

УДК 629.73.036.3

И.Ф. Кравченко

ГП “Ивченко-Прогресс”, Запорожье

ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И КРИТЕРИЙ ЕГО МОДИФИЦИРУЕМОСТИ ДЛЯ УЧЕБНО-БОЕВОГО САМОЛЕТА

В статье проведен анализ параметров, показателей и характеристик для оценки технико-экономического совершенства авиационного двигателя в системе самолета. Предложен показатель эффективности создания проекта двигателя и критерий его модифицируемости, который может быть использован на предварительных этапах проектирования силовой установки ЛА. Сущность разработанного показателя заключается в определении стоимости создания проекта двигателя на один час его назначенного ресурса. Обоснованы пути создания двигателя заново с минимальным использованием существующих элементов, т.е. практически “с нуля”, и с максимальным использованием существующих элементов с многолетними наработками. Во втором случае происходит развитие модификаций отдельных подсистем, что в конечном итоге приводит к созданию семейства двигателей.

Ключевые слова: летательный аппарат, критерий, показатель стоимости, авиационный двигатель, силовая установка, стоимость жизненного цикла двигателя, технико-экономическая эффективность, предварительный этап проектирования, семейство двигателей.

Введение

Эффективное решение проблемы оптимизации параметров силовой установки и планера летательного аппарата (ЛА) устанавливает оптимальное соотношение между потребностями, потенциальными техническими возможностями и располагаемыми ресурсами предприятий-изготовителей. Удачное решение этой проблемы в значительной мере определяет успех всего процесса создания и доводки двигателя, а в дальнейшем – и эффективность применения создаваемого ЛА.

Учитывая тенденции развития мирового авиационного рынка и финансовую привлекательность самолетов военного назначения, в качестве объекта исследования рассмотрим учебно-боевой самолет (УБС) или легкий боевой самолет (ЛБС).

Постановка задачи. Современная научно-методологическая база применительно к технико-экономической оценке и прогнозированию этапов жизненного цикла авиационного двигателя в системе ЛА военного назначения не обеспечивает достоверных результатов и требует постоянного уточнения с появлением новой информации [1, 2]. Целесообразность применения той или иной конструктивно-компоновочной схемы двигателя СУ в системе ЛА оценивается по разным показателям и критериям, что не позволяет однозначно принимать технические и экономические решения [3 – 6]. Возникает необходимость иметь единый научно обоснованный подход по созданию и доводке газотурбинного двигателя в системе ЛА с учетом технико-экономических показателей или критериев.

Анализ последних исследований и публикаций. При современной оценке двигателя силовой установки в системе ЛА тактического назначения

(УБС или ЛБС), кроме конструктивно-технических, используют и экономические характеристики. Наиболее обоснованное суждение о совершенстве рассматриваемого ЛА можно сделать с помощью критериев, основанных на использовании комплексных показателей технического совершенства подсистем самолета [7 – 12].

В случае, когда использование сложных критериев не оправдано из-за необходимости учета большого числа взаимосвязей и отсутствия объективной исходной информации, показателями оптимальности решения могут быть критерии, сформированные на основе летных характеристик самолета [13]:

- максимальная энергетическая скороподъемность ЛА на разных режимах работы двигателя;
- минимальные время и радиус выполнения установившегося виража в горизонтальной плоскости;
- минимальные время и радиус выполнения виража в вертикальной плоскости (петля Нестерова);
- минимальный радиус восходящей спирали;
- минимальные длина и время разбега ЛА;
- минимальные длина и время пробега ЛА;
- минимальная и максимальная скорость полета ЛА.

Мерой топливной экономичности ЛА тактического назначения может служить величина километровых затрат топлива $q = P \cdot C_{уд} / V$, (кг/км), где величина $P \cdot C_{уд}$ – часовой расход топлива; V – скорость полета.

Также может использоваться относительная величина километрового расхода топлива, которая приходится на один килограмм полетной массы самолета $\bar{q} = P \cdot C_{уд} / (V \cdot M_{ЛА})$, где $M_{ЛА}$ – полетная масса ЛА.

