

благоприятных условиях находятся нижний выпускной и нижний впускной каналы. Течение вокруг них незначительно до высоты порядка половины высоты нижней полости. Образовавшиеся вторичные вихри блокируют теплообмен, ведя к необоснованному перегреву крышки.

Получены следующие результаты:

- в базовом варианте крышки определены застойные зоны, приводящие к перегреву днища крышки;
- решена сопряженная задача определения температурного поля крышки цилиндра;
- учет процессов переноса в охлаждающей жидкости позволил подтвердить эффективность проведенной модификации, это говорит о целесообразности дальнейшего использования сопряженных расчетов при проектировании.

Литература:

1. Стефановский Б.С. Исследования локальных граничных условий теплонапряженных деталей поршневых двигателей. – Ярославль: Дис... д.т.н., 1974. – 300с.
2. Петриченко Р.М. Системы жидкостного охлаждения быстроходных двигателей внутреннего сгорания. - Л.: Машиностроение, 1975. – 224с.
3. Лабунцов Д.А. Теплоэнергетика, 1960, №5, с.79 – 81, №7, с. 76 – 80.
4. Мягков Л.Л., Стрижов Е.Е., Маластовский Н.С. Моделирование теплового состояния крышки цилиндра дизеля с учетом течения жидкости в полости охлаждения. Труды 16 Школы – семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках» – М.: Издательский дом МЭИ, 2007г.-С.
5. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений. – Балт. гос. техн. ун – т. СПб., 2001. 108 с.
6. Лаундер Б.Э. Сполдинг Д.Б. Лекции по математическим моделям турбулентности. – М.: Технический перевод, 1976. – 175с.

ДВС КАК ЗЕРКАЛО И СТИМУЛЯТОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

Эфрос В.В. (Владимирский государственный университет)

Первый ДВС, пригодный для практической эксплуатации, построен Этьеном Ленуаром в 1860 г. Это был двигатель, работавший на светильном газе с воспламенением от электрической искры при КПД близком к КПД паровой машины (4,0 – 4,5%). Патент на него содержал принцип всасывания в цилиндр воздуха и газа, а также прообраз испарительного карбюратора. Двигатель Ленуара естественно был создан на базе предшествующих теоретических и практических достижений (Ньютон, Торичелли, Паскаль, Геррике, Гюйгенс, Ползунов, Севери, Уатт, Мердок, Карно).

Революционным шагом к массовому использованию ДВС, явился изготовленный в 1876 г. четырехтактный двигатель Н. Отто (КПД 9-12 %, удельные мощности в 10 раз более высокие, чем у двигателя Ленуара). В двигателях Отто впервые реализовано воспламенение сжатой в цилиндре рабочей смеси. Развитие бензиновых двигателей было стремительным – в 1880-1890 г.г. их мощность достигла 400 кВт, что привело к активному расширению использования ДВС в машинах раз-

личного назначения. 1886 год принято считать началом автомобилестроения (Даймлер, Бенц, Майбах).

Рост производства ДВС породил проблемы, требующие новых знаний и решений. Приведем в качестве примера только одну, не самую сложную задачу – систему зажигания (Даймлер – нагреваемая снаружи калильная трубка, Бенц – катушка Румкорфа, в 1894 г. механический прерыватель электрической цепи, в 1902 г. фарфоровый изолятор свечи). Работы шли широким фронтом. К их результатам специалисты часто обращаются до сих пор (в 1884 г. было успешно осуществлено впрыскивание бензина на тарелку впускного клапана). В 1900 г. на Всемирной выставке представлено более 200 моделей автомобилей с различными двигателями.

На начальном этапе наиболее важно было решение двух основных задач – повышения экономичности и увеличения агрегатной мощности. Последнее, прежде всего, для повсеместного замещения паровой машины. Однако, на базе бензинового двигателя эта задача решения не имела.

