины плунжера. Определена характеристика распределения составов смесового топлива в зависимости от частоты вращения дизеля и нагрузки при использовании смесителя предложенной конструкции. Разработанная конструкция позволяет реализовать характеристику распределения состава смесового биотоплива в зависимости от частоты вращения и нагрузки, аналогичную полученной при оптимизации.

В.А.Марков, С.Н.Девянин, А.А.Зенин, А.Ю.Шустер (МГТУ им. Н.Э.Баумана) выступили с докладом “Экспериментальные исследования транспортного дизеля, работающего на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла (МЭРМ)”. Авторами проведены исследования дизеля Д-245.12С на моторном стенде АМО “ЗиЛ” на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла с установочным УОВТ $\theta = 13^\circ$ п.к.в. до ВМТ и неизменным положением упора дозирующей рейки ТНВД. Исследуемый дизель работал на смесях ДТ (ГОСТ 305–82) и МЭРМ, полученного на одном из заводов Германии из рапса, выращенного в России. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что увеличение содержания МЭРМ в смесовом биотопливе приводит к некоторому росту часового расхода топлива, что вызвано большей плотностью МЭРМ по сравнению с ДТ. Однако при большей плотности МЭРМ имеет меньшую теплоту сгорания, поэтому при увеличении $S_{MЭРМ}$ крутящий момент дизеля изменялся незначительно. Из-за меньшей теплоты сгорания МЭРМ при увеличении его содержания в смесовом топливе отмечен рост удельного эффективного расхода топлива, однако, изменение эффективного КПД не превышало при этом 1%, что соизмеримо с точностью измерения расхода топлива. Увеличение $S_{MЭРМ}$ приводит к значительному снижению дымности ОГ, что обусловлено наличием в составе МЭРМ около 10% кислорода, участвующего в процессе окисления углеводородов топлива. Другим положительным эффектом присутствия МЭРМ в топливе является заметное снижение

удельных массовых выбросов оксидов азота NO_x и монооксида углерода CO . Зависимость удельных массовых выбросов несгоревших углеводородов CH_x от $C_{\text{МЭРМ}}$ имеет более сложный характер. Проведенный комплекс экспериментальных исследований дизеля Д-245.12С показал возможность значительного улучшения показателей дизеля при его работе на смесях ДТ и МЭРМ.

В.А. Марков, Д.А. Коршунов, А.А. Строкин (МГТУ им. Н.Э. Баумана), С.Н. Девянин (МГАУ им. В.П. Горячкина), О.В. Дробышев (АЗПИ) выступили с докладом “Оптимизация процесса топливоподачи дизеля, работающего на смесевом биотопливе”. Для улучшения качества процесса смесеобразования в дизеле, работающем на смесевых биотопливах, предложена конструкция распылителя с несколькими распыливающими отверстиями, выполненными попарно и расположенными равномерно по поверхности носка распылителя. При впрыскивании каждое отверстие формирует свою струю топлива, и струи спаренных отверстий сталкиваются друг с другом на некотором расстоянии от носка распылителя и дополнительно турбулизуются. Для оценки показателей дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5), работающего на биотопливе, при оснащении двигателя опытными распылителями проведены испытания на моторном стенде АМО “ЗИЛ”. Отмечено, что предложенная конструкция распылителя обеспечивает работу дизеля на чистом РМ. Но наибольшее приближение к свойствам ДТ обеспечивает смесь, содержащая 80 % ДТ и 20 % РМ. Испытания дизеля проведены при значениях УОВТ θ от 18 до 10° п.к.в. до ВМТ, позволяющих обеспечить протекание рабочего процесса с достаточно высокой экономичностью и не допускающих работу дизеля с высокими давлениями сгорания и с повышенной температурой ОГ. При неизменном УОВТ наилучшие показатели токсичности ОГ получены при $\theta = 13^\circ$ п.к.в. до ВМТ. Однако при этом не выполняются требования норм EURO-2 по выбросам оксидов азота. Обеспечить эти требования можно регулируя УОВТ в соответствии с режимом работы двигателя. Оптимизация значений УОВТ проведена с использованием обобщенного критерия оптимальности, представляющего собой сумму частных критериев по топливной экономичности и токсичности ОГ. С использованием описанной методики проведена оптимизация значений УОВТ дизеля Д-245.12С, оснащенного опытными распылителями. Реализация полученной оптимизированной характеристики позволяет удовлетворить требования норм EURO-2 по выбросам всех нормируемых газообразных токсичных компонентов ОГ. Разработана система топливоподачи, в которой начало впрыскивания определяется моментом закрытия электромагнитного клапана, установленного в линии низкого давления ТНВД.

