

## Управление двигателями внутреннего сгорания

Началом проведения исследований по общей теории автоматического регулирования в Императорском Училище можно считать работы великого русского ученого Н.Е. Жуковского, который с 1903 г. стал заниматься вопросами регулирования машин. Его лекции по курсу «Теория регулирования хода машин», прочитанные в Императорском московском техническом училище в 1908-1909 учебном году, были изданы в 1909 г. и вскоре получили широкую известность.

Основоположителем направления регулирования двигателей внутреннего сгорания в МВТУ им. Н.Э. Баумана является выдающийся ученый Г.Г. Калиш. С февраля 1931 г. после возвращения в Москву из Нижнего Новгорода, где он основал специальность «Двигатели внутреннего сгорания (ДВС)» и лабораторию двигателей в Нижегородском политехническом институте, он возобновил работу в НАМИ и с января 1932 г. на кафедре «ДВС» Московского механико-машиностроительного института (такое название имел в то время МГТУ им. Н.Э. Баумана). Здесь Г.Г. Калиш начал читать курс лекций по теории двигателей и параллельно организовал научно-исследовательские работы по топливоподающей аппаратуре и автоматическим регуляторам ДВС. По результатам начатых исследований им опубликовано несколько работ, посвященных центробежным регуляторам дизелей.

В годы Великой Отечественной войны, находясь в эвакуации в составе МВТУ им. Н.Э. Баумана в Ижевске, Г.Г. Калиш принимал активное участие в разработке вопросов, связанных с переводом дизелей на работу с генераторным газом, полученным из древесины.

После Великой Отечественной Войны исследования в области автоматического регулирования ДВС на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» были продолжены. В конце сороковых годов 20 века в НАМИ и МВТУ им. Н.Э. Баумана под руководством проф. Г.Г. Калиша были развернуты исследования систем автоматического регулирования (САР) транспортных дизелей, оборудованных всережимными регуляторами. Анализ специфических условий работы систем со всережимными регуляторами, учет реальных свойств как самих регулируемых объектов, так и автоматических регуляторов дали возможность описать динамические свойства САР линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами и изучить условия появления резонансных колебаний в системе «объект регулирования – автоматический регулятор». В ряде случаев задача сводилась к получению линейного дифференциального уравнения третьего порядка, что позволило использовать для исследования динамических свойств САР диаграмму проф. Петербургского технологического института И.А. Вышнеградского. Эта диаграмма была дополнена рядом характеристик, позволяющих получить информацию о протекании каждой из составляющих переходного процесса непосредственно по диаграмме в зависимости от значений коэффициентов дифференциального уравнения.

Результаты этих исследований стали основой для дальнейших работ, проведенных В.И. Крутовым – талантливым учеником и последователем Г.Г. Калиша, основателем школы автоматического регулирования теплоэнергетических установок в МВТУ им. Н.Э. Баумана. Научные разработки В.И. Крутова, основанные на развитии идей П.Л. Чебышева и И.А. Вышнеградского, легли в основу теоретических методов оценки устойчивости и динамических свойств ДВС. Последовательно углубляя и детализируя диаграмму проф. Вышнеградского В.И. Крутов дополнил ее рядом характеристик, позволяющих легко определить константы интегрирования по заданным начальным условиям, а также все необходимые параметры, характеризующие протекание каждой из составляющих переходных процессов.

Эти исследования легли в основу докторской диссертации на тему «Анализ работы систем автоматического регулирования двигателей внутреннего сгорания» защищенной В.И. Крутовым в 1962 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана (кандидатская диссертация была вы-

полнена В.И. Крутовым под руководством Г.Г. Калиша и защищена в 1948 г. Она была посвящена вопросам исследования топливоподающей аппаратуры).

Работы В.И. Крутова в области автоматического регулирования и управления двигателями широко известны в России и за рубежом. В научную терминологию и техническую литературу вошли введенные им понятия и термины, в частности о факторе устойчивости элементов САР, дающем представление о количественной и качественной характеристике способности элемента к самовыравниванию. Под его руководством проведен большой комплекс работ, посвященных моделированию и методам расчета динамических характеристик ДВС.

Среди других изданий, подготовленных В.И. Крутовым следует особо выделить учебник «Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания», который выдержал 5 изданий в СССР, издан в Польше, переведен издательством «Мир» на английский язык. Последнее издание этого учебника относится к 1989 г. Следует отметить и несколько обзорных работ, посвященных истории развития исследований в области регулирования двигателей внутреннего сгорания.