В 1893 г. Р. Дизель изложил основы рабочего процесса ДВС с самовоспламенением топлива от сжатого воздуха, более приближенного к циклу Карно, чем процесс, протекающий в двигателе Отто. В 1894 г. такой двигатель, названный впоследствии “дизелем” был построен, а вслед за этим также началось их стремительное распространение. Например, Россия в 1903 г. уже производила дизели мощностью 600-1200 кВт, в том числе способные работать на керосине, мазуте, сырой нефти.

Расширяющиеся применение ДВС обоих типов привело к созданию научно-технических школ, работающих в направлениях совершенствования двигателей в целом, их деталей, узлов, агрегатов и систем, а также производства и эксплуатации. Появились теории рабочих процессов в ДВС и созданные на их базе методы расчета (В.И. Гриневецкий и др.), возникла реальная потребность в инженерах-двигателестроителях.

К началу первой мировой войны уже производились двух- и четырехтактные бензиновые двигатели и дизели, с жидкостным и воздушным охлаждением, двух- и четырех-клапанные, с одним и двумя распределительными валами, с двумя уравнивающими валами, с различными камерами сгорания. Трубчатые и змеевиковые радиаторы уступили место сотовым, широко применялось гильзо-золотниковое распределение, изготавливались компактные предкамерные дизели с системами впрыска высокого давления, немного позднее начали устанавливать электростартеры и термостаты. В 1915 г. Форд выпустил 1 млн. автомобилей.

В первой мировой войне ДВС уже широко применялись, хотя решающая роль им не принадлежала. Однако стало очевидным, что следующая война обязательно будет войной моторов.

В период между первой и второй мировыми войнами требования к ДВС резко усложнились, началось активное соперничество между бензиновыми ДВС и дизелями, между 2-х и 4-х-тактными двигателями (особенно среди тяжелых дизелей), между жидкостным и воздушным охлаждением и т.п. Все это привело к бурному развитию научных, конструкторских, технологических и производственных школ. Важнейшими показателями на этом этапе стали экономичность, удельная и максимальная мощности, масса, габариты, универсальность применения, ресурс, удовлетворение требований военной техники. Все это привело к созданию новых методов расчетов, материалов, методологий исследований, конструирования и испытаний, технологий обработки. Вклад российских ученых и конструкторов в эту гигантскую работу переоценить невозможно (Н.Р. Бриллинг, Е.К. Мазинг, Б.С. Стеч-

кин, А.К. Мартенс, Е.Д. Львов, Н.Ш. Нейман, С.В. Серенсен, Р.С. Кинасошвили, А.И. Толстов, Н.В. Иноземцев, конструкторы авиационных, танковых и судовых двигателей). Многое из сделанного в этот период в дальнейшем послужило основой для развития реактивных, ракетных, газотурбинных двигателей и плазменных энергоустановок.

Используя достижения науки конструкторы начали смелее повышать максимальные и средние давления цикла и соответственно улучшать экономические показатели и увеличивать мощности ДВС, применять алюминиевые поршни, блоки и головки цилиндров, новые стали и бронзы, лужение и анодирование поршней, азотирование коленчатых валов, принудительные системы смазывания и фильтрации моторного масла, топлива и всасываемого воздуха, устанавливать демпферы крутильных колебаний. Были сделаны первые шаги в снижении шумности работы. Появились бензины с присадкой ТЭС и шкала октановых чисел (1926 г.). Началось применение наддува, дизелей со встречно-движущимися поршнями, двигателей со сложными компоновками, газогенераторных автомобилей.

Во второй мировой войне, названной войной моторов, победа была обеспечена тем, у кого лучшие моторы. С этой точки зрения СССР был общепризнанным лидером.

