

УДК 621.7

В.П. Зинченко

ТОО НПО «АВИА», Кременчуг

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВИАЦИИ

Проведен анализ существующих и перспективных дизельных силовых установок. Проведено сравнение дизельных двигателей. Определены направления разработки дизельных силовых установок для авиации.

Ключевые слова: дизельные установки, двигатель, авиация.

Введение

Одним из наиболее значительных новшеств в европейской автомобильной промышленности в последние годы была разработка дизельных двигателей с прямым впрыском, и турбонаддувом (TDi). В Европе дизельные установки причисляются к большому бизнесу, в основном из-за налогов на топливо, которые примерно в два раза выше, чем в США. Дизельные моторы, разработанные такими гигантами, как BMW, Mercedes и Volkswagen,



Рис. 1. Дизельный двигатель поршневого самолета

трансформировали имидж дешевого топлива для сельскохозяйственных машин в супер-эффективное топливо для спортивных автомобилей.

Поэтому неудивительно, что разработка дизельных двигателей для поршневых самолетов (рис. 1) с энтузиазмом была встречена среди авиационных специалистов.

Анализ циклов поршневых двигателей показывает их преимущества и недостатки в теоретическом плане [1 – 4]. Рабочий процесс теплового двигателя представляет собой совокупность отдельных процессов, протекающих последовательно в реальном двигателе за два или один полный оборот коленчатого вала. Ниже приведены циклы различных поршневых двигателей: цикл Отто (рис. 2, а), цикл Дизеля (рис. 2, б) и цикл Тринклера (Сабатэ) (рис. 2, в). Обозначения отдельных процессов: 1-2 – в рабочем цилиндре воздух адиабатически сжимается за счет инерции маховика, сидящего на валу двигателя, нагреваясь при этом до температуры, обеспечивающей воспламенение жидкого топлива; 2-5 – сгорание части топлива в небольшом объеме форкамеры ($v = \text{const}$); 5-3 – догорание оставшегося топлива в рабочем цилиндре ($p = \text{const}$). 3-4 – адиабатическое

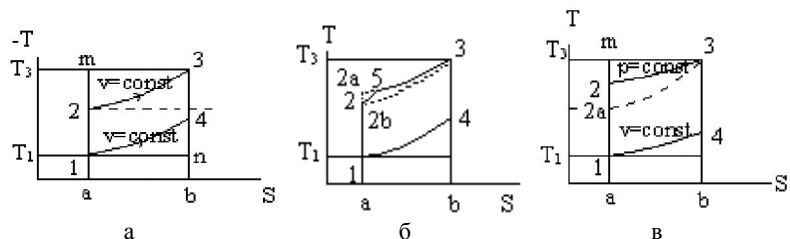


Рис. 2. Циклы: а – Отто ($v = \text{const}$); б – Дизеля ($p = \text{const}$); в – Цикл Тринклера (со смешанным сгоранием)

расширение продуктов сгорания; 4-1 – удаление отработавших газов.

Целью данной статьи является определение проблем, возникающих при разработке дизельных силовых установок для авиации с учетом проведенного анализа циклов поршневых двигателей.

Результаты исследований

Жидкое топливо, введенное в форкамеру при сравнительно невысоком давлении, распыляется струей сжатого воздуха, поступающего из основного цилиндра. Вместе с тем цикл со смешанным сгоранием частично сохраняет преимущества цикла Дизеля перед циклом Отто – часть процесса сгорания осуществляется при постоянном давлении.

Для проведения термодинамического анализа рассмотрим КПД вышеприведенных циклов: КПД цикла Отто – $\eta_t = 1 - 1/\varepsilon^{k-1}$; КПД цикла Дизеля –

$$\eta_t = 1 - (1/k) \cdot \left(\frac{\rho^k - 1}{\rho - 1} \right) \cdot \left(1/\varepsilon^{k-1} \right);$$

$$\text{КПД цикла Тринклера} - \eta_t = 1 - \left(\lambda \rho^k - 1 \right) / \left((\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1) \right) \cdot \left(1/\varepsilon^{k-1} \right),$$

где $\varepsilon = V_1/V_2$, $\rho = V_3/V_2$ – степень предварительного расширения; $\lambda = P_5/P_2$ – степень повышения давления при изохорном процессе сгорания; k – показатель адиабаты.

Преимущество цикла Дизеля в том, что при его использовании достигается высокая степень сжатия, особенно это наглядно видно при наивысших температурах цикла T_3 (рис. 2).

