

Разработка критерия относительной экономической эффективности мероприятий по конвертированию авиационных газотурбинных двигателей

В настоящей работе предложен критерий относительной экономической эффективности мероприятий по конвертированию авиационных двигателей, позволяющий оценивать объем работ по изменению конструкции базового двигателя, определять удельный вес затрат на доработку конкретного элемента конструкции в общей структуре себестоимости проводимых мероприятий, указывать на эффективность той или иной доработки. Сформирован алгоритм выбора технических характеристик при конвертировании авиационных газотурбинных двигателей

Ключевые слова: конвертирование, удельный вес затрат, выбор технических характеристик, объем работ, экономическая эффективность.

Введение

В современной сложной экономической обстановке, сложившейся на предприятиях по разработке авиационных двигателей, актуальной становится проблема применения их продукции для нужд народного хозяйства. Уже имеется опыт применения газотурбинных двигателей (ГТД) не только в составе силовых установок самолётов и вертолётных, но и в наземных установках.

Перечень таких установок довольно обширен: установки морского и речного транспорта; установки для получения сжатого воздуха, используемого в технологических целях, в системах наддува транспортных средств на воздушной подушке; установки для получения нагретого газа, используемого для обогрева строительных и производственных объектов, а также в сушильных установках; энергокомплексы бурильных установок; газоструйные установки для очистки взлетно-посадочных полос аэродромов, транспортных путей от снега, мусора и т.д. [1].

Процессы адаптации авиационного (самолётного, вертолётного) газотурбинного двигателя к наземным условиям эксплуатации называют конвертированием, а двигатель, получаемый в результате действия этих процессов – конвертированным. При конвертировании проводят расчет параметров двигателя при новых рабочих условиях (температура и давление воздуха на входе в двигатель), соответствующих уровню поверхности земли, вносят изменения в топливную систему (вместо керосина в качестве топлива применяют природный газ или другие альтернативные источники энергии). Кроме того, проектируют дополнительный элемент конструкции – свободную (силовую) турбину, если базовый двигатель не имел такого конструктивного элемента.

Под базовым двигателем в данной работе понимается авиационный газотурбинный двигатель подвергаемый процессам конвертирования.

В результате конвертирования удастся сохранить до 70-80% элементов конструкции авиационного газотурбинного двигателя. Подробно о технических проблемах процесса конвертирования и его преимуществах описано в работе [2].

В связи с этим возникает необходимость экономического обоснования разработки новых элементов конструкции для базового двигателя при его конвертировании и оценки эффективности проводимых доработок. Необходим критерий, позволяющий оценивать объем работ по изменению конструкции базового двигателя, показывающий удельный вес затрат на доработку конкретного элемента конструкции в общей структуре себестоимости проводимых мероприятий, указывающий на полезность той или иной доработки.

Разработка критерия

Основываясь на материалах исследований [2] и раскрытии понятия процесса конвертирования, можно сделать вывод о том, что в случае использования того или иного авиационного газотурбинного двигателя (АГТД) в качестве базового возможно создавать наземные установки лишь с такими характеристиками, какие способны обеспечить конкретно выбранные АГТД. Например, для создания электростанции с газотурбинным приводом можно использовать как турбореактивный двигатель (ТРД), так и турбовинтовой (ТВД). При выборе базового двигателя для конвертирования конструкция и характеристики каждого будут определяться типом самолета или вертолета, для которого он предназначался, что отразится на характеристиках наземной установки. Например, используя одновальный или двухвальный ГТД для привода электрического генератора определенной мощности, мы получим электростанцию, существенно отличающуюся по пусковым характеристикам, качеству генерируемого тока и ряду других показателей. Следовательно, выбор типа АГТД в качестве базового для применения его в той или иной установке наземного назначения должен определяться технико-экономическими показателями, предъявляемыми к конкретной установке.

После выбора необходимого базового двигателя следует определить объем работы, требуемый для его конвертирования, возможности ее выполнения и ориентировочные затраты. На основании результатов всестороннего анализа выбранного базового двигателя, результатов технико-экономического обоснования можно приступить к разработке проекта и его практической реализации.

Учитывая сказанное выше и положения отраженные в [2], в данной работе сформирован алгоритм выбора технических характеристик при конвертировании авиационного газотурбинного двигателя в зависимости от характеристик базового:

1 Этап выбора характеристик, обеспечивающих ресурс конвертированного двигателя.

1.1 Проводится анализ работоспособности узлов газогенератора АГТД в новых условиях, отличающихся от условий эксплуатации на летательном ап-

парате. В результате такого анализа определяется температура газа перед турбиной, частота вращения ротора (роторов) и номинальная мощность конвертированного двигателя.

1.2 Если для удовлетворения требований по мощности приходится повышать температуру газов, внедряются дополнительные мероприятия, призванные обеспечить требуемый ресурс (замена материалов, интенсификация охлаждения и т.д.).