В 1961 г. В.И. Крутов возглавил кафедру «Теоретические основы теплотехники» МВТУ им. Н.Э. Баумана. В это же время окончательно сформировалась Лаборатория автоматизации и теплотехнических измерений (ЛАТИ), созданная в 1959 г. по инициативе В.И. Крутова с целью повышения эффективности учебного процесса и научно-исследовательских работ. В.И. Крутов был бессменным руководителем этой лаборатории. Первым заведующим ЛАТИ была назначена выпускница каф. Э-2 И.Б. Павлова. Впоследствии лабораторией заведовали Ф.М. Данилов, И.В. Леонов, Д.Н. Рассолов. В становлении лаборатории самое непосредственное и активное участие приняли выпускники каф. Э-2 1960 г. Ф.М. Данилов и В.И. Шатров. Большую работу вели соратники В.И. Крутова, доценты МВТУ им. Н.Э. Баумана – И.П. Спорыш и В.Д. Юношев, сотрудники лаборатории автоматизации П.К. Кузьмик, И.В. Леонов и др.

С момента своего возникновения лаборатория стала развиваться и как учебная, и как научно-исследовательская. Силами сотрудников лаборатории были изготовлены первые учебные установки для проведения лабораторных работ по вновь введенному на факультете курсу «Основы автоматизации». Параллельно стали монтироваться исследовательские установки для изучения вопросов неустановившихся режимов работы ДВС. В дальнейшем эта тематика стала развиваться и сделалась основной в работе лаборатории. Большую роль в развитии НИР сыграл созданный в 1970 г. отдел автоматического регулирования при проблемной лаборатории ДВС. С этого момента работы по автоматическому регулированию ДВС стали проводиться более интенсивно. Были подготовлены и защищены первые кандидатские диссертации по данной тематике. Можно отметить работу сотрудника МВТУ А.К. Мусатова, который в 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Регулирование режимов работы транспортной дизель-электрической установки». Первый аспирант В.И. Крутова – Ф.М. Муzychук защитил кандидатскую диссертацию в 1963 г, другой аспирант – А.В. Козьминых – в 1964 г.

В начале шестидесятых годов в лаборатории автоматизации кафедры «Теоретические основы теплотехники» МВТУ им. Н. Э. Баумана под руководством В.И. Крутова было организовано исследование динамических свойств комбинированных двигателей с газотурбинным наддувом как регулируемых объектов, а также автоматических регуляторов и систем регулирования таких двигателей. Основная тематика лаборатории развивалась по двум направлениям:

- математическое моделирование и расчет систем автоматического регулирования дизелей и элементов этих систем;
- совершенствование характеристик систем автоматического регулирования и топливоподачи дизелей.

Фундаментом для развития данной тематики послужили работы В.И. Крутова по созданию линейных математических моделей систем регулирования дизелей и расчету параметров этих систем с помощью усовершенствованной диаграммы проф. Вышнеградского.

Одним из основных направлений научных исследований лаборатории являлось математическое моделирование переходных процессов САР. В рамках этого направления проведены работы по созданию линейных и нелинейных математических моделей дизеля с турбонаддувом как объекта автоматического регулирования, и в целом системы автоматического регулирования такого двигателя. Для подтверждения полученных теоретических результатов был создан автоматизированный исследовательский стенд, включающий в себя форсированный дизель с турбонаддувом Д-6Н (6 ЧН 15/18), измерительный комплекс и нагрузочное устройство, позволяющее воспроизводить на дизеле переходные процессы работы. Эти исследования выполнялись аспирантами В.И. Крутова - В.И. Шатровым, Ф.М. Даниловым, П.К. Кузьмиком, И.В. Леоновым и др. Результатом проведенных исследований стали защиты ими кандидатских диссертаций.

В диссертации В.И. Шатрова «Анализ переходных процессов линейной модели транспортного дизеля с турбонаддувом» (1966 г.) показана возможность оценки динамических качеств комбинированного двигателя типа Д-6Н с использованием линейных дифференциальных уравнений основных элементов САР частоты вращения: его поршневой части, турбокомпрессора, впускного и выпускного коллекторов.

Диссертация Ф.М. Данилова «Анализ динамических свойств системы автоматического регулирования дизеля с турбонаддувом» (1967 г.) посвящена оценке отдельных параметров САР частоты вращения дизеля Д-6Н, в частности, параметров центробежного регулятора частоты вращения, на протекание переходных процессов САР, построенных с использованием линейной математической модели.

Одной из первых работ, посвященной корректированию характеристик топливоподачи дизеля Д-6Н по давлению наддувочного воздуха, является кандидатская диссертация И.В. Леонова «Двухимпульсная система регулирования дизеля с турбонаддувом», защищенная в 1967 г. В работе предложено наряду с импульсом частоты вращения, позволяющим обеспечить регулирование скоростного режима работы дизеля путем изменения подачи топлива, использовать импульс давления наддува, обеспечивающий согласование подач топлива и воздуха.