В докладе С.Н. Девянина, О.Н. Слепцова (МГАУ им. В.П. Горячкина), Л.Л. Михальского, Б.Е. Поликера (ЗАО “Дизель-КАР”), В.А. Маркова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) представлены результаты исследования линии низкого давления системы топливоподачи дизельного двигателя на основе ее математического моделирования. Целью представленной работы является исследование и адаптация системы топливоподачи низкого давления (ТСНД) дизеля для работы на вязких альтернативных топливах из возобновляемых источников энергии. Разработана структурная схема прохождения топлива на всех участках ТСНД. Обобщенная структура основана на типовых схемах ТСНД с учетом эксплуатационных режимов, а также климатических условий работы двигателя и параметров применяемых топлив. На основе принятых допущений для данной структуры ТСНД создана обобщенная гидравлическая модель ТСНД и диаграмма. Для исследования работы ТСНД тракторного дизеля Д-243 были получены гидравлические характеристики всех ее элементов, включая топливоподкачивающий насос (ТПН), а также характеристики используемых топлив: дизельного, рапсового масла и их смесей (в пропорции 3:7), определен закон изменения подачи ТПН в зависимости от частоты вращения, давлений на его входе и выходе. Это позволило оценить достоверность полученной модели ТСНД, разработать обобщенную математическую модель прохождения вязких топлив по ТСНД, которая может быть применима к любому автотракторному дизелю. Выявлены пути оптимизации ТСНД на основе выбора фильтра тонкой очистки топлива при соблюдении критериальных условий, определяющих работоспособность системы топливоподачи при использовании вязких топлив. Доказана возможность инвариантного поддержания на эксплуатационных скоростных режимах дизеля требуемого расхода биодизельного топлива перед ТНВД при допустимом снижении падения давления на фильтре тонкой очистки и использовании либо отдельных систем фильтрации, либо параллельной

фильтрации вязкого топлива. Показано, что топливная система автотракторного дизеля трактора МТЗ-82.1 может эффективно работать при эксплуатации на биодизельном топливе.

В докладе В.С. Гун, В.С. Морозовой, В.В. Шешукова (ЮурГУ, Челябинск) приводится методика расчета коэффициентов обратных связей, обеспечивающих заданные динамические свойства электромеханических систем. В качестве примера рассмотрена электронная система управления перемещением рейки ТНВД дизеля. Получены зависимости коэффициентов обратных связей системы управления от длительности переходного процесса. Рассчитаны переходные процессы электромагнитного привода рейки ТНВД дизеля Д-160 с электронным регулятором частоты вращения.

В докладе С.Н. Вознюка, С.В. Трофимова, П.В. Федорова, Э.Н. Федоровой (ВТУ, Балашиха М.О.) отражены вопросы исследований и разработки бортовой комбинированной системы мониторинга и защиты транспортных дизелей. Разработанная система позволяет повысить качество управления транспортным дизелем и обеспечить его надежность, улучшить экологические и топливно-экономические показатели. Основные функции контроля и защиты дизеля выполняет бортовой процессор, который с помощью специального комплекта датчиков непрерывно анализирует полученную информацию о работе дизеля, отражает ее на мнемонических шкалах приборов и в случае приближения аварийной ситуации (перегрев дизеля, повышение частоты вращения коленчатого вала до критической, падение давления в масляной магистрали) инициирует остановку дизеля путем автоматического снижения цикловой подачи топлива и постепенного закрытия воздушной заслонки впускного коллектора.

Тема выступления В.Н. Тимофеева (Чув. ГУ, Чебоксары) — “Разработка САР холодной рециркуляции ОГ транспортных ДВС”. Основными элементами предлагаемой системы являются: электрический исполнительный механизм (ЭИМ) с заслонкой, установленный на рециркуляционном канале, датчики нагрузки и расхода воздуха, электронный блок управления, термоэлектрический генератор, установленный на выхлопной трубе, термоэлектрический холодильник, установленный на рециркуляционном канале, и аккумуляторная батарея. В зависимости от нагрузки двигателя и расхода воздуха блок управления подает требуемый сигнал на ЭИМ, который поворачивает заслонку на требуемый угол, с помощью которого устанавливается величина перепускаемого ОГ во впускной трубопровод. При увеличении нагрузки заслонка уменьшает перепуск ОГ согласно расчетным данным, причем перекрытие рециркуляционного канала происходит пропорционально объему поступающего воздуха и при нагрузке свыше 75 % от номинальной заслонка полностью перекрывает рециркуляционный канал и поступление ОГ во всасывающий трубопровод практически прекращается. Таким образом, несмотря на некоторые недостатки системы САР холодной рециркуляции ОГ транспортных ДВС, в частности низкий КПД (около 10 %), предлагаемые элементы: утилизационный термоэлектрический генератор и термоэлектрический холодильник — выгодно отличаются от других систем отсутствием подвижных частей, полной автоматизацией, простотой монтажа и обслуживания, компактностью, бесшумностью, быстродействием, большим сроком службы.