При анализе эффективности применения двигателей на ЛА используют величину, обратную относительному километровому расходу [14], то есть условную дальность полета $L_{\text{усл}} = K \cdot V / C_{\text{уд}}$, где K – аэродинамическое качество ЛА.

Однако этот критерий не учитывает ряд весьма важных взаимосвязей, в том числе таких, как влияние эксплуатационных данных на экономические затраты на час полета ЛА.

В качестве показателя эффективности ЛА вместе с силовой установкой часто используют величину стоимости жизненного цикла ЛА. Это понятие было введено для учета всех расходов, связанных с разработкой, производством и эксплуатацией подсистем ЛА. Стоимость жизненного цикла ЛА [1, 3, 9, 10, 11, 14, 15] включает расходы на исследовательские и опытно-конструкторские работы, доводку подсистем, капиталовложения на изготовление серии, стоимость эксплуатации, обслуживания, модернизацию, снятие с производства и утилизацию ЛА. Обычно расчетная формула имеет вид:

$$C_{\text{ЖЦ}} = C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{кап}} + C_{\text{изг}} + C_{\text{ГСМ}} + C_{\text{ТО}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{утил}}$$

где $C_{\text{изг}}$ – стоимость изготовления всего парка ЛА;

$C_{\text{НИОКР}}$ – стоимость НИОКР по данному ЛА;

$C_{\text{кап}}$ – стоимость капитальных вложений в ЛА;

$C_{\text{ГСМ}}$ – стоимость горюче-смазочных материалов, использованных парком ЛА за весь ЖЦ;

$C_{\text{ТО}}$ – стоимость технического обслуживания ЛА;

$C_{\text{рем}}$ – стоимость ремонта всего парка ЛА за ЖЦ;

$C_{\text{утил}}$ – стоимость утилизации парка ЛА.

В данном подходе капитальные вложения в ЛА вычисляются по составляющим цены двигателя и планера, затрат на разработку двигателя и планера, затрат на ввод в эксплуатацию ЛА, общей программы выпуска двигателей для самолета и численности парка ЛА данного типа.

Следует отметить, что величина стоимости жизненного цикла на предварительных этапах проектирования ЛА является не более чем гипотезой или прогнозом, поскольку сравнение вариантов параметрического облика ЛА проводится для не существующих образцов. Тем не менее считается, что снижение затрат на создание ЛА требует оценки стоимости жизненного цикла уже на первом этапе проектирования. Проектные параметры самолета или двигателя выбираются исходя из минимума стоимости жизненного цикла всего парка ЛА данного типа.

Группой сотрудников ЦИАМ им. П.И. Баранова [15, 16] был предложен и активно применяется критерий “условная стоимость летного часа” двигателя

$$C_{\text{усл}} = \frac{C_{\text{дв}} \cdot (1 + K_{\text{зап}})}{T_{\text{назн}}} + \frac{C_{\text{кр}}}{T_{\text{рем}}} + C_{\text{ТО}} + q_{\text{час}} \cdot C_{\text{топ}}$$

где $C_{\text{дв}}$ – цена нового авиадвигателя данного типа;

$T_{\text{назн}}$ – назначенный ресурс (в летных часах);

$C_{\text{кр}}$ – средняя стоимость капитального ремонта;

$T_{\text{рем}}$ – средняя межремонтная наработка авиадвигателей в данном парке;

$C_{\text{ТО}}$ – средняя стоимость текущего ТО и мониторинга состояния авиационных двигателей в расчете на летный час одного двигателя;

$q_{\text{час}}$ – средний часовой расход топлива;

$C_{\text{топ}}$ – цена топлива;

$K_{\text{зап}}$ – нормативное соотношение потребного количества запасных авиадвигателей и числа штатных авиадвигателей, определяемое по формуле

$$K_{\text{зап}} = \frac{t_{\text{рем}}^{\text{зав}}}{365 \cdot T_{\text{рем}}} \cdot T_{\text{дв}}$$

$t_{\text{рем}}^{\text{зав}}$ – время ремонта двигателя на заводе;

$T_{\text{дв}}$ – среднегодовая наработка авиадвигателей в данном парке.

