

УДК 621.436.052

С. А. АЛЁХИН, канд. техн. наук; ген. конструктор ГП «ХКБД», Харьков;
В. П. ГЕРАСИМЕНКО, д-р техн. наук; проф. НАКУ «ХАИ», Харьков

КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ТУРБОКОМПАУНДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Описаны особенности выбора типов двигателей для различных транспортных средств, условий эксплуатации, а также оценки их эффективности. Выполнен анализ критериев эффективности транспортных средств при оптимизации их двигателей. Установлена применимость некоторых аналогов для оценки эффективности наземных транспортных машин. Показаны связи удельных параметров двигателей с некоторыми критериями эффективности.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, поршневой двигатель, наземная транспортная машина, мощность, критерий эффективности, оптимизация.

Введение

Турбины – простейшие преобразователи энергии, имеющие сравнительно высокие КПД и благоприятные внешние характеристики, благодаря которым они нашли широкое применение в многообразных энергетических установках, разных типах двигателей и других технических устройств.

Формулирование проблемы. К основным двигателям различных транспортных средств относят газотурбинные (ГТД) и поршневые двигатели (ПД), а также их сочетание – турбопоршневые двигатели (ТПД). Если в транспортной авиации ПД практически полностью вытеснены ГТД [1], благодаря меньшей удельной массе и большей удельной мощности ГТД, то в наземном транспорте ПД занимают преимущественное положение благодаря их лучшей топливной экономичности, несмотря на широкий спектр попыток применения ГТД в наземных транспортных машинах (НТМ) [2–6].

Целью данной статьи является анализ критериев эффективности двигателей, используемых для оптимизации их параметров при формировании облика силовых установок различных транспортных средств. Использование ГТД на скоростных пассажирских экспрессах-турбопоездах в Японии и во Франции [2], а также на тяжёлых колесных и гусеничных машинах [3, 4], включая танк Т-80 с двигателем ГТД-1000 [1] и М1 с ГТД типа АGТ-1500, развивающих максимальную скорость, превышающую чем с дизелем, требует пояснений их преимуществ над ПД: быстрый запуск и уравнивание роторов, более высокий коэффициент приспособляемости, улучшающий приёмистость транспортного средства, отсутствие жидкостного охлаждения, меньшее потребление масла, упрощение обслуживания и ремонта в эксплуатации, меньшая токсичность выхлопных газов. Худшие топливная экономичность и тормозные характеристики ГТД в сравнении с ПД, потеря мощности при повышенных температурах окружающего воздуха – основные недостатки их использования в НТМ.

В морском транспорте ГТД применяют преимущественно для скоростных судов: катеров, крейсеров и судов на воздушной подушке. Таким образом, выбор типа силовой установки транспортного средства требует многокритериального подхода [1, 7], учитывающего назначение, тип и область применения транспортного средства, основные его критерии эффективности, а также совокупность данных о двигателях-аналогах их силовых установок. Удовлетворение всех требований к силовой установке

© С.А. Алёхин, В.П. Герасименко, 2014

конкретного типа транспортного средства приводит к необходимости соблюдения концепции проектирования двигателя в системе транспортного средства с целью согласования их характеристик.

Результаты исследования. Удельный расход топлива, удельная масса и удельная мощность двигателя являются простейшими критериями оценки эффективности изолированного двигателя при его термодинамической оптимизации и выборе параметров цикла. Более полными критериями оптимизации двигателей как силовых установок транспортных средств являются комплексные показатели эффективности, вытекающие из интеграции транспортного средства и двигателя при согласовании их характеристик. В качестве такого согласования рассмотрим примеры комплексных критериев, используемых в транспортной авиации [1, 7, 8].

Суммарная удельная масса топлива и двигателя γ_{Σ} , как относительная величина суммарной массы топлива и двигателя, минимизация которых согласно уравнению существования самолёта способствует увеличению коммерческой нагрузки самолёта $M_{к.н}$ или его дальности полёта $L_{п}$, используемых в качестве критериев эффективности транспортного самолёта по массе, одновременно является критерием оптимизации при выборе параметров рабочего процесса двигателя: $\pi_{к\Sigma}^*$ – степени повышения давления в компрессоре и m – степени двухконтурности. Аналогично для НТМ уменьшения удельного расхода топлива и удельной массы двигателя обеспечивают увеличение дальности пробега машины или полезной нагрузки. А уменьшение удельного расхода топлива и увеличение коммерческой нагрузки приводит к снижению расхода топлива на 1 т·км перевезенного груза – $C_{т-км}$ и себестоимости перевозок. При аналогии НТМ с самолётом по суммарной удельной массе γ_{Σ} предполагается равенство среднекрейсерской эффективной тяги двигателя его номинальной мощности, отнесенной к среднерейсовой скорости транспортного средства.

Наряду с дальностью $L_{п}$ важным критерием является длина разбега самолёта при взлёте $L_{разб}$ [7–9], сочетание которых используют в двухкритериальной оптимизации выбора параметров согласования самолёта и силовой установки: G/S – удельной нагрузки на крыло и $\Sigma F_B/S$ – относительной площади входа в двигательную установку. Некоторым аналогом длины разбега самолёта для НТМ является её приёмистость – способность ускоряться при старте.

На основе интеграции дозвукового самолёта и турбореактивного двухконтурного двигателя [8] при выбранной степени двухконтурности m по оптимальной дальности полёта $L_{п}$ с ограничением $L_{разб}$ и расходу воздуха $G_{В0}$, соответствующего взлетному режиму, определяют высоту и скорость полёта самолёта [9]. С увеличением степени двухконтурности происходит практически пропорциональное увеличение расхода воздуха вследствие снижения удельной тяги двигателя. Увеличение потребного расхода воздуха через двигатель НТМ, как одного из применяемых критериев эффективности, является нежелательным ввиду необходимости его очистки от пыли, для чего требуется увеличение объема воздухоочистителя и, как следствие, – моторно-трансмиссионного отделения (МТО) НТМ со всеми вытекающими недостатками [4–6].

При поиске аналогов в критериях оптимизации двигателей разных типов в системе транспортных средств следует иметь ввиду некоторые отличия в удельных параметрах эффективности двигателей. Так если для ГТД и ПД понятия удельный расход топлива и удельная масса совпадают, а поэтому совпадает и комплексный

критерий – суммарная удельная масса топлива и двигателя. То понятие удельная мощность ГТД является мощностью, приходящейся на 1 кг воздуха, как рабочего тела, [1, 7], а для ПД и ТПД под удельной мощностью обычно понимают литровую мощность $Ne_{л}$, отнесенную к 1 л рабочего объема цилиндров [10]. Эта мощность $Ne_{л} = p_e n / (30\tau)$ зависит от среднеэффективного давления p_e , частоты вращения коленвала n и тактности τ , а поэтому среднеэффективное давление p_e может быть использовано как показатель эффективности ПД или ТПД с конкретным τ .

Выводы

Анализ критериев эффективности транспортных дозвуковых самолётов свидетельствует о необходимости одновременного удовлетворения многим требованиям – критериям оптимизации или ограничениям при интеграции самолёта и двигателя на стадии формирования облика с выбором расчетных параметров рабочего процесса и условий полёта самолёта. Отдельным критериям эффективности транспортных самолётов установлены аналоги эффективности НТМ при формировании облика их силовых установок. Большой перечень и многообразие требований к силовым установкам различных НТМ приводит к необходимости ограничиваться лишь преимущественно основными аналогами.

Список литературы: 1. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок [Текст]: учеб. в 3-х книгах / В. В. Кулагин, С. К. Бочкарев, И. М. Горюнов и др. – М.: Машиностроение, 2005. – Кн. 3. – 464 с. 2. Итоги науки и техники. Сер.: Турбиностроение [Текст]. – М.: ВИНТИ, 1976. – Т. 1. – 177 с. 3. Итоги науки и техники. Сер.: Турбиностроение. [Текст]. – М.: ВИНТИ, 1984. – Т. 3. – 130 с. 4. Транспортные машины с газотурбинными двигателями [Текст] / Н. С. Попов, С. П. Изотов, В. В. Антонов и др. – Л.: Машиностроение, 1987. – 259 с. 5. Рязанцев, Н. К. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин [Текст]: учеб. пособие в 2-х частях / Н. К. Рязанцев. – К.: ИСИО, 1993. – Ч. 1. – 252 с. 6. Рязанцев, Н. К. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин [Текст]: учеб. пособие в 2-х частях / Н. К. Рязанцев. – Х.: ХГПУ, 1996. – Ч. 2. – 388 с. 7. Герасименко, В. П. Теорія авіаційних двигунів [Текст]: підруч. / В. П. Герасименко. – Х.: ХАІ, 2003. – 199 с. 8. Югов, О. К. Основы интеграции самолёта и двигателя [Текст] / О. К. Югов, О. Д. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с. 9. Павленко, Г. В. Согласование характеристик силовой установки с ТРДД и самолёта [Текст]: учеб. пособие / Г. В. Павленко. – Х.: «ХАИ», 2002. – 55 с. 10. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст]: учеб. / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.: под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kulagin, V. V., et al. *Teorija, raschet i proektirovanie aviacionnyh dvigatelej i jenergetičeskijh ustanovok*. Vol. 3. Moscow: Mashinostroenie, 2005. Print. 2. *Itogi nauki i tehniki. Ser.: Turbinostroenie*. Vol. 1. Moscow: VINITI, 1976. Print. 3. *Itogi nauki i tehniki. Ser.: Turbinostroenie*. Vol. 3. Moscow: VINITI, 1984. Print. 4. Popov, N. S., et al. *Transportnye mashiny s gazoturbinnymi dvigateljami*. Leningrad: Mashinostroenie, 1987. Print. 5. Rjazancev, N. K. *Konstrukcija forsirovannyh dvigatelej nazemnyh transportnyh mashin*. Vol. 1. Kiev: ISIO, 1993. Print. 6. Rjazancev, N. K. *Konstrukcija forsirovannyh dvigatelej nazemnyh transportnyh mashin*. Vol. 2. Kharkov: HGPU, 1996. Print. 7. Gerasymenko, V. P. *Teorija aviacijnyh dyguniv*. Kharkiv: HAI, 2003. Print. 8. Jugov, O. K., and O. D. Selivanov. *Osnovy integracii samoljota i dvigatelja*. Moscow: Mashinostroenie, 1989. Print. 9. Pavlenko, G. V. *Soglasovanie harakteristik silovoj ustanovki s TRDD i samoljota*. Kharkov: "HAI", 2002. Print. 10. Vyrubov, D. N., et al. *Dvigateli vnutrennego sgoranija. Teorija porshnevnyh i kombinirovannyh dvigatelej*. Moscow: Mashinostroenie, 1983. Print.

Поступила (received) 15.02.2014