В послевоенный период развитие поршневого моторостроения пошло еще более бурными темпами, прежде всего в связи с увеличением выпуска автомобильной техники. Оно превратилось в сферу деятельности многих миллионов работников, гигантского потребителя материальных ресурсов и в мощный фактор воздействия на жизнь всего человеческого сообщества. Этот процесс происходил и в СССР, где были построены крупные моторные (и дизелей и бензиновых двигателей) и специализированные производства. Отдельные достижения периода 1955-1970 г.г. следует отметить особо (полная дизелизация тяжелых грузовых автомобилей, сельскохозяйственной и строительной техники, развитие тепловозных и судовых дизелей, организация крупнейшего в мире производства дизелей с воздушным охлаждением, массовое применение на дизелях турбонаддува и непосредственного впрыска топлива). Пути к этим достижениям прокладывались в том числе российскими учеными, работающими в послевоенный период в высшей школе (А.С. Орлин, М.Г. Круглов, М.С. Ховах, Г.Г. Калиш, Д.Н. Вырубов, И.Н. Ленин, Н.Х. Дьяченко, В.Н. Луканин и многие другие), в институтах АН СССР, в отраслевых НИИ и КБ. В период 1960-1970 г.г. в мире был сделан еще один определяющий шаг – созрело консолидированное понимание определяющей важности, высокой надежности работы двигателя как основы обеспечения достигнутых конструктором показателей, определяющих его технический уровень. Это понимание привело к развитию методологии ускоренных испытаний, пересмотру методов расчетов, технологий и систем управления производством, к ужесточению требований к качеству работы. Важная роль принадлежала здесь также методам автоматизированного проектирования. Все это способствовало прогрессу в области станкостроения, материаловедения, нефтехимии, термообработки и др. Точность обработки деталей ДВС повысилась в разы, зазоры между трущимися деталями существенно уменьшены. В свою очередь высокая надежность создала условия для эффективного использования в конструкциях ДВС достижений в области исследования смесеобразования, горения и систем топливоподачи, явившихся базой для начала активной работы по созданию двигателей, отвечающих требованиям экологии. Одновременно ДВС продолжали впитывать достижения НТП (специальные масла и топлива, турбоагрегаты с новыми качествами, зубчатые ремни, порш-

ни, работающие в алюминиевом блоке, высокопрочные тонкостенные отливки, новые методы упрочнения деталей и др.)

Сегодняшнее мировое двигателестроение достигло впечатляющих результатов, в том числе и в области экологических показателей. В ряде стран уже действуют нормы Евро-4, а в 2008 году вводится Евро-5. Также высоки достижения в создании компактных дизелей (в Германии ими оснащаются уже более 50% выпускаемых автомобилей). Были разработаны требования к средствам электронного управления агрегатами и системами ДВС, которые успешно адаптировались в их конструкции, превратив ДВС в сложную, но надежную и высокоэффективную мехатронную тепловую машину. Удельные параметры и показатели массово выпускаемых ДВС достигнутые в 2006 г. значительно превзошли те, которые ожидалось на это время в 1990 г. Например, средние значения (в выпуске) литровых мощностей при использовании наддува у бензиновых двигателей и дизелей достигли 70 и 50 кВт при удельных массах 1-3 кг/кВт и неуклонном сокращении разрыва между ними за счет более быстрого совершенствования дизелей. Здесь уместно вспомнить, что первый автомобильный двигатель Даймлера имел литровую мощность 1,75 кВт/л и удельную массу 51 кг/кВт, а удельная масса у первого дизеля составляла 330 кг/кВт.

Более 120 лет тепловые двигатели с поступательно-возвратным движением поршня являются основой энергетики мобильного транспорта. Столь длительное господство, не случайно. Оно является следствием уникальных особенностей циклического движения поршня и циклического характера рабочего процесса ДВС, позволяющих реализовать огромный температурный перепад (более 2500°C) при относительно низкой средней температуре цикла, допуская в ходе процесса сгорания лишь мгновенные высокие температуры и давление газа. Последнее обеспечивает возможность использования недорогих конструкционных и эксплуатационных материалов. Применительно к наиболее массовому потребителю – легковому двигателю с мощностью до 300 кВт сегодняшние ДВС удовлетворяют широкому набору жестких требований по экономичности, экологии, массе, габаритам, надежности и др. Не менее важны и такие особенности ДВС как возможность использования альтернативных топлив, жидкостного и воздушного охлаждения, двух- и четырехтактного циклов, различных термодинамических циклов, свобода компоновки, развитые научные производственные и эксплуатационные базы, стоимость, способность к эффективной работе в различных почвенно-климатических условиях.

Попыток вытеснить классический ДВС с легкового автомобиля история знает достаточно (Стирлинг, Ванкель, газовая турбина и др.) Ни одна из них не была удачной. Сегодня можно уверенно прогнозировать, что в обозримом будущем в легковом автомобилестроении эти двигатели не будут реальными конкурентами ДВС. В дальней перспективе в качестве альтернативы ДВС могут выступать малогабаритные термоядерные энергоустановки. Однако, упрощать проблему перехода к альтернативной энергетике и к формированию другой геоэкономики, требующей огромных средств и длительного времени их освоения, не следует [1]. Эта задача даже не завтрашнего дня.

В ближайшие годы будут всемерно ускорены исследования, направленные на разработку новых технологий, результаты которых окажут решающее влияние как на судьбу ДВС, так и термоядерной энергетики в автомобилестроении. Прежде всего, это касается использования водорода в качестве топлива для ДВС и источника энергии в топливном элементе (ТЭ), а также гибридных приводов, в которых

ДВС по-прежнему остается основным источником энергии, но работающим в режиме наиболее выгодном с точки зрения экономичности и экологии. В этих направлениях уже реализуются соответствующие программы НИОКР. Можно уверенно ожидать успешного результата по всем трем направлениям в относительно короткие сроки. Например, вице-президент компании Дженерал моторс (GM) Лоуренс Бернс еще в 2002 г. заявил: “В 2012 г. мы можем пересест на серийные автомобили, которые будут вырабатывать воду, а не отработавшие газы”. Если вспомнить образцы, показанные GM и другими лидерами в 2004 и 2005 г.г., то указанный срок можно считать взвешенным прогнозом. Использование водорода открывает перспективы дальнейшего развития ДВС в качестве силового агрегата автомобиля при сохранении огромного потенциала (материального, технологического, научного, кадрового), накопленного человечеством в этой сфере.

Иное дело ТЭ. Их массовое применение повлечет за собой развитие новых направлений в машиностроении, нефте- и газопереработке, нового научного обеспечения и, соответственно, диверсификации или ликвидации преобладающей доли материальной базы ДВС. Отметим, что выбор исходного топлива для ТЭ пока не завершен и в дополнение к водороду рассматриваются бензин и метанол. С точки зрения экономичности цепочки от месторождения до колеса автомобиля сегодня наиболее выгодным для ТЭ является бензин и лишь затем газообразный водород и метанол [2]. В этой же работе указывается, что применение ТЭ на автомобиле по экономичности не лучше гибридных приводов с дизелями или двигателями, питаемыми природным газом. Таким образом при использовании водородных технологий развитие энергетической базы автомобилестроения на 25-30, а, вероятно, и более лет будет связано с ДВС, работающими на водороде или других альтернативных топливах. Наиболее вероятно параллельное использование ДВС и ТЭ в зависимости от экологической и экономической эффективности в каждом конкретном случае. По многим причинам, в том числе связанным с необходимостью развития новой эксплуатационной инфраструктуры следует ожидать, что предпочтение здесь будет отдаваться ДВС.

Наряду с расширением работ в области принципиально новых направлений в XXI веке успешно продолжается совершенствование традиционных ДВС путем эффективного использования достижений технологии, электронного управления, материаловедения и исследований процессов смесеобразования и сгорания. Достигнутые результаты впечатляют практически по всем направлениям (экономичности, токсичности, удельной и литровой мощностям) – мощности автомобилей растут, показатели ДВС улучшаются, а массы и занимаемые двигателем объемы, уменьшаются. По данным [3] расход топлива усредненным автомобилем в США в период с 1974 по 1996 г. снизился с 16,8 до 8,3 л/100 км. Конечно, здесь дело не только в ДВС, но и их эффективный КПД, итак являющийся наиболее высоким среди тепловых машин, за этот период вырос более чем на 15% при улучшении других показателей, включая экологические.

Однако, наряду с эволюционными улучшениями, уже имеется опыт существенно более значимого прогресса, в том числе на основе комплексного использования достижений различных отраслей науки. Например, бензиновые ДВС с воспламенением части рабочей смеси от сжатия (метод CAI – Controlled Auto Ignition – контролируемое самовоспламенение) имеют на 2-3 единицы более высокие степени сжатия и другие особенности, качественно улучшающие их показатели (уменьшение расхода топлива и эмиссии диоксида углерода до 20%, содержания оксидов азота до 90%). Аналогичные результаты получены и на дизелях, дополни-

тельно снабженных искровыми свечами, поджигающими рабочую смесь до начала самовоспламенения (метод HCCI – Homogeneous Charge Compression Ignition – поджигание гомогенного заряда под давлением). Таким образом, наблюдается процесс сближения бензиновых ДВС (форсунка переместилась в цилиндр, увеличена степень сжатия) и дизелей (дополнительно устанавливается свеча зажигания, а степень сжатия понижается).

По информации [4] на конгрессе по новым процессам смесеобразования и сгорания в НИИ бензина (Institut Francais du Petrol) крупнейшие производители (Тойота, Фиат, Форд и др.) сообщили о работах по созданию так называемого “Отто-дизеля”, совмещающего преимущества обоих циклов. Для него создаются (конструируются) и новые синтетические топлива, хорошо испаряющиеся, но не вспыхивающие слишком легко, получаемые из биомассы (“Санфьюэл”) или природного газа (“Санфьюэл”), не содержащие серы и ароматических углеводородов, т.е. не бензин и не дизельное топливо. В этом случае предполагается уменьшение потребления нефти и увеличение потребления газовых топлив. Появление таких двигателей на серийных автомобилях ожидается через 5-6 лет. При этом реальным считается 100-кратное уменьшение выбросов NO_x и 10-15ти-кратное – частиц сажи. Одновременно отмирает потребность в нейтрализаторах отработавших газов. У экспериментального двигателя фирмы “Форд” снижение уровня NO_x составило 99%, а потребления топлива 30%. Если верить публичным заявлениям, пока ближе всех к цели “Фольксваген” со своим методом CCS (Combined Combustion System – комбинированная система сгорания).

Неуклонный рост производства ДВС, характерный для XX века, продолжается и в XXI и нет причин говорить о его уменьшении в обозримом будущем. Более того, рост потребностей в мобильной технике указывает на реальность его ускорения (к началу XXI века парк легковых автомобилей в мире превышал 550 млн. шт., увеличившись за десятилетие на 26%).

В этой связи отметим что, отечественные ДВС заметно отстают от достижений мирового двигателестроения, а российский рынок заполняется иностранными двигателями. Кроме того, строятся заводы по выпуску ДВС разработанных инвесторами. Для обслуживания этих производств и выпускаемой ими продукции естественно необходима иная квалификация инженерного персонала, подготовку которого следует ориентировать, прежде всего, на работы прикладного характера. Из последнего, однако, не следует делать вывод, что инженеры-разработчики ДВС России не нужны. Это была бы трагическая ошибка, последствия которой навсегда бы исключили Россию из числа развитых стран. Пугаться следует не иностранных инвестиций, а потери времени на пути создания конструкций и технологий 2015-2020 г.г. Работа в этой области требует специалистов нового уровня, умеющих творчески принимать и генерировать новые знания как в ходе научной, так и инженерной деятельности.

Из сказанного следует, что существующая 100 лет специальность “Двигатели внутреннего сгорания” неуклонно вовлекающая в себя передовые достижения науки и техники в различных отраслях становится все более широкой, а подготовка специалистов в области ДВС все более сложной. В этой связи нельзя не затронуть проблемы интеграции России в европейское пространство. Несмотря на нашу очевидную неподготовленность, сегодня этот вектор и, соответственно, двухступенчатое высшее образование следует принимать как неизбежные. Переход к такой форме обучения непосредственно связан не только с качеством подготовки в средней школе, но и с потенциалом промышленности и высшей школы. В

России и то, и другое современным требованиям не соответствует. Поэтому применительно к сложным научно-техническим направлениям, в том числе “Энергомашиностроению” решение этой задачи требует особых усилий. Из всего многообразия проблем, связанных с введением двухступенчатого высшего образования, первоочередное внимание должно быть уделено тем, которые определяют подготовку и судьбу бакалавров, предназначенных к творческой работе в инженерной сфере высоких технологий. За отведенные 4 года на успешное решение этой задачи рассчитывать не приходится. Начальный опыт разработки конструкций и определенный объем профессиональных знаний пока следует приобретать в высшей школе. Поэтому для указанной категории бакалавров на ближайшие 10-15 лет срок обучения должен быть увеличен до 5-5,5 лет (для этой категории желательно иметь и свое название, например, бакалавр-инженер).

XX век считался веком моторов, а XXI – называется веком информатики и высоких технологий. Но независимо от этого ДВС еще многие десятилетия будут играть решающую роль в жизни человеческого сообщества. Сколько еще будет этих десятилетий сегодня предсказать невозможно.

Литература:

1. Мацеренко И.П., Пономарев Е.Г. Тепловые двигатели: Перспективы развития.// Приводная техника.- №3. - 2001. – С. 2-10, №4 – 2001. – С. 34-40.
2. Хачиян А.С.. Применение различных топлив и энергетических установок в автомобилях будущего.// Двигателестроение. - №1, - 2004. – С. 28-31.
3. Эфрос В.В. Перспективы силовых агрегатов мобильного транспорта и концепция реформирования подготовки инженерных и научных кадров // Актуальные проблемы управления качеством производства и эксплуатации автотранспортных средств: Материалы X научн.-практ. конфер. ВлГУ.-Владимир.-2004. С. 203-208
4. Воробьев А.О.. Гибрид внутреннего сгорания.//За рулем.-№2,-2004.–С.114-115.

УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДЕМПФЕРОВ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Гоц А. Н. (Владимирский государственный университет)

Под долговечностью демпферов жидкостных и внутреннего трения подразумевается свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния. Под предельным состоянием для демпферов жидкостного трения (ДЖ) понимается дилатансия полиметилсилоксановой жидкости (ПМСЖ). При этом вязкость ПМСЖ повышается настолько, что она превращается из ньютоновской жидкости в вязко-пластичное тело Бингама, а после этого маховик демпфера вращается вместе с корпусом как единое целое. Дилатансия происходит при высоких значениях градиента скорости сдвига $D = v/h$, где – v скорость смещения двух разделенных зазором h поверхностей (корпуса и маховика демпфера) в слоях ПМСЖ под действием крутильных колебаний. По нашим расчетным исследованиям [1] при $h \leq 0,35...0,45$ мм – $D > 200$ с⁻¹, что является критической величиной для ПМСЖ. На рис. 1 приведена усредненная кривая зависимости $D = f(h)$ по данным расчета и испытаний для дизелей СМД-60, СМД-31, СМД-23, Д-260Т, А-11ТА. Следует иметь в виду, что при малых зазорах между крышкой и маховиком ДЖ при сварке крышки и корпуса может произойти их коробление, что приводит к уменьшению зазоров и заклиниванию маховика. Кроме того, из-за перекосов опорной поверхности маховика могут происходить задиры по его внешней торце-