В формуле “условной стоимости летного часа” лишь первое слагаемое, соответствующее стоимости штатных и запасных авиадвигателей, отражает стоимость их разработки и производства, а все остальные составляющие затрат относятся к затратам на этапе эксплуатации.

Для удобства использования в практике эксплуатирующих организаций и для обеспечения сопоставимости с традиционными критериями, годовая сумма затрат на весь парк приводится к летному часу одного ЛА – $C_{\text{ЖЦ}} / (N_{\text{ЛА}} \cdot T_{\text{рем}})$. Можно заметить, что показатель $C_{\text{ЖЦ}}$ не противоречит традиционно применяемому – условной стоимости летного часа, который фактически, включает в себя несколько первых слагаемых $C_{\text{ЖЦ}}$.

В работе [17] предложен инженерный критерий коммерческой эффективности. По мнению автора, критерий позволяет, абстрагируясь от многих параметров себестоимости, характеризующих различные условия эксплуатации (оценки которых на ранней стадии проектирования весьма условны), непосредственно выявить влияние летно-технических характеристик, топливной эффективности и стоимости самолета на его экономические показатели. Выражение для этого показателя имеет вид:

$$k_{\text{к.э}} = \frac{(A_{\text{ч.а}} + C_{\text{ч.р.т.}}) \cdot t_{\text{п}}}{m_{\text{к.н}} \cdot L_{\text{тех}}}$$

где $A_{\text{ч.а}}$ – часовая амортизация ЛА,

$C_{\text{ч.р.т.}}$ – стоимость часового расхода топлива;

$m_{\text{к.н}}$ – масса коммерческой нагрузки;

$L_{\text{тех}}$ – дальность полета техническая;

$t_{\text{п}}$ – время полета.

В этой формуле амортизация ЛА включает амортизационные отчисления на двигатель и планер

ЛА, количество двигателей в парке ЛА, среднегодовой налет ЛА, стоимость двигателя и планера ЛА, а также их капитальных ремонтов, назначенные ресурсы двигателя и планера.

Как известно, для сравнения эффективности выпускаемых изделий двигателестроительных предприятий необходимо обеспечить сопоставимость значений используемого критерия. Поэтому рассмотренные критерии служат исключительно для сравнения конкурирующих авиадвигателей одного класса, как правило, предназначенных для установки на ЛА одного типа. Для сравнения авиадвигателей, обладающих существенно различными потребительскими свойствами (и, следовательно, обеспечивающих различные результаты использования), необходимо разрабатывать более общие критерии сравнения, выходящие за рамки традиционных подходов. Очевидно, что такие критерии должны включать в себя и характеристики ЛА, неизбежно изменяющиеся при установке авиадвигателей другого класса – например, дальность полета, полезную нагрузку, скорость, взлетно-посадочные характеристики и др.

Выбор того или иного показателя эффективности в качестве критерия при определении области рациональных проектных параметров ТРДД или даже нескольких критериев с построением совместной области, следует производить после сравнения результатов исследований по каждому из перечисленных выше критериев эффективности. Однако это затруднительно из-за неточности большого количества исходных данных и, кроме того, результат заведомо будет иметь большую погрешность.

Для исследования параметров и характеристик СУ с целью выявления общих закономерностей их изменения, необходимо рядом с комплексом конкретных летно-технических критериев оценки ЛА, рассмотренных выше, иметь единый обобщающий критерий, который характеризует эффективность СУ в системе самолета и позволял бы находить оптимальные решения в общем виде. Разнообразие критериев объясняется тем, что к разным ЛА предъявляются в каждом конкретном случае определенные требования, которые выдвигаются заказчиком. Для того чтобы наиболее полно учесть все эти требования, необходимо разнообразие критериев. Для каждого конкретного проекта может выбираться свое определенное объединение критериев и ограничений.