1.3 Возможна установка дополнительной ступени на входе в компрессор низкого давления, что позволяет повысить мощность конвертированного двигателя без увеличения температуры газа перед турбиной, в этом случае удельный расход топлива остается практически неизменным, а ресурс возрастает.

1.4 Необходимо сохранить силовую схему нагрузки газогенератора, что обеспечивает повышенный ресурс двигателя.

2 Этап выбора характеристик, обеспечивающих эксплуатационную технологичность.

2.1 Все элементы родственного назначения (гидравлические, электрические) должны выводиться на отдельные панели, расположенные в доступных местах на двигателе или силовой раме.

2.2 Газогенератор и силовую турбину целесообразно располагать на разных рамах, что позволит осуществлять их отдельный и быстрый монтаж и демонтаж, осуществлять их отдельный ремонт в заводских условиях.

3 Этап выбора характеристик, обеспечивающих снижение шума и температуры наружных поверхностей конвертированного двигателя.

3.1 Если базовый АГТД классифицируется как ТРДД, то при его конвертировании целесообразно сохранить оболочки вентиляторного контура для улучшения акустических характеристик наземной установки и обеспечения безопасной температуры на его внешних поверхностях.

Сформированный алгоритм выбора технических характеристик при конвертировании авиационного газотурбинного двигателя необходимо дополнить сведениями о характеристиках камеры сгорания. Для этого следует рассмотреть возможность работы авиационного газотурбинного двигателя после конвертирования на альтернативном керосину виде топлива.

Полученные выводы позволяют сформировать алгоритм выбора технических характеристик при конвертировании авиационного газотурбинного двигателя, который представлен на рисунке 1.