В докладе А.В. Самсонова и Г.И. Шарова (Санкт-Петербургский Государственный морской технический университет) рассмотрены возможности повышения долговечности машин и механизмов за счет применения серпентино-магниевого состава (СМС). При добавлении СМС в смазочные материалы восстановление и упрочнение деталей машин и механизмов осуществляется за счет формирования на поверхностях трения структур повышенной прочности. После ввода в узел трения СМС сначала работает как простой абразив до тех пор, пока в узле трения не создадутся физические условия для разрушения серпентинита, которое происходит при температуре ≈ 600 К в зоне контакта. При дальнейшей работе механизма в зоне пятна контакта начинается резкий рост локальных температур, который приводит к созданию условий для образования металлосиликатного защитного слоя на поверхностях узлов трения за счет внедрения в структуру металла микрочастиц минерала. Металлосиликатный защитный слой восстанавливает дефекты поверхности трения и обладает высокими антифрикционными и противоизносными свойствами. Определяющим факторами при обработке узлов трения СМС являются температура в зоне контакта и размер частиц самого состава. Процесс

образования металлосиликатного защитного слоя обуславливается разрушением защитных масляных покрытий, которое происходит при критических температурах, составляющих 120...250 °С. Фактически после ввода СМС на поверхностях трения значительно повышается коэффициент трения, и в зоне пятна контакта начинается резкий рост локальных температур, который приводит к созданию условий для протекания реакции замещения и образования металлосиликатного состава. Кристаллы Mg_2SiO_4 уплотняются и ориентируются в направлении относительного перемещения поверхностей, происходит рост их размеров, увеличивается твердость, и контакт поверхностей начинает осуществляться на металлосиликатной основе. Шероховатость поверхности трения при этом значительно уменьшается, и, как следствие, коэффициент трения также снижается, локальные температуры становятся ниже критических значений, прекращается образование металлосиликатного состава. В результате проведенного анализа результатов применения СМС для восстановления деталей узлов трения двигателей сделан вывод о том, что практически для каждого механизма существует оптимальная “точка” его обработки СМС, которая напрямую зависит от типа механизма, режимов его работы при обработке, размерности частиц применяемого СМС, его структурного состава, степени износа механизма и т.д. При этом ряд внешних факторов, возникающих вследствие применения СМС и нежелательных для одного механизма, часто способствует получению значительного положительного эффекта для другого. Все это свидетельствует о необходимости разработки четкой, научно обоснованной методики применения СМС в парах трения ДВС. Только в этом случае можно гарантировать получение устойчивого положительного эффекта без наличия каких-либо отрицательных последствий.

П.Р. Вальехо Мальдонадо, Д.К. Гришин (РУДН) — авторы доклада “Автоматизация расчета износа шатунной шейки коленчатого вала”. Отмечено, что построение диаграммы износа шейки коленчатого вала является достаточно трудоемкой задачей. Исходными данными являются вычисленные в результате динамического расчета векторы тангенциальной силы и сил, действующих вдоль кривошипа, включая центробежную силу инерции кривошипной головки шатуна. Сумма указанных векторов определяет результирующую силу, действующую на шатунную шейку коленчатого вала, в функции угла его поворота ϕ . Для построения диаграммы распределения результирующей силы по окружности шейки для всего массива результатов вычисляются значения угла ϕ между результирующей силой и одной из осей координат, связанной с шейкой. В качестве подобной оси принята ось абсцисс, совпадающая с положительным направлением тангенциальной силы. Условная диаграмма износа шейки вала строится путем суммирования сил на различных участках поверхности шейки по секторам с использованием булева оператора в соответствии с гипотезой о пропорциональности износа действующей силе. Особенностью данной методики является то, что расчетные зависимости записаны в рабочем поле Mathcad в виде обычных математических выражений, которые являются в то же время программой. Проектант вводит с клавиатуры исходные данные и сразу же получает результаты в виде таблиц и графиков. Поскольку все расчетные зависимости, схемы, рисунки, пояснения и рекомендации помещены непосредственно в рабочем документе, то при необходимости пользователь может на любом этапе проектирования изменить параметры, получить новые результаты, проанализировать их и выбрать оптимальное решение.

В дискуссии по докладам активное участие приняли профессора Л.В. Грехов, С.В. Гусаков, В.И. Ерохов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков, Н.Н. Патрахальцев, В.И. Толшин, Б.Я. Черняк и другие участники семинара. В заключение работы ВНТС были подведены итоги заседания, принята резолюция, проведен обмен научной информацией, намечены пути дальнейшей работы.

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