Поэтому **целью статьи** является разработка показателя стоимости создания изделия и критерия его модифицируемости, которые включают техническую и экономическую стороны основных подсистем учебно-боевого самолета и позволяют исследовать область и диапазон приемлемых проектных решений.

Основная часть исследований

Существующие показатели и критерии не достаточно полно учитывают степень технического и экономического совершенства конструктивно-компоновочных решений двигателя в системе ЛА на основе исследуемых характеристик. Как было показано выше, исследование стоимости жизненного цикла двигателя на предварительных этапах проектирования представляется затруднительным из-за неточности исходных данных по самолету и двигателю как единому изделию, которое проектируется разными организациями. Кроме того, при всех прогнозных исследованиях необходимо учитывать особенности создания двух основных подсистем ЛА – планера со всеми его системами и силовой установки с маршевыми двигателями.

Учитывая основные требования к качеству показателей и критериев, на основе результатов сравнения различных конструктивно-компоновочных решений двигателей в диапазоне тяги для существующих учебно-тренировочных и УБС [3, 4, 18, 19], нами предложен показатель стоимости разработки силовой установки $P_{ст}$ при формировании проекта на предварительных этапах проектирования. Однако основное внимание уделено оценке разработки именно двигателя, поскольку он является наиболее затратным и продолжительным.

Оценивая силовую установку как единое изделие, можно принять следующие основные допущения:

– удельный расход топлива силовой установки учитывается косвенно через требуемую тягу двигателя на взлете, так как величина взлетной тяги соответствует взлетной массе самолета, а эта масса включает массу топлива, необходимого для выполнения типового полета;

– степень обновления конструкции двигателя (введение новых конструктивно-компоновочных решений) учитывается коэффициентом преемственности;

– сохранение использованной ранее производственно-технологической базы учитывается коэффициентом унификации;

– при создании нового или модифицированного двигателя ряд работ является обязательным и выполняется независимо от степени модификации двигателя: эскизный проект, изготовление макетного образца, сертификационные испытания и др.; принимаем, что доля этих затрат в общих затратах на создание нового проекта одинакова для всех сравниваемых конструкторско-технологических решений;

– поколение двигателя учитывается через его назначенный ресурс.

Сущность разработанного показателя заключается в определении стоимости создания проекта

двигателя на один час его назначенного ресурса и определяется формулой

$$P_{\text{ст}} = \frac{k_{\text{с дв}} \cdot P_{\text{дв}} \cdot C_{\text{ед тяги}}}{T_{\text{назн дв}}} \times \left[A(1 - k_{\text{преем дв}}) + (1 - A)(1 - k_{\text{униф дв}}) \right],$$

где $P_{\text{дв}}$ – взлетная тяга двигателя;

$C_{\text{ед тяги}}$ – стоимость единицы тяги двигателя;

$k_{\text{униф дв}}$ – коэффициент унификации двигателя;

$k_{\text{преем дв}}$ – коэффициент преемственности двигателя;

$k_{\text{с дв}}$ – прогнозное количество двигателей для полной окупаемости проекта изделия;

A – коэффициент, который определяет долю затрат на конструкторские работы в общих затратах на модификацию или создание нового двигателя;

$T_{\text{назн дв}}$ – назначенный ресурс двигателя.

Уровень надежности, долговечности и технологичности изделия зависит от преемственности его элементов. Преемственность при проектировании выражается в использовании всего опыта, накопленного в машиностроении, и формируется на основе критического подхода как к техническому заданию, так и к аналогам, рекомендованным в качестве прототипа. Принцип конструктивной преемственности состоит в максимальном использовании (заимствовании) сборочных единиц и деталей из ранее созданных машин. Это же относится и к методам монтажа, эксплуатации и ремонта.