Анализ результатов этой работы, а также результаты последующих исследований, направленных на совершенствование кинематических схем двухимпульсных регуляторов частоты вращения дизелей Челябинского тракторного завода и ряда других заводов отрасли, обобщены И.В. Леоновым в докторской диссертации «Повышение технико-экономических показателей комбинированных двигателей внутреннего сгорания путем совершенствования систем корректирования топливоподачи по давлению наддувочного воздуха», защищенной в МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1985 г.

В диссертации П.К. Кузьмика «Моделирование переходных процессов транспортного дизеля с учетом основных нелинейностей», защищенной в 1969 г. предложен метод построения переходных процессов систем регулирования комбинированных двигателей при помощи нелинейных дифференциальных уравнений, в которых функциональные зависимости основных параметров дизеля заданы в виде полиномов. Этот подход к исследованию САР частоты вращения дизеля Д-6Н дал хорошее совпадение теоретических результатов с экспериментальными данными.

Аспирант Е.И. Блаженнов под научным руководством В.И. Крутова в 1967 г. защитил диссертацию на тему «Разработка и исследование всережимных регуляторов скорости автомобильных дизелей», к которой рассмотрены особенности работы всережимных регуляторов, определены такие параметры регулятора, как величина местной степени неравномерности регуляторной характеристики и фактор торможения топливоподающей аппаратуры, приведены результаты испытаний всережимных регуляторов с пологим протека-

нием регуляторных характеристик на промежуточных скоростных режимах (так называемые «трехрежимные регуляторы») для двигателя ЯМЗ-238.

После защиты кандидатской диссертации Е.И. Блаженнов продолжил исследования по совершенствованию схем регуляторов, в частности разрабатываемых на Ярославском заводе дизельной аппаратуры (ЯЗДА). Он предложил ряд оригинальных схем регуляторов прямого действия, обосновал целесообразность использования всережимных и двухрежимных регуляторов в зависимости от условий эксплуатации. Итогом этих исследований Е.И. Блаженнова стала защищенная им в МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1987 г. докторская диссертация на тему «Совершенствование системы автоматического регулирования частоты вращения автомобильных дизелей».

Следует отметить работы, проведенные аспирантом В.И. Крутова А.Г. Рыбальченко по исследованию систем регулирования турбонаддува ДВС. Итогом этих работ стали кандидатская диссертация, защищенная им в 1968 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана, а в дальнейшем и докторская диссертация, выполненная на тему «Исследование работы ДВС с регулируемым турбонаддувом» (1980 г.). Проблеме регулирования системы турбонаддува посвящена и диссертационная работа аспиранта В.И. Крутова В.Г. Нагаева «Анализ статических и динамических свойств системы охлаждения наддувочного воздуха дизеля с турбонаддувом», защищенная в 1980 г. В диссертации разработана математическая модель системы охлаждения наддувочного воздуха дизеля Д-6Н и рассчитаны переходные процессы в этой САР.

Наряду с исследованиями САР двигателей внутреннего сгорания в конце 60-х – начале 70-х годов был выполнен ряд научно-исследовательских работ по совершенствованию систем регулирования энергоустановок других типов. Это работы по уменьшению трения в узлах приводов систем регулирования паровых турбин, математическое моделирование системы регулирования давления наддува топливных баков самолета ТУ-144 и др. Все эти работы выполнялись под руководством к.т.н. доцента И.П. Спорыша.

Кроме вопросов регулирования ДВС В.И. Крутов занимался и рядом других смежных проблем, среди которых можно отметить проблемы совершенствования топливоподающей аппаратуры ДВС, разработки средств диагностики и измерений, повышению комфортности салонов пассажирских самолетов. По данным направлениям защитили кандидатские диссертации аспиранты В.И. Крутова: В.Г. Воронин (1969 г.), Ю.И. Заря (1970 г.), В.Е. Горбаневский (1973 г.), А.В. Щербаков (1975 г.).

В семидесятых годах силами аспирантов В.И. Крутова проведены исследования топливоподающей аппаратуры дизеля как элемента САР. По результатам этих исследований стали кандидатские диссертации, защищенные А.А. Волковым (1973 г.) и Г.А. Комаровым (1975 г.).

Диссертация А.А. Волкова «Топливоподающая аппаратура как элемент системы автоматического регулирования дизеля» посвящена анализу динамических свойств топливоподающей аппаратуры дизеля Д-6Н с использованием дифференциального уравнения топливоподающей аппаратуры и нелинейных уравнений основных элементов САР.

В диссертационной работе Г.А. Комарова на тему «Исследование статических и динамических свойств топливоподающей аппаратуры дизеля» проведено моделирование процесса топливоподачи системой разделенного типа и показано влияние статических и динамических свойств этой системы на работу САР частоты вращения дизеля. Получено дифференциальное уравнение топливоподающей аппаратуры как элемента САР частоты вращения дизеля, с использованием которого проведено исследование влияния некоторых параметров топливоподающей аппаратуры на динамические свойства такой САР.

Исследование системы терморегулирования дизеля провел В.А. Ларичев. В 1973 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Система терморегулирования дизеля с коррекцией по угловой скорости и нагрузке», в которой рассмотрены статические и динамические свойства такой САР дизеля Д-6Н, проведены расчеты ее переходных процессов и синтез САР.

Наряду с работами по проблемам регулирования ДВС, проводившимися в лаборатории автоматики кафедры «Теоретические основы теплотехники» (Э-6), следует отметить работы по исследованию особенностей неустановившихся режимов работы двигателей и их влияние на экономичность работы силовых установок, проведенных на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» (Э-2) под руководством профессора О.Б. Леонова. В работах О.Б. Леонова и его учеников – Н.Н. Патрахальцева, В.Г. Павлюкова, О.А.Тарханова, В.Л. Галеева и др. рассмотрены особенности работы дизелей на неустановившихся режимах, предложены способы улучшения динамических качеств дизелей и совершенствования их экономических и экологических показателей на этих режимах.

В 1971 г. кандидатскую диссертацию на тему «Особенности рабочего процесса четырехтактного дизеля с газотурбинным наддувом при неустановившемся режиме» защитил Н.Н. Патрахальцев. Результатом дальнейших исследований в данном направлении стала его докторская диссертация «Повышение эффективности работы дизеля при неустановившихся режимах воздействием на процессы топливоподачи» (1987 г.).

Кандидатская диссертация В.Г. Павлюкова на тему «Повышение эффективности и экономичности работы дизеля в переходных процессах разгона» защищена в 1976 г. В 1980 г. защитил диссертацию В.Л. Галеев («Влияние изменения угла опережения впрыска топлива на работу турбокомпрессора и переходные режимы двигателя с газотурбинным наддувом»), а в 1981 г. – О.А. Тарханов («Влияние дополнительной подачи топлива на исходном режиме на работу свободного турбокомпрессора и эффективность разгона дизеля»).

О.Б. Леонов является основоположником научного направления регулирования начального давления в нагнетательной магистрали топливоподающей аппаратуры. Вместе с В.В. Араповым, В.Г. Павлюковым, Н.Н. Патрахальцевым, В.Н. Поповым и др. им были созданы системы регулирования начального давления, позволившие существенно улучшить характеристики процесса топливоподачи, экономические и экологические показатели отечественных дизелей. Некоторые результаты этих работ приведены в кандидатской диссертации В.П. Попова «Улучшение экономичности четырехтактного дизеля с газотурбинным наддувом управлением начальным давлением топлива в нагнетательной магистрали системы топливоподачи», защищенной им в 1981 г.

В 1980-х годах в лаборатории автоматики кафедры «Теоретические основы теплотехники» МВТУ им. Н.Э. Баумана были продолжены работы как по математическому моделированию САР, так и по совершенствованию конструкций регуляторов частоты вращения дизелей различного назначения. В этих работах самое активное участие принимали аспиранты В.И. Крутова – А.Г. Кузнецов, М.С. Долганов.

В защищенной в 1981 г. А.Г. Кузнецовым кандидатской диссертации на тему «Анализ и синтез системы автоматического регулирования с регулятором, заполненным топливом» проведен анализ особенностей работы механического регулятора прямого действия автотракторного дизеля при заполнении его корпуса топливом, предложены конструктивные схемы чувствительного элемента регулятора, разработана методика расчета основных параметров регулятора, обеспечивающая достижение требуемых статических и динамических характеристик САР. Проведены экспериментальные исследования разработанного конструктивного варианта регулятора в составе САР.

В 1981 г. М.С. Долгановым защищена диссертация «Разработка и исследование гидромеханического регулятора скорости автотракторного дизеля», в которой разработан регулятор непрямого действия с золотником-гидроусилителем. Разработанный регулятор формировал три вида регуляторных характеристик: для автомобильных двигателей – характеристики двухрежимного регулирования, для тракторных дизелей – характеристики всережимного регулирования и комбинированные характеристики.

Необходимость одновременного регулирования нескольких параметров комбинированного двигателя превратили его практически в многопараметрический объект, поэтому в структуру системы регулирования частоты вращения двигателя стали включать допол-

нительные элементы, обеспечивающие согласование подач воздуха и топлива с одновременной оптимизацией теплового состояния деталей двигателя (пневмокорректоры), учет изменения вязкости топлива, необходимый для многотопливных дизелей (вязкостные корректоры), изменение угла опережения впрыскивания топлива в зависимости от режима работы – частоты вращения и нагрузки (муфты опережения впрыскивания топлива и др. устройства), формирование внешней скоростной характеристики (при помощи «положительного» и «отрицательного» корректоров), автоматическое увеличение цикловой подачи топлива при запуске двигателя (пусковые обогатители), улучшение экологических показателей отработавших газов (ОГ) и др.

Этим проблемам посвящена кандидатская диссертация сотрудника НИИ двигателей В.С. Сысоева «Синтез характеристик корректирующих устройств систем автоматического регулирования тепловых двигателей с упругими механическими связями», защищенная им в 1973 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Направление совершенствования регуляторов дизелей, начатое в работах И.В. Леонова, Е.И. Блаженнова и др., получило свое продолжение в диссертационной работе сотрудника ЧТЗ В.А. Горшкова (научный руководитель – В.И. Крутов), в которой разработан и исследован регулятор прямого действия для высокофорсированного дизеля. В этом регуляторе присутствовали практически все из перечисленных выше дополнительных элементов регулятора. Результатом подготовленной в 1984-86 годах и успешно защищенной кандидатской диссертации В.А. Горшкова стал разработанный многофункциональный регулятор, который показал при испытаниях хорошие результаты и был установлен на двигателе транспортного назначения.

С появлением широких возможностей применения вычислительной техники получили новый импульс работы по математическому моделированию САР дизелей и других тепловых двигателей. Были начаты работы по созданию математических моделей регуляторов прямого и непрямого действия с использованием частотных методов. Для решения поставленных задач в лаборатории автоматики под руководством к.т.н., доцента Ф.И. Данилова создаются «частотные» стенды на основе авиационного электрогидропривода. Эти стенды позволяли получать частотные характеристики и переходные процессы натуральных регуляторов путем изменения частоты вращения входного валика регуляторов по заранее заданному закону и записи перемещения рейки топливного насоса на выходе регулятора. Обработка полученных характеристик с помощью методов теории автоматического управления дала возможность более точной идентификации математических моделей регуляторов. По результатам проделанной работы аспирантом Ф.М. Данилова Б.И. Никаноровым в 1985 г. защищена кандидатская диссертация «Расчетно-экспериментальная методика анализа и синтеза регуляторов скорости с целью совершенствования переходных процессов дизеля».

Следует также отметить работу по созданию САУ дизельной тепловозной силовой установкой, выполненную аспирантом В.Ф. Руденко (руководитель Ф.И. Данилов). В 1982 г. В.Ф. Руденко защитил кандидатскую диссертацию «Повышение качества переходных процессов высокофорсированных тепловозных дизель-генераторов управлением нагрузкой», в которой предложена методика приближенного аналитического синтеза квазиоптимального регулятора нагружения тепловозного дизель-генератора, основанная на методе динамического программирования. Результаты этой работы были использованы в промышленности при совершенствовании тепловозных систем управления.

Проблемам совершенствования САР тепловозных дизелей было посвящен еще ряд работ. В 1984 г. аспирант В.И. Крутова, сотрудник Саратовского политехнического института П.А. Ватин защитил в МВТУ им. Н.Э. Баумана диссертацию на тему «Разработка регулятора скорости переменной работоспособности для средне- и высокооборотных дизелей», в которой предложена конструкция регулятора непрямого действия для тепловозных и стационарных дизелей.

Еще одной работой данного направления является диссертация аспиранта В.И. Крутова, сотрудника Всесоюзного научно-исследовательского тепловозного института (ВНИТИ) – А.А. Кабанова «Разработка средств улучшения динамических свойств тепловозного дизеля» (1986 г.), в которой рассмотрены методы коррекции характеристик частоты вращения, топливоподачи и нагрузки тепловозного дизеля в переходных процессах.

Во второй половине 1980-х г.г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с НИИ двигателей и Челябинским тракторным заводом коллективом авторов (В.И. Крутов, И.В. Леонов, В.А. Марков, Б.П. Парфенов, В.И. Шатров, В.А. Горшков) проведен цикл работ по обеспечению многотопливности двигателей военного назначения. Исследовалась работа дизельных двигателей на различных нефтяных топливах (дизельное топливо, керосины, реактивные топлива, бензины). В результате проведенных исследований проанализированы причины, вызывающие уменьшение мощности двигателей при их работе на облегченных топливах и разработан вязкостный корректор топливоподачи, обеспечивающий автоматическое увеличение цикловой подачи при переводе двигателя на маловязкое топливо. Корректор внедрен в серийное производство на ЧТЗ. По результатам этих работ в 1990 г. аспирант В.И. Крутов В.А. Марков защитил диссертацию «Разработка новых элементов регулятора частоты вращения транспортного дизеля, обеспечивающих улучшение его эксплуатационно-технических показателей». Впоследствии результаты работы были обобщены в монографии [21].

Позднее, работая в лаборатории автоматики и на кафедре Э-6 МГТУ им. В.И. Баумана, В.А. Марков подготовил и в 1995 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Улучшение экономических и экологических показателей транспортных дизелей путем управления процессом топливоподачи», в которой предложена методология управления углом опережения впрыскивания топлива с учетом режима работы дизеля и условий его эксплуатации (при изменении параметров окружающей среды и свойств применяемого топлива).

Следует отметить, что В.И. Крутов оказал значительное влияние на развитие научных исследований в области автоматического регулирования и управления теплоэнергетических установок не только в МВТУ им. Н.Э. Баумана, но и в других учебных, научно-исследовательских и научно-производственных организациях. Координация этих работ осуществлялась через постоянно действующий Всесоюзный (впоследствии – Всероссийский) научно-технический семинар (ВНТС) при кафедре Э-6 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ряд постоянных участников этого семинара защитили кандидатские и докторские диссертации.

Так, Ф.И. Пинский неоднократно докладывал на ВНТС результаты своих исследований в области создания электронных систем управления для дизельных двигателей различного назначения. Им разработаны САУ для систем топливоподачи разделенного и неразделенного типа. Он был одним из создателей первых образцов аккумуляторных систем топливоподачи, названных впоследствии Common-Rail или «русскими системами». По результатам этих исследований в 1987 г. он защитил в МВТУ им. Н.Э. Баумана докторскую диссертацию «Оптимизация режимов работы дизелей электронным управлением впрыскивания топлива».

Постоянный участник ВНТС Ю.Е. Хрящев, доклады которого были посвящены проблемам совершенствования механических, а затем и электронных регуляторов частоты автомобильных дизелей семейства ЯМЗ и КамАЗ, в 1985 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана защитил кандидатскую диссертацию на тему «Обоснование выбора типа регулятора частоты вращения автомобильного дизеля» (руководитель Е.И. Блаженнов). Продолжая исследования регуляторов частоты вращения в Ярославском государственном техническом университете и на Ярославском заводе дизельной аппаратуры, он подготовил и в 2000 г. защитил докторскую диссертацию «Обоснование перспективных способов и разработка средств регулирования частоты вращения автомобильных дизелей».

Кроме упомянутых выше И.В. Леонова, Е.И. Блаженнова, А.Г. Рыбальченко и В.А. Маркова в 1980-1990 г.г. защитили докторские диссертации постоянные участники ВНТС – П.В. Федоров и Г.И. Шаров.

В докторской работе П.В. Федорова «Разработка методов оптимального управления транспортными двигателями внутреннего сгорания», выполненной во Всероссийском сельскохозяйственном институте заочного обучения и защищенной в МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1994 г., разработан комплексный подход к проектированию САУ с использованием методов оптимального управления транспортным дизелем.

Диссертационная работа Г.И. Шарова «Улучшение экономических и экологических показателей автотракторного дизеля путем адаптивно-взаимосвязанного управления режимами его работы», выполненная в Череповецком государственном университете и защищенная в МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1999 г., посвящена созданию методов синтеза структур и параметров адаптивно-взаимосвязанного управления режимами работы автотракторного дизеля по векторному критерию качества.

С целью более эффективной организации НИР, проводимых по широкому кругу проблем, в 1988 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана создан НИИ энергетического машиностроения. С этого момента научные и практические исследования САР и САУ проходят в Лаборатории систем управления теплоэнергетических установок НИИЭМ, заведующим которой является В.И. Шатров.

В 90-х г.г. по заданию МинВУЗа в лаборатории автоматики были организованы исследования влияния угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) на показатели транспортного дизеля. На основании анализа результатов проведенных в НАМИ испытаний одноцилиндровой установки дизеля типа КамАЗ предложен обобщенный критерий оптимальности, базирующийся на показателях топливной экономичности и токсичности ОГ, позволяющий определять оптимизированные характеристики управления УОВТ. Была разработана конструкция топливного насоса высокого давления (ТНВД), адаптированного для управления УОВТ по сложным законам (так называемый «двухречный» топливный насос). В этом ТНВД изменение УОВТ осуществлялось установленной на плунжере подвижной втулкой, кинематически связанной с дополнительной рейкой.

В 1991 г. коллектив авторов этой разработки – В.И. Крутов, И.В. Леонов, В.А.Марков, В.И. Шатров (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Л.Л. Михальский (НАМИ) – участвовал во всесоюзном конкурсе «Турбо», посвященном созданию экологически чистых автомобильных дизелей. Работа этого коллектива «Унифицированная электронная система оптимального управления турбопоршневым двигателем» признана Президиумом центрального правления научно-технического общества машиностроительной промышленности лауреатом этого конкурса.

Продолжением этих работ явилась разработка группой специалистов Ногинского завода топливной аппаратуры (НЗТА), АМО «ЗиЛ» и МГТУ им. Н.Э. Баумана (В.А. Марков, А.Г. Кузнецов, В.И. Шатров, В.Л. Трифонов, Е.А. Сиротин, В.А. Павлов) ТНВД с управляемым УОВТ с помощью электромагнитного клапана, установленного в дополнительном отверстии втулки плунжера. Был изготовлен опытный образец ТНВД типа УТНМ с электронной системой управления подачей топлива и УОВТ. Испытания этого ТНВД в составе двигателя Д-245 Минского моторного завода, устанавливаемого на автомобиле «Бычок» производства «ЗиЛ» и тракторы «Беларусь», были проведены на моторном стенде ЗиЛ и подтвердили возможность значительного улучшения экономических и экологических показателей дизеля с таким топливным насосом. По результатам этих работ в 2000 г. В.Л. Трифонов (научные руководители – В.И. Крутов и А.Г. Кузнецов) защитил кандидатскую диссертацию на тему «Улучшение экологических показателей дизелей путем использования микропроцессорной системы управления».

Следует отметить, что В.И. Крутов большое внимание уделял вопросам разработки и совершенствования электронных систем управления ДВС. Доклады по данной тематике делали постоянные участники ВНТС – Г.П. Покровский, Ф.И. Пинский, Б.Я. Черняк, П.В.

Федоров, Б.П. Парфенов, Б.П. Колосов и др. В.И. Крутов опубликовал ряд работ, посвященных электронному управлению работой ДВС, среди которых можно выделить три учебных пособия [2-4].

Под руководством В.И. Крутова сотрудник Научно-исследовательского института тракторных и комбайновых двигателей (НИКТИД) В.В. Минцев защитил в 1991 г. кандидатскую работу «Разработка и исследование микропроцессорной системы автоматического управления частотой вращения тракторного дизеля», в которой предложена методика синтеза алгоритмов формирования внешней скоростной и частичных регуляторных характеристик заданной формы с помощью микропроцессорной САУ на примере дизеля типа 6ЧН 13/14.

В 1980-х годах коллектив авторов ХКБД (г. Харьков) – И.Я. Кричевский, Е.Н. Алымов, Е.В. Павлюк, Л.Б. Синельникова, С.З. Ягудин при участии НИИ двигателей (Б.П. Парфенов, А.Е. Староверов, В.С. Сысоев, В.А. Марков) и МВТУ им. Н.Э. Баумана (В.И. Крутов, А.Г. Кузнецов, В.А. Марков, В.И. Шатров) участвовал в разработках электронных систем управления отечественных дизельных двигателей для военной техники и транспорта, сопоставимых по своим экономическим и экологическим показателям с лучшими зарубежными аналогами. В 1981-88 г.г. были созданы первые отечественные электронные системы управления для дизелей военно-гусеничных машин, производимых заводом им. Малышева (г. Харьков). По результатам этих исследований защитили кандидатские диссертации Е.Н. Алымов (руководитель В.И. Крутов, 1985 г.) и Е.В. Павлюк (1992 г.).

Основатель научной школы автоматического регулирования теплоэнергетических установок в МГТУ им. Н.Э. Баумана, бессменный руководитель ВНТС В.И. Крутов скончался 26 сентября 1994 г. Дальнейшие исследования проводились группой его учеников, работающих в лаборатории автоматики – Ф.М. Даниловым, А.Г. Кузнецовым, В.А. Марковым, В.Л. Трифоновым В.И. Шатровым.

В 1990-х годах сотрудники лаборатории автоматики А.Г. Кузнецов, В.А. Марков, В.И. Шатров, В.Л. Трифонов приняли участие в работах по созданию математических моделей САР дизелей различного назначения Коломенского тепловозостроительного завода, проводимых при участии сотрудников КТЗ Б.П. Колосова, В.М. Лобастова, А.Э. Улановского.

Во второй половине 90-х годов в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с НЗТА проведены работы по совершенствованию процессов топливоподачи, впрыскивания и распыливания топлива, направленные на достижение перспективных норм на токсичность ОГ – EURO-2 и EURO-3 (Л.В. Грехов, В.А. Марков, В.И. Шатров, В.А. Павлов). На основании анализа результатов проведенных расчетных и экспериментальных исследований проанализировано влияние параметров системы топливоподачи (профиля кулачков топливного насоса, диаметра и хода плунжера, длины нагнетательных топливопроводов, параметров распылителя) и режимов ее работы на характеристики подачи топлива. Исследованы возможности увеличения давления впрыскивания и его влияния на показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизеля. Выданы рекомендации по совершенствованию параметров систем топливоподачи, выпускаемых НЗТА. Некоторые результаты этих исследований приведены в книге [5], опубликованной в 2004 г. (второе издание – 2005 г.).

В продолжение этих работ коллектив сотрудников МГТУ им. Н.Э. Баумана, ГТУ «МАДИ», АМО «ЗиЛ» и НЗТА (В.А. Марков, В.И. Мальчук, Е.А. Сиротин, В.А. Павлов) провел исследования процессов топливоподачи, впрыскивания и распыливания топлива с целью оценки возможности корректирования характеристик топливоподачи для улучшения экономических и экологических показателей дизелей АМО «ЗиЛ» и Минского моторного завода, оснащенных топливными системами производства НЗТА. Для этой цели использовались разработанные корректирующие нагнетательные клапаны, обеспечивающие стабилизацию процесса топливоподачи. По результатам этих работ в 2002 г. Е.А. Сиротин

(руководитель В.А. Марков) защитил кандидатскую диссертацию «Улучшение экономических и экологических показателей транспортного дизеля путем совершенствования системы топливоподачи».

В дальнейшем эти работы развивались в направлении совершенствования проточной части распылителей форсунок. Исследовалось влияние числа распыливающих отверстий, их диаметра и длины, геометрии проточной части распылителей на характеристики процессов впрыскивания и распыливания топлива, а также последующих процессов смеобразованием и сгорания. Были изготовлены опытные образцы распылителей на базе серийных распылителей НЗТА и проведены их исследования на моторном стенде АМО «Зил». На основании анализа результатов проведенных исследований даны рекомендации по совершенствованию конструкции распылителей и корректированию характеристик процессов впрыскивания и распыливания топлива. По результатам этих работ в 2005 г. докторант кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана С.Н. Девянин (научный консультант В.А. Марков) защитил докторскую диссертацию «Улучшение эксплуатационно-технических показателей быстроходного дизеля совершенствованием процессов впрыскивания и распыливания топлива» и была опубликована монография [6].

В 2003-2005 г.г. коллективом сотрудников МГТУ им. Н.Э. Баумана (В.А. Марков, И.В. Станкевич, Н.Д. Чайнов, А.Г. Кузнецов, В.И. Шатров, В.Л. Трифонов) по заказу Секции прикладных проблем при Президиуме РАН проведена НИР «Поисковые исследования путей создания комбинированных ДВС нового поколения на основе использования многофакторного управления поршневой частью, турбиной и компрессором». Результаты этих исследований использованы при разработке перспективных дизелей военной техники.

В настоящее время в лаборатории «Автоматика», на кафедрах «Поршневые двигатели» и «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся научно-исследовательские работы по следующим направлениям:

- математическое моделирование САР дизелей автотракторного назначения (В.А. Марков, Е.Е. Полухин, И.В. Станкевич, В.И. Шатрова, М.И. Шленов);
- полунатурное моделирование САР тепловозных и автомобильных дизелей (А.Г. Кузнецов, В.Л. Трифонов, А.Н. Боковиков);
- использование в качестве топлива для транспортных дизелей альтернативных топлив – диметилового эфира, рапсового масла и их смесей с дизельным топливом, газовых топлив и других альтернативных топлив (Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков, В.И. Шатров, А.И. Гайворонский, С.Н. Девянин, Д.А. Коршунов, А.А. Ефанов, А.А. Зенин);
- согласование характеристик систем топливоподачи и воздухообеспечения (С.Н. Девянин, В.А. Марков, А.В. Микитенко).

Некоторые результаты этих исследований опубликованы в учебниках [5,7], в монографиях [8,9], а также в статьях в ведущих научно-технических журналах – «Известия ВУЗов. Машиностроение», «Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение», «Автомобильная промышленность» и ряде других.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крутов В.И., Рыбальченко А.Г. Регулирование турбонаддува ДВС. - М.: Высшая школа, 1978. - 213 с.
2. Крутов В.И., Кузнецов А.Г., Заболоцкий В.П. Основы применения микропроцессорной техники в автоматическом управлении теплоэнергетическими установками. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1989. - 54 с.
3. Электронные системы регулирования и управления двигателями внутреннего сгорания. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1991. - 138 с.
4. Расчет характеристик электронной системы управления дизелем / А.Г. Кузнецов, В.А. Марков, В.Л. Трифонов и др. - М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 20 с.

5. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для ВУЗов. - М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2004. - 344 с.
6. Марков В.А., Девянин С.Н., Мальчук В.И. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 360 с.
7. Теплотехника /А.М. Архаров, Н.А. Иващенко, А.Г. Кузнецов, В.И. Шатров и др. Под ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева. - Учебник для ВУЗов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 712 с.
8. Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. - М.: ИРЦ «Газпром», 2007. - 480 с.
9. Поликер Б.Е., Михальский Л.Л., Марков В.А. и др. Дизельные двигатели для электроагрегатов и электростанций. - М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2006. - 328 с.