Таким образом, новая композитная конструкция самолета и применение дизельного двигателя может повлиять не только на стоимость самого летательного аппарата, но и на расходы, связанные с его эксплуатацией. Компания Thielert Aircraft Engines (TAE) ссылается в своих исследованиях на то, что полет на одномоторном самолете DA40-TDi с дизельным двигателем Centurion 1.7 мощностью 99 кВт (135 л. с.), работающем на реактивном топливе марки А, обойдется в \$15, в то время как при использовании авиационного бензина, необходимого для полета одномоторного самолета Cessna 172 с двигателем Lycoming, стоимость аналогичного полета возрастет до \$55. Сегодня TAE имеет около 1000 заказов и занимает ведущую позицию среди группы производителей, разрабатывающих дизельные двигатели. Компания опережает таких признанных конкурентов на рынке, как французская SMA Engines с двигателем SR305 мощностью 169 кВт (230 л.с.), работающим на реактивном топливе марки А. Thielert уже инвестировала средства в современное оборудование для литья и обработки изделий из жаропрочного сплава с компьютерным управлением для своего подразделения Thielert Motoren, которое производит высокоточные элементы для прототипов двигателей спортивных машин класса Формулы 1 и является обладателем конструкции модифицированного автомобильного двигателя Centurion 1.7, сертифицированного в течение

трех лет. По мнению специалистов TAE, новые сплавы делают дизель достаточно легким, чтобы заменить им бензиновые двигатели, а непосредственный впрыск топлива обеспечивает ему более высокие технические характеристики, чем у традиционных силовых установок. TAE прогнозирует ежегодную продажу порядка 1500 двигателей Centurion 1.7 плюс 600 двигателей Centurion 4 мощностью 228 кВт (310 л.с.) ко времени полного ввода в эксплуатацию своих производственных мощностей в 2006 г.

Когда Thielert Group решила создать подразделение авиационных двигателей, она обратила свои взоры на восток и остановилась на г. Лихтенштейн (Lichtenstein) вблизи Хемница (Chemnitz) – бывшего Карл-Маркс-штадта. Там размещаются автомобильный завод Trabant и компания AutoUnion DKW (предшественница Audi), где есть достаточно квалифицированная рабочая сила.

Низкие производственные расходы благодаря новым технологическим процессам и использованию более дешевой рабочей силы должны сделать возможным выход продуктов этих компаний на основную рынок – США. Нельзя не отметить и тот факт, что во многих странах существуют программы финансовой поддержки компаний, работающих в авиационном бизнесе. Например, OMF собирается открыть новые производственные мощности в Trois-Rivieres в Канаде, а Diamond расширяет свой канадский завод. Обе компании претендуют на помощь со стороны правительства Квебека и Онтарио, которые компенсируют им дополнительные расходы, связанные с выходом на американский рынок через третью страну. Такой путь во многом решает связанные с этим финансовые проблемы и позволяет рассматривать рынок США в качестве ключевого для расширения своей деятельности. OMF даже начала обеспечивать своих рабочих американским инструментом и намерена отказаться от применения несовместимых метрических гаек и болтов.

Хотя США и продолжают оставаться крупнейшим авиационным рынком в мире, в то же время менеджеры большинства компаний видят огромный потенциал в азиатских странах. Diamond рассматривает Азию как довольно емкий рынок, куда она уже поставляет самолеты по программе обучения курсантов ВВС Индии. Особо перспективным считается Китай. По данным китайского правительства, потребность страны в самолетах массой менее 2000 кг составляет примерно 5000 единиц (!). Компания, которая недавно поставила 55 легких судов для одной из китайских летных школ, видит Китай своим приоритетным стратегическим партнером и готовится продавать в эту страну по меньшей мере 100 самолетов в год, в связи с чем Diamond рассматривает возможность строительства там третьего завода.

На европейском рынке также сохраняются надежды на рост заказов. В Европе насчитывается всего 20% мирового флота деловых судов с поршневыми двигателями, но стабильный объем продаж на-

блюдается уже в течение почти 15 лет. Без сомнения, появление дизельных двигателей в легком классе самолетов АОН и широкое использование композиционных материалов будет способствовать пробуждению этого сегмента рынка.

Bosch выпустил десятиmillionную систему прямого впрыска (Common rail) для дизельного двигателя, передает Car Keys. Bosch стал первым производителем, наладившим выпуск подобных систем, а тот факт, что первая система прямого впрыска была выпущена не далее как в 1997 г., доказывает, что технология заработала популярность в автомобильном бизнесе. Первыми же автопроизводителями, которые снабдили свои автомобили турбодизелями с системой прямого впрыска топлива, стали Mercedes-Benz и Alfa Romeo. Причем, Alfa Romeo так и остался непревзойденным лидером на рынке турбодизельных автомобилей с прямым впрыском. Преимущество двигателей с Common rail заключается в том, что они более экономно расходуют топливо и уровень выделения CO₂ намного ниже.

Ужесточение законодательных экологических требований, предъявляемых к дизелям, заставило моторостроителей разработать новый тип топливоподачи – common rail – систему впрыска XXI века, все шире завоевывающую признание.

В обычных системах питания для впрыска каждой порции топлива ТНВД должен повышать давление в соответствующем топливопроводе и форсунке. Поскольку производительность насоса зависит от числа оборотов кулачкового или, что то же самое, коленчатого вала, результат в каждом конкретном случае получается далеко не оптимальным. Отметим, что также далека от идеальной и работа форсунки. Ее запорная игла открывается под действием ударной волны в топливной магистрали, а закрывается под действием пружины. В новой системе все иначе. Топливо постоянно находится под высоким давлением в общей для всех форсунок топливной магистрали (отсюда и название принципа работы common rail). В ней блок управления дизелем поддерживает, меняя производительность насоса, давление, к примеру, для дизелей Peugeot на уровне 1350 бар (для двигателей других фирм давление может несколько отличаться, но оно всегда превышает 1000 кгс/ кв.см) при различных режимах работы двигателя, то есть независимо от его оборотов и нагрузки при любой последовательности впрыска по цилиндрам.

Форсунки также претерпели существенные изменения. Они оснащены специальными электромагнитными (у дизелей Mercedes-Benz – пьезоэлектрическими) клапанами и управляются по гибкому алгоритму в соответствии с конкретными условиями работы дизеля. Высокое давление, под которым топливо впрыскивается в цилиндр, создается уже при самом малом числе оборотов коленвала. Благодаря ему, а также электронному управлению процессом впрыска достигается значительно лучшая подготовка смеси в цилиндрах, что приводит к уменьшению расхода топлива и снижению токсичности выхлоп-

ных газов. В системе common rail электроника регулирует момент впрыска, количество впрыскиваемого топлива и сам закон его подачи. Именно этим и достигается оптимальный результат на каждом конкретном режиме работы дизеля. Общая магистраль оборудована датчиком давления и обратным клапаном, перепускающим топливо обратно в бак.

Работа топливного насоса с разной производительностью, малой при низких оборотах и высокой на больших, сказалась на уровне шума, производимого дизелем. Замеры показали, что переход на систему common rail позволил уменьшить его на 10%. Кстати, концерны PSA и DaimlerChrysler на своих дизелях, оборудованных новой системой топливоподачи, пошли в отношении снижения шума еще дальше. Их предложение – переход на так называемый пилотный впрыск. Он происходит за доли секунды перед впрыском основной порции топлива и нужен для предварительного разогрева камеры сгорания. В этом случае топливо быстрее воспламеняется, а давление и температура возрастают не так быстро, что снижает «жесткость» работы двигателя и его шум.

Выводы

Концерны DaimlerChrysler, Fiat, PSA, Toyota, General Motors и ряд других фирм или уже начали выпуск дизелей с топливной системой common rail, или близки к началу их выпуска. Достигнуты отличные выходные показатели дизелей нового поколения: расход топлива улучшен на 10-15%, мощность возросла на 40% и это при существенном снижении выбросов вредных веществ в атмосферу. Несомненно, новые показатели этих дизелей повышают конкурентоспособность последних и делают автомобили с ними более привлекательными для покупателей по сравнению с машинами, имеющими бензиновые двигатели.

Итак, с учетом проведенного анализа циклов поршневых двигателей определены проблемы, возникающие при разработке дизельных силовых установок для авиации. **Направление дальнейших исследований** связано с поиском путей решения рассмотренных в данной статье проблем.

Список литературы

1. Андрющенко А.И. Основы технической термодинамики реальных процес сов / А.И. Андрющенко. – М.: Высшая школа, 1967. – 267 с.
2. Болгарский А.В. Термодинамика и теплопередача / А.В. Болгарский, Г.А. Мухачев, В.К. Шукин. – М.: Высшая школа, 1975. – 495 с.
3. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Никиткин // М.: Высш. шк. – 1980. – 469 с.
4. Дьяченко Н.Х. Теория двигателей внутреннего сгорания / Под ред. Н.Х. Дьяченко. – Ленинград: Машиностроение, 1974. – 321 с.

Поступила в редколлегию 16.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Калкаманов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ДИЗЕЛЬНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВІАЦІЇ

В.П. Зінченко

Проведений аналіз існуючих і перспективних дизельних силових установок. Проведено порівняння дизельних двигунів. Визначені напрями розробки дизельних силових установок для авіації.

Ключові слова: дизельні установки, двигун, авіація.

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF POWER-PLANTS OF DIESELS FOR AN AVIATION

V.P. Zinchenko

The analysis of existent and perspective power-plants of diesels is conducted. Comparison of engines of diesels is conducted. Directions of development of power-plants of diesels are certain for an aviation.

Keywords: options of diesels, engine, aviation.