Как правило, в процессе проектирования нового изделия многократно применяются одни и те же детали, узлы и формы поверхностей существующих образцов АТ, что определяет величину коэффициентов унификации подсистем изделия. Заранее заложенные в конструкцию изделия основные принципы модифицирования и агрегатирования позволяют максимально упростить последующее совершенствование таких изделий и их приспособление к новым условиям функционирования. Кроме того, унификация в технологическом процессе позволяет повысить серийность операций и выпуска изделий и, как следствие, удешевить производство, сократить время на его подготовку.

Таким образом, величины коэффициентов преемственности и унификации могут принимать разные значения для каждого нового объекта проектирования, но при этом максимальное значение не может превышать 1.

Как правило, в техническом задании на этапах предварительного проектирования не задается стоимость двигателя или ЛА в целом, поскольку эта величина динамично изменяется и прямо зависит от конъюнктуры мирового авиационного рынка. Известны такие основные характеристики как тяга двигателя и взлетная масса ЛА, а стоимостные данные могут прогнозироваться на основе маркетинговых данных в перспективном регионе. Поэтому в

предложенном показателе стоимость основных подсистем изделия характеризуется техническим и экономическим параметрами. Очевидно, наилучшему варианту изделия соответствует показатель с минимальным значением. Новым параметром, введенным в формулу стоимости создания проекта двигателя, является величина прогнозного количества двигателей $k_{\text{с дв}}$ для полной окупаемости проекта изделия, т.е. то количество двигателей в серии, которое компенсирует весь выделенный бюджет.

Физический смысл выбора величины прогнозного количества двигателей объясняется с помощью диаграммы, отражающей изменение прибыли во времени жизненного цикла двигателя (рис. 1).

Как известно, на первом отрезке времени А-Б выполняется проектирование двигателя, изготовление опытных образцов, испытания и комплекс работ по доводке двигателя на начальном периоде эксплуатации. Для рассматриваемого типа двигателя данный период длится около 3-5 лет и находится в убыточной части. Для проведения всех работ на данном этапе используется около 8...12 двигателей.

Участок Б-В представляет собой серийное производство, выпуск головной серии и производство двигателей по существующим заказам, устранение существенных замечаний эксплуатирующих организаций. Конструкторская организация и предприятие-изготовитель получают прибыль, с помощью которой покрывают расходы прежних этапов. Этот период составляет около 2 лет и требует продажи около 40 двигателей для покрытия расходов.

Отрезок времени В-Д отображает период получения чистой прибыли (около 4-6 лет). С выходом на авиационный рынок лучшего двигателя у конкурентов (точка Д) прибыль, как правило, с течением времени существенно замедляется. На основе технического и экономического анализа двигателей четвертого поколения соответствующего класса тяги для УТС и УБС установлено, что на момент появления нового двигателя-конкурента уже будет выпущено около 200 двигателей. Следовательно, прогнозное количество двигателей будет равно $k_{\text{с дв}} = 200$ [20]. Учитывая аналитический обзор стоимости разработки двигателей по поколениям, можно сделать вывод, что величина прогнозного количества двигателей для полной окупаемости проекта зависит от поколения создаваемого двигателя и составляет: для 3-го поколения $k_{\text{с дв}} \approx 100$, для 4-го поколения $k_{\text{с дв}} \approx 200$ и для 5-го поколения $k_{\text{с дв}} \approx 300$.

Анализ периодов разработки, производства и эксплуатации современных двигателей показывает, что эффективный период жизненного цикла двигателя составляет около 10-12 лет. Однако первые изменения параметрического облика двигателя (первые модификации двигателя) необходимо проводить за несколько лет (точка Г) до появления на рынке двигателя-конкурента (точка Д).

