

Газообмен и наддув двигателей

Со времени основания специальности ДВС в ИМТУ направление работ, связанных с исследованиями наддува и газообмена в двигателях, всегда являлось одним из самых основных. Еще в 1906 г. основатель кафедры проф. В.И.Гриневецкий рассчитал и спроектировал конструкцию двухтактного двигателя, в котором, помимо основного цилиндра, где происходило сжатие, сгорание топлива и рабочий ход, имелись компрессорный цилиндр и цилиндр для последующего расширения выпускных газов. В 1909 г. этот первый в России КДВС, предназначенный для тепловозов, был построен на Путиловском заводе, однако довести его не удалось из-за недостатка средств и в связи с началом Первой мировой войны.

В дальнейшем, благодаря многолетним исследованиям проф. А.С. Орлина в области газообмена и наддува, отечественная наука и практика здесь утвердились на самых передовых позициях. В книгах, выпущенных в 30-70 г.г., впервые представлено систематическое рассмотрение особенностей нестационарных газодинамических процессов в газоздушном тракте КДВС, показано их значение, представлены методы экспериментального исследования и расчета. Для моделирования наполнения и очистки цилиндров совместно с М.Г.Кругловым были разработаны критериальные зависимости. В практику расчетов нестационарных течений были внедрены самые совершенные методы газовой динамики. В частности, Кругловым М.Г. была отработана графическая реализация численного метода характеристик с плавающей сеткой в комплексе с необходимыми граничными условиями на местных сопротивлениях газоздушного тракта. С использованием такого подхода Иващенко Н.А. и Ивиным В.И. впервые было выполнено численное моделирование нестационарного газообмена двухтактного мотоциклетного двигателя с кривошипно-камерной продувкой.

С 50-х г.г. на кафедре широко развернулись работы по форсированию двигателей наддувом, выбору и оптимизации схем комбинированного наддува. Продолжая исследования А.С.Орлина, этими проблемами занимались Б.Г.Либрович, И.Н.Нигматуллин, М.М.Чурсин, М.Г.Круглов. Рассматривались двигатели всех классов: авиационные, автомобильные, тепловозные и судовые, применялись различные типы агрегатов наддува – приводные объемные нагнетатели и свободные турбокомпрессоры.

В дальнейшем, в 70-80-х г.г. под руководством М.Г.Круглова проводились исследования по согласованию характеристик агрегатов наддува и поршневой части, определению располагаемой энергии газов перед турбиной, расчету взаимодействия нестационарных потоков с турбиной и компрессором. Этим вопросам были посвящены работы Я.А.Егорова, В.Ф.Федюшина, А.А.Меднова, Р.З.Кавтарадзе, Ю.А.Гришина. Проводились работы по созданию турбин и компрессоров нового типа – тороидальных. Для транспортных двигателей были спроектированы, изготовлены и переданы для внедрения новые системы пневмопуска на базе тороидальной турбины (Гришин Ю.А.). Эти системы имеют значительные преимущества перед традиционными электрическими, в особенности, при низких температурах.

В этот период были значительно расширены экспериментальные исследования газообмена в первую очередь двухтактных двигателей (Козлов Н.П., Ивин В.И., Ефимов С.И., Рогов В.С., Стрелков В.П., Меднов А.А., Агапитов О.Н., Гришин Ю.А., Савенков А.М., Маслов Ю.Л.). Создавались различные стенды, статические и динамические модели, ударные трубы, динамические устройства отбора газовых проб, замера давления и температуры. Применялись высокоскоростная киносъемка, ионоанометры, для фотографирования отрывных потоков использовались оптические шпирен-приборы. В результате большого объема исследований органов впуска и выпуска двух- и

четырёхтактных двигателей были получены практические рекомендации и конструкторские решения, внедрение которых на заводах двигателестроения дало значительный экономический эффект (Ивин В.И., Грехов Л.В., Стрелков В.П., Гришин Ю.А., Савенков А.М.).

В продолжение работ А.С.Орлина с индивидуальными впускными трубами проводились исследования динамического наддува двигателей. Было показано, что подбором геометрии труб, в первую очередь длины, мощность двигателей может быть увеличена на 20-30 % (Роганов С.Г., Ивин В.И., Гришин Ю.А.). Обработка большого объема результатов экспериментов позволила получить физическую концепцию явлений форсирования двигателей по мощности и снижения удельного расхода топлива при динамическом наддуве, были получены простые соотношения для геометрии настроенных впускных труб (Гришин Ю.А.).

В 70-90 г.г. в связи с бурным развитием вычислительной техники и компьютерного моделирования на кафедре при расчетах течений в газоздушных трактах двигателей начали использоваться самые передовые численные методы газовой динамики – метод характеристик, распада разрыва и крупных частиц (Круглов М.Г., Ивин В.И., Меднов А.А., Березин С.Р., Рудой Б.П., Гришин Ю.А.). Примеры эффективного применения этих методов для решения задач в ДВС изложены в монографиях «Газовая динамика КДВС» (Круглов М.Г., Меднов А.А.) и «Численное исследование актуальных проблем машиностроения и механики сплошных и сыпучих сред методом крупных частиц» (Гришин Ю.А.). В расчетных исследованиях активное участие принимали аспиранты кафедры Апциаури А.З., Горбачев С.Ю., Гусев А.В., Каримов А.Н., Карпов А.В., Клименко С.А., Козлов В.А., Лашко В.А., Манджгаладзе А.А., Нефедов В.А., Пурцхванидзе Г.Н., Ходин Л.А.

В этот период были предложены важные для практического применения при многомерном моделировании в ДВС методики, учитывающие подвижную границу у поршня (Меднов А.А.). С помощью неявных представлений для расчетных сеток методов крупных частиц и распада разрыва разработаны новые модификации этих методов, многократно сокращающие время вычислений (Гришин Ю.А.). На базе создания системы нестационарных газодинамических функций, а также экспериментов на модельных установках были предложены новые граничные условия у органов газораспределения, разветвлений трубопроводов и агрегатов наддува, существенно уточняющие результаты расчета нестационарного газообмена.

Авторы этих разработок неоднократно выступали с докладами на научных семинарах и конференциях по прикладной математике и гидродинамике в институтах АН СССР и РАН.

На базе новых эффективных версий пространственного метода крупных частиц на кафедре создан программный комплекс NSF (Non Steady Flow), использованный для большого числа практических работ (Гришин Ю.А., Кулешов А.С., Каримов А.Н.).

Модификация метода распада разрыва, учитывающая диссипативные явления, была применена также и для моделирования нестационарного течения топлива в трубопроводах топливоподающей аппаратуры (Грехов Л.В., Гришин Ю.А.).

С помощью экспериментов на моделях, пространственного численного моделирования и последующих стендовых испытаний были получены конструктивные рекомендации по улучшению характеристик коллекторов и органов газообмена большого числа двухтактных и четырехтактных двигателей, что привело к заметному увеличению их мощности и снижению удельного расхода топлива. Это двигатели заводов "Русский

дизель" (61Б-31), ЯМЗ (ЯМЗ-752,-236Н), ЗиЛ (ЗиЛ-130, -375, -645), КАЗ (КАЗ-642), КТЗ им. В.В.Куйбышева (Д42) и ХЗТМ им.В.А.Мальшева (6ТД).

После открытия на кафедре специализации "Двигатели спецназначения" проводились работы в области авиационных двигателей и других силовых установок. По заказу ЦАГИ и чешского завода ЛОМ, выпускающего поршневые авиадвигатели, выполнены исследования и выданы рекомендации по значительному увеличению мощности двигателя М-337А, устанавливаемого на отечественных самолетах авиации общего назначения. Для версии роторно-поршневого двигателя ВАЗ-430, устанавливаемого на вертолет МИ-34, отработана система дополнительного эжекторного охлаждения. Выполнена расчетная доводка рабочего процесса аксиального двухтактного авиадизеля ТДА-450, с помощью пространственного математического моделирования спроектированы впускная и выпускная система этого двигателя.

По заданию авиационной промышленности кафедра принимала участие в отработке конструкции трансформируемого сопла для турбореактивного двигателя АЛ-31, устанавливаемого на самолет Су-27. Моделировались режимы изменения направления вектора тяги, реверса и получения эжекции, увеличивающей тягу двигателя. Для гражданской модификации этого двигателя, используемой в газоперекачивающих станциях, с помощью численного моделирования была разработана новая конструкция выхлопной системы с уменьшенными газодинамическими потерями. Это позволило применить дополнительные теплообменники и глушители шума выхлопа, что значительно улучшило экологические характеристики станций. Было проведено усовершенствование выпускного тракта свободнопоршневого генератора газов, применяемого на спецтехнике в системе электропитания подвижной пусковой установки. В результате снижения газодинамических потерь, пульсаций давления перед турбиной и улучшения равномерности выпуска по окружности пояса выпускных окон были значительно улучшены энергетические характеристики системы.

Все эти работы были проведены с использованием вычислительного эксперимента на базе программного комплекса NSF.