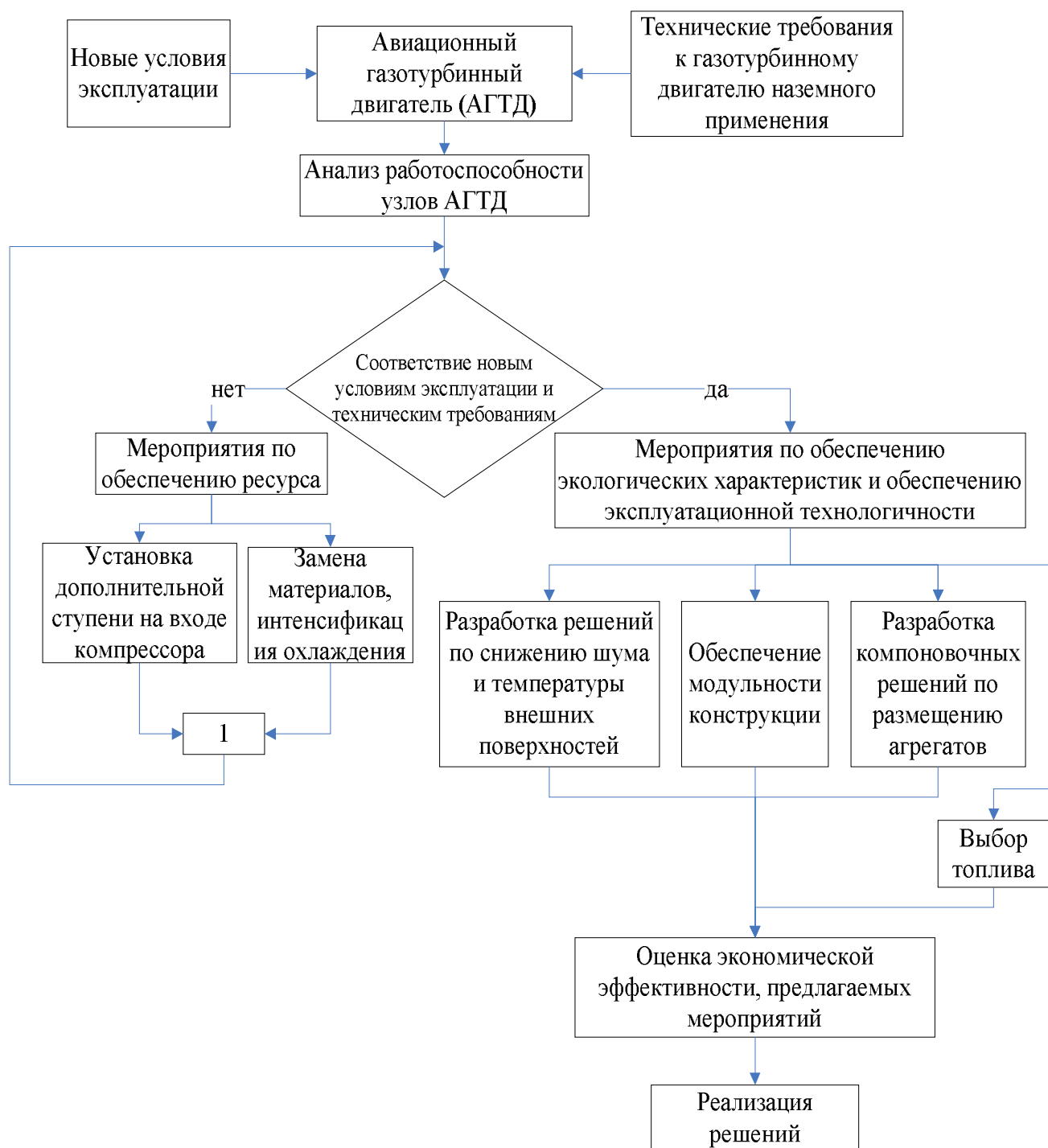


Рисунок 1 – Алгоритм выбора технических характеристик при конвертировании АГТД

Как следует из приведенного алгоритма, после предварительного определения набора технических характеристик необходимо оценить экономическую эффективность предлагаемых мероприятий по конвертированию АГТД.

Для решения этой задачи можно предложить критерий относительной экономической эффективности мероприятий по конвертированию авиационных двигателей:

$$K_{\text{АГТД}} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i \cdot Z_i}{\beta_i \cdot X_i} \rightarrow \text{min}, \\ X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad 1 \leq i \leq n, \\ \alpha_i \in [1; 10], \quad \beta_i \in (0; 1]; \end{cases}$$

где $K_{\text{АГТД}}$ – критерий относительной экономической эффективности мероприятий по конвертированию авиационных двигателей, руб.;

X_i – конкретная техническая характеристика из множества требуемых для обеспечения характеристик X , МВт, мг/м³, кг/ч, ч и т.д.;

α_i – коэффициент, учитывающий удорожание мероприятий по обеспечению требуемой количественной меры i -ой технической характеристики при $\beta_i < 0,7$;

β_i – коэффициент, учитывающий степень соответствия количественной меры i -ой технической характеристики базового двигателя требованиям к ее количественной мере после проведения мероприятий по конвертированию, 1/МВт, м³/мг, ч/кг, 1/ч и т.д.;

Z_i – затраты на реализацию i -ой характеристики, руб.;

n – количество характеристик.

Коэффициенты α_i и β_i назначаются в результате экспертной оценки комиссией по проведению мероприятий конвертирования. Их численное значение задается на этапе разработки технического задания. Соответственно, в состав экспертной комиссии должны входить представители заказчика, представители разработчика двигателя и представители серийного завода, непосредственно реализующие мероприятия по конвертированию.

Следует отметить, что введение в рассмотрение коэффициента β_i необходимо для нормирования соответствующей технической характеристики.

Номинальное значение затрат Z_i принимается равным величине затрат на восстановление количественной меры i -ой технической характеристики при проведении капитального ремонта базового двигателя.

Рассмотрим применение разработанного критерия на примере. Допустим, что предполагается выбрать базовый двигатель (из нескольких гипотетических модификаций) для его конвертирования и сделать заключение о целесообразности доведения количественной меры технических характеристик базового двигателя до требований технического задания. В таблице 1 приведены значения технических характеристик базового двигателя и требуемое их значение для конвертируемого двигателя [3, 4, 5]. Следует отметить, что на практике учитывается порядка 20-30 технических характеристик, таких как: удельный расход топлива, частота вращения ротора (роторов), время запуска двигателя и время его выхода на номинальный режим и др. В данном примере иллюстрируется работоспособность предлагаемого критерия, поэтому ограничимся основными из них.

Таблица 1 – Технические характеристики двигателей

Характеристика, X_i	Базовый		Конвертируемый
	Двигатель 1	Двигатель 2	
Коэффициент полезного действия	32	29	36
Вид топлива	Керосин	Керосин	Природный газ
Содержание вредных веществ в выбросах мг/м ³ (приведенное к 15% O ₂):			
• NO _x	170	173	150
• CO	320	310	300
Характеристика, X_i	Базовый		Конвертируемый
	Двигатель 1	Двигатель 2	
Назначенный ресурс, тыс. ч	–*	19	100
Тяга (для базового), кН, мощность (для конвертируемого), МВт	190	180	16

Продолжение таблицы 1

Примечание: * – двигатель эксплуатируется по техническому состоянию в пределах назначенных ресурсов основных деталей.

На основании данных таблицы 1 экспертная комиссия назначает соответствующие коэффициенты α_i и β_i и заполняет форму в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты экспертной оценки

Характеристика, X_i	α_i		β_i	
	Двигатель 1	Двигатель 2	Двигатель 1	Двигатель 2
Назначенный ресурс, тыс. 1/ч*	4-5,26	5,26	0,19-0,25	0,19
Тяга (для базового), кН, мощность (для конвертируемого), 1/МВт*	1	1	1	1
Коэффициент полезного действия (КПД), 1/%*	1,13	1,24	0,89	0,81
Вид топлива	В критерии $K_{\text{КПД}}$ учитываются только затраты на доработку топливной системы для обеспечения ее работы на газообразном топливе			
Содержание вредных веществ в выбросах м ³ /мг* (приведенное к 15% O ₂):				
• NO _x	1,15	1,18	0,87	0,85
• CO	1,07	1,03	0,93	0,97

Примечание: * - размерность относится к коэффициенту β_i

При заполнении таблицы 2 в данной работе было принято следующее допущение – коэффициенты α_i определялись как отношение $1/\beta_i$, то есть удорожание мероприятий по обеспечению требуемой количественной меры i -ой технической характеристики обратнопропорционально степени соответствия количественной меры i -ой технической характеристики базового двигателя требованиям к ее количественной мере после конвертирования. Как оговаривалось выше, на практике коэффициенты α_i назначаются экспертной комиссией исходя из опыта и статистических данных о проведении подобных мероприятий и могут существенно отличаться от приведенных в рассматриваемом примере.

Для примера определения коэффициента $K_{АГТД}$ сделаем еще одно допущение – примем, что номинальные затраты на обеспечение i -ой технической характеристики одинаковы для любой X_i и составляют по 350 тыс.руб. соответственно. Тогда получим:

$$K_{АГТД}^1 = \frac{4 \cdot 350}{0,25 \cdot 100} + \frac{1 \cdot 350}{1 \cdot 16} + \frac{1,13 \cdot 350}{0,89 \cdot 36} + 350 + \frac{1,15 \cdot 350}{0,87 \cdot 150} + \frac{1,07 \cdot 350}{0,93 \cdot 300}$$
$$= 0,445 \text{ млн. руб.};$$
$$K_{АГТД}^2 = \frac{5,26 \cdot 350}{0,19 \cdot 100} + \frac{1 \cdot 350}{1 \cdot 16} + \frac{1,24 \cdot 350}{0,81 \cdot 36} + 350 + \frac{1,18 \cdot 350}{0,85 \cdot 150} + \frac{1,03 \cdot 350}{0,97 \cdot 300}$$
$$= 0,488 \text{ млн. руб.}$$

Таким образом, из результатов расчета критерия видно, что целесообразно в качестве базового выбрать двигатель 1. Далее, основываясь на данных таблицы 2, экспертная комиссия принимает решение о целесообразности доведения всех перечисленных в ней характеристик до требуемой величины и начинается этап непосредственной реализации процесса конвертирования. Например, следует обсудить вопрос о снижении требуемого назначенного ресурса со 100 до 80 тыс. ч, что приведет к снижению затрат на мероприятия по конвертированию.

Выводы и результаты

Разработанный критерий относительной экономической эффективности мероприятий по конвертированию авиационных двигателей позволяет на начальном этапе оценки проводить как выбор базового двигателя из множества авиационных для его конвертирования, так и определять целесообразность обеспечения той или иной характеристики в процессе конвертирования конкретного базового двигателя.

Кроме того, разработанный критерий позволяет:

- оценивать объем работ по изменению конструкции базового двигателя;
- определять удельный вес затрат на доработку конкретного элемента конструкции в общей структуре себестоимости проводимых мероприятий;

- указывать на эффективность той или иной доработки.

Критерий относительной экономической эффективности мероприятий по конвертированию авиационных двигателей может быть полезен моторостроительным организациям при определении объемов работ по доработке конструкции базового двигателя в процессе конвертирования. Также его можно применять при определении себестоимости работ по обеспечению конкретной технической характеристики.

Список литературы:

- 1 Воробьев М.Ю. Разработка методики экономического обоснования применения конвертированных авиационных двигателей на компрессорных станциях Единой системы газоснабжения// Проблемы экономики, финансов и управления производством: Сборник научных трудов ВУЗов России. – Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2010. – с. 275-279.
- 2 Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения/ Е.А. Гриценко, В.П. Данильченко, С.В. Лукачѐв и др. Производственно-техническое издание/СНЦ РАН, Самара, 2004, 266 с.
- 3 ГОСТ 28775-90. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 17 с.
- 4 СТО Газпром 2-3.5-138-2007. Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам.
- 5 Сайт отраслевого агентства «АвиаПорт» [электронный ресурс]. URL: www.aviaport.ru.
- 6 А.И. Орлов. Теория принятия решений. Учебное пособие. – М.: Издательство «Март», 2004. – 656 с.
- 7 Иванов Д.Ю., Шаркевич В.И. Моделирование механизмов управления проектами промышленных предприятий// Интеграл. 2010, №3 (53), с. 74-76.