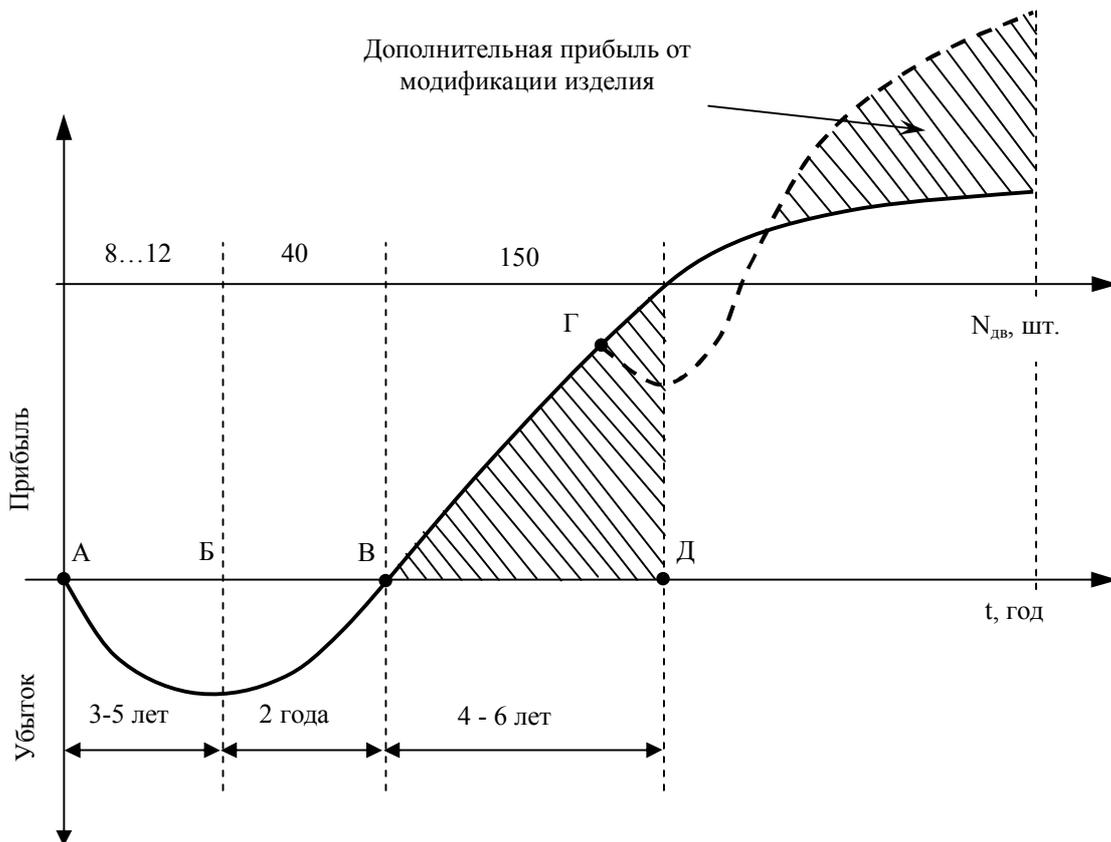


Рис. 1. Периоды жизненного цикла двигателя для УБС

Таким образом, достигается определенный технический и экономический выигрыш в новом поколении. Конкретное значение этого выигрыша или преимущества соответствующей модификации над базовым изделием, так называемый критерий модифицируемости изделия, может составлять от 10 до 90 % [1-3, 11, 21]. Значение этого критерия учитывает порог близости к изделиям конкурентов и может изменяться в зависимости от конъюнктуры рынка. Если значение критерия модифицируемости изделия показывает, что выигрыш от проведения модификации очень мал (например, менее 10 %), то проводить модификацию этого изделия нецелесообразно. Чем совершеннее характеристики изделия-конкурента, тем глубже нужно проводить модификацию базового изделия.

Очевидно, если рассчитанные показатели стоимости создания нового и базового изделий количественно равны ($\Pi_{ст}=1$), то выигрыш нового изделия все равно должен составлять как минимум 10 %, хотя это пороговое значение может изменяться в зависимости от рыночной конкуренции изделий. Поэтому обоснованно можно сказать, что в настоящее время максимальное значