

Совершенствование конструкций и прочностной анализ поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания

Проблема повышения прочности базовых узлов и деталей двигателей внутреннего сгорания традиционно занимала важное место в научной и учебно-педагогической работе кафедры (Э2), что имеет место и в настоящее время. При этом по мере непрерывного форсирования двигателей по удельной и агрегатной мощности, повышению требований к экономичности, экологическим, массо-габаритным показателям, а также надежности значение исследований в области тепловой и механической напряженности поршневых двигателей постоянно повышается.

В МВТУ на кафедре “Двигатели внутреннего сгорания” первоначально внимание было сосредоточено на подвижных деталях кривошипно-шатунного механизма: коленчатом вале, шатуне, вопросам прочности которых уделялось особое внимание применительно к авиационным поршневым двигателям. Именно с глубоким изучением прочности этих важнейших и характерных деталей двигателя связаны работы заведующего кафедрой, профессора, д.т.н. А.С.Орлина и профессора кафедры, д.т.н. Ф.Ф.Симакова, который также проводил систематические исследования в области крутильных колебаний транспортных установок с поршневыми двигателями. Итогом этих работ была докторская диссертация, защищенная Ф.Ф.Симаковым в 1959г.

Относительно невысокий уровень удельной мощности поршневых двигателей того времени и высокий начальный прочностной потенциал базовых теплонапряженных деталей (поршень, головки и втулки цилиндров, клапаны) наряду с высокой геометрической сложностью не способствовали быстрому развитию исследований в области прочности этой группы деталей двигателя. При анализе прочности коленчатых валов, шатунов и элементов механизма газораспределения использовались упрощенные схемы, базирующиеся на методах сопротивления материалов. При этом сложная деталь, например, шатун условно разбивалась на отдельные, не связанные друг с другом, элементы, которые затем рассчитывались по упрощенным схемам.

Существенное повышение литровой и агрегатной мощности за счет роста давления наддува, а в случае двигателей с принудительным воспламенением и частоты вращения выдвинуло к началу 60-х годов на одно из важнейших мест проблему снижения теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы, образующих камеру сгорания двигателя. Кафедра двигателей и проблемная лаборатория МГТУ им. Н.Э.Баумана сразу развернули широкие расчетные и экспериментальные исследования в этой области.

Уже в 1959г. Н.Д.Чайновым были начаты расчетно-экспериментальные исследования термпрочности головок цилиндров и герметичности газового стыка форсированных дизелей. Впервые был разработан метод расчета теплового и напряженно-деформированного состояния головки (крышки) цилиндра – одной из наиболее сложных и теплонапряженных деталей поршневого двигателя. Начиная с этого времени, работы в области прочности и в том числе термпрочности узлов и деталей двигателей приобрели на кафедре системный характер. В 1964г. Н.Д.Чайновым была защищена кандидатская диссертация “Исследование характера напряженного состояния головок автотракторных дизелей”.

Под руководством А.С.Орлина в тесном сотрудничестве с Коломенским заводом была выполнена серия диссертационных работ по повышению прочности базовых деталей форсированных среднеоборотных дизелей, нагруженных циклическими силами давления газов и инерции, (сварно-литых блок-картеров – Васильевым Г.Л., коленчатых валов – Котельниковым Л.Д., шатунов – Казанской А.М., втулки цилиндра – Кужелевым В.П.). Результаты обширных расчетно-экспериментальных исследований были обобщены и представлены в монографии “Совершенствование основных узлов турбопоршневых

двигателей” под редакцией А.С.Орлина, 1974г. Следует отметить кандидатскую работу аспиранта кафедры Э-2 В.Г.Заренбина (1967г.), экспериментальная часть которой была выполнена на Уральском Турбомоторном заводе. Позже, в 1995г., В.Г.Заренбин, будучи заведующим кафедрой Днепропетровского инженерно-строительного института, защитил в МГТУ им. Н.Э.Баумана докторскую диссертацию, посвященную работоспособности цилиндропоршневой группы быстроходных дизелей.

В дальнейшем исследования теплового и напряженно-деформированного состояния головок (крышек) цилиндров двигателей различных типов постоянно расширялись. Это было обусловлено большим количеством разрушений крышек цилиндров в эксплуатации, вызванных главным образом термоусталостью. Под руководством А.С.Орлина и Н.Д.Чайнова была выполнена серия диссертационных работ в области тепловой напряженности головок (крышек) цилиндров дизелей (Ю.С.Мосин, В.М.Фомин, В.Е.Тимофеев, А.М.Озеров, Ю.И.Сазонов). Наряду с расчетными методами анализа, была разработана и доведена до систематического практического применения методика высокотемпературного тензометрирования огневого днища головок на работающем двигателе. В проблемной лаборатории кафедры был создан комплекс экспериментальных установок, включающий безмоторные стенды (в том числе горячие), позволяющие воссоздать условия нагружения (тепловые и механические) деталей цилиндропоршневой группы высокофорсированных дизелей. Модельные установки с различными системами нагрева, включая оптический с помощью галогеновых ламп, позволили обеспечить требуемую локальность теплового нагружения деталей, образующих камеру сгорания дизеля, и надежно воссоздать температурные поля теплонапряженных деталей, близкие к полученным на работающих двигателях. Созданный лабораторный комплекс широко использовался как при проведении хозяйственных работ с промышленностью (НИИД, Коломенский завод), так и в учебном процессе.

Впервые в рамках дисциплины “Конструирование поршневых двигателей” стал проводиться лабораторный практикум для студентов, включая термо- и тензометрирование базовых теплонапряженных деталей двигателя. Многие студенты, принимавшие активное участие в проектировании и создании лабораторной базы, в дальнейшем, будучи аспирантами, подготовили и успешно защитили кандидатские, а некоторые из них и докторские диссертации. В общем по направлению, связанному с тепловой напряженностью головок (крышек) цилиндров, было выполнено 12 кандидатских работ. В дополнение к указанным выше аспирантам и соискателям следует назвать И.В.Станкевича (защитившего впоследствии докторскую диссертацию), Сальникова М.А. (ведущего специалиста в области крышек цилиндров на Коломенском заводе), Руссинковского С.Ю. (ныне главного конструктора Владимирского тракторного завода), Григорьева О.Г., Белова В.В., Краснокутского А.Н. (доцента кафедры “Поршневые двигатели” МГТУ им. Н.Э.Баумана).

Кафедра впервые систематически начала вести хозяйственные работы по заказу ведущих двигателестроительных заводов и НИИ (Коломенский тепловозостроительный завод, НИИД, ЯМЗ (впоследствии “Автодизель”) и др.)). Широкое внедрение в расчетную практику численных методов и, в первую очередь, метода конечных элементов расширило тематику прочностных исследований на кафедре, охватив практически все основные детали и узлы двигателя. Кафедра явилась одной из первых в СССР, освоившей МКЭ применительно к анализу температурного и напряженно-деформированного состояний деталей форсированных дизелей, что нашло отражение в кандидатской диссертации Н.А.Иващенко “Исследование тепловой напряженности форсированных дизелей” (1974г.)

Обобщение комплекса расчетно-экспериментальных исследований в области тепловой напряженности форсированных дизелей было дано в докторской диссертации Н.Д.Чайнова “Исследование теплового и напряженно-деформированного состояния головок цилиндров двигателей внутреннего сгорания” (1975г.). Прочностная тематика заняла важное место в научной работе кафедры. В 1994г. была защищена докторская

диссертация Иващенко Н.А. “Прогнозирование температурных полей и деталей поршневых двигателей”, внесшая существенный вклад в расчет нестационарных температур основных деталей двигателя на базе современных численных методов.

При создании нового двигателя с высокими технико-экономическими показателями традиционно важное место занимала разработка конструкции поршневой группы – центрального базового узла поршневого мотора. Исследования теплового и напряженно-деформированного состояния различных типов поршней, включая составные конструкции, изучение условий их охлаждения и взаимодействия в процессе работы с сопряженными деталями, оценка возможности применения различных материалов, включая нетрадиционные (керамические, композиционные, интерметаллиды), заняли видное место в научно-исследовательской тематике кафедры. По данному направлению было подготовлено и успешно защищено свыше 12 кандидатских диссертаций. Следует отметить работы А.В.Тимохина (защитившего впоследствии докторскую диссертацию по “поршневой тематике”), Р.А.Мгеладзе, Петрова В.Б., Сущина А.А., Сидорова А.А., Чернеевой Г.Е., Иванченко А.Б., Оболонного И.В., Лощакова П.А., Майорова А.В., Каренькова А.В.

Достоверная оценка теплового и напряженно-деформированного состояния деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), помимо прочностного аспекта, имеет важное значение при математическом моделировании рабочих процессов в цилиндре двигателя и всего рабочего цикла в целом. Здесь следует отметить работу Н.В.Петрухина, выполненную под руководством Н.А.Иващенко и посвященную изучению рабочего процесса и тепловой напряженности ЦПГ двигателей с уменьшенным теплоотводом в стенки от рабочего тела.

При моделировании теплового состояния теплонапряженных деталей двигателя необходима достоверная оценка не только условий теплообмена на поверхностях нагрева деталей со стороны горячих газов и охлаждающих жидкостей, но и учет взаимовлияния и взаимозависимости температурных полей сопряженных деталей. Стационарные температурные поля на установившемся режиме работы двигателя должны быть согласованы между собой. Речь в первую очередь идет о сопряжениях поршень – поршневые кольца – втулка цилиндра, а также головка (крышка) цилиндра – клапаны и крышка – втулка цилиндра. В условиях широкого использования универсальных пакетов программ моделирования теплового и напряженно-деформированного состояния эффективность применения этих пакетов в значительной мере определяется наличием ориентированных именно на поршневые двигатели методик и алгоритмов, призванных обеспечить взаимовлияние и согласованность температурных полей элементов двигателя при моделировании. По данному направлению в настоящее время проводятся глубокие исследования и работает группа аспирантов кафедры.

Повышение технико-экономических показателей поршневых двигателей в значительной степени связано с применением новых материалов, обладающих меньшей плотностью при высоких теплофизических и механических показателях. Применение легких материалов, позволяющих уменьшить на 30-50% массу клапанов, клапанных пружин, шатунов, поршней и др. деталей, делает возможным повысить топливную экономичность, улучшить экологические показатели двигателей, в частности, понизить уровень структурного шума, излучаемого двигателем при работе.

На кафедре были выполнены обширные расчетно-экспериментальные исследования тепловой напряженности клапанов, выполненных из интерметаллида (алюминид титана), современных быстроходных автомобильных двигателей. Экспериментально на тепловом стенде была показана высокая работоспособность интерметаллидного выпускного клапана в условиях повышенных тепловых нагрузок. На базе выполненных исследований была подготовлена и успешно защищена кандидатская диссертация Д.Б.Лукиным.

Возможность использования другого нетрадиционного материала – слоистого композиционного материала исследовалась применительно к шатуну – одной из наиболее

нагруженных деталей двигателя. В диссертационной работе Л.Л.Мягкова (ныне доцента кафедры Э-2) разработана методика прочностного анализа шатуна, проведена оптимизация структуры слоистого материала. Спроектированные и изготовленные шатуны успешно прошли длительные испытания в условиях эксплуатации на двигателе.

Повышение уровня математического моделирования на современном этапе находит отражение в исследованиях в области динамики и прочности, проводимых на кафедре. Здесь следует отметить работы, посвященные созданию методик расчета вибрации и структурного шума, излучаемого корпусными деталями двигателя, на базе методов конечных и граничных элементов.

По заданию промышленности (“Автодизель”ЯМЗ) был выполнен широкий круг расчетно-экспериментальных исследований с использованием заводской экспериментальной базы. Результаты проведенной работы нашли отражение в кандидатской диссертации В.С.Русинковского, посвященной созданию методов расчета вибрации и структурного шума автомобильных дизелей.

Важно подчеркнуть, что на протяжении всех последних лет работа кафедры по данному направлению тесно связана с запросами промышленности. Несмотря на сложное финансовое положение отечественных заводов-производителей, последние находили возможность принимать участие в финансировании многих из перечисленных работ. Здесь в первую очередь следует отметить Коломенский завод, выпускающий современные высокофорсированные среднеоборотные двигатели, и объединение “Автодизель”(г.Ярославль), специализирующийся на производстве форсированных быстроходных транспортных дизелей. О тесной связи с промышленностью говорит и тот факт, что ряд диссертационных работ по данному научному направлению был выполнен на кафедре по заданию заводов. Это диссертационные работы М.И.Раенко, В.Г.Быкова, В.В.Печенина (Коломенский завод) и упомянутые выше работы Сальникова М.А., Лошакова П.А., Григорьева О.Г., Тимофеева В.Е. и др.

Возрастающие требования по повышению надежности современных двигателей всех назначений в условиях их непрерывного форсирования по среднему эффективному давлению и максимальному давлению цикла заставляют обратить особое внимание на прочностную надежность базовых узлов и деталей двигателей, связанную с высокой и стабильной их конструкционной прочностью. Учитывая сложный и нестабильный характер нагружения деталей двигателя в эксплуатации, а также разброс прочностных свойств материалов при изготовлении деталей, все большее внимание уделяется использованию статистических оценок прочности элементов поршневых двигателей. На кафедре Э-2 развернуты работы по созданию методик оценки прочности шатунов и крышек цилиндров на базе адаптации современных методов прочностной надежности.

По перечисленным выше направлениям подготовлены кадры высшей квалификации для ряда вузов Российской Федерации и республик бывшего Союза. Здесь прежде всего следует назвать кафедру Э-2 МГТУ им. Н.Э.Баумана, а также кафедры Владимирского государственного университета, Коломенского филиала Открытого университета и др. высших учебных заведений.

Плодотворная деятельность ученых кафедры в области совершенствования конструкций и прочностного анализа базовых узлов и деталей поршневых и комбинированных двигателей получили всеобщее признание в научно-технических кругах. Кафедра была в свое время признана головной среди вузов СССР в области динамики и прочности двигателей внутреннего сгорания.

В настоящее время ученые кафедры, а также аспиранты и студенты постоянно участвуют в научно-технических конференциях, в том числе международных (Украина), выступая с научными докладами по актуальной тематике современного двигателестроения. О научных достижениях кафедры общественность регулярно информируется через периодическую печать.

Результаты научных исследований в области прочности узлов и деталей двигателей постоянно внедряются в учебный процесс на кафедрах двигателей как в МГТУ им. Н.Э.Баумана, так и других вузов, где преподавателями являются бывшие аспиранты кафедры “Поршневых двигателей” МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Основные научные результаты в области конструирования и прочностного анализа поршневых двигателей отражены в учебниках, учебных пособиях, монографиях и многочисленных научных статьях в отечественных и зарубежных изданиях. Это учебники и учебные пособия:

“Конструкция и расчет поршневых и комбинированных двигателей” под ред. А.С.Орлина, Машиностроение 1972г. (удостоен Госпремии в 1974 г.);

“Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей” под ред. А.С.Орлина и М.Г.Круглова, Машиностроение 1984г.

“Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей” Машиностроение 1990г.

“Расчеты нагрузок в элементах КШМ и прочности коленчатых валов поршневых машин”. Учебное пособие. Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана 2000г.

“Математическое моделирование полей температур, деформаций и напряжений в деталях ЦПГ поршневых двигателей”. Учебное пособие. Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана 2003г.

В настоящее время подготовлен к изданию учебник “Конструирование двигателей внутреннего сгорания” объемом 35п.л. под ред. Н.Д.Чайнова с выпуском из печати в 2007г. в изд-ве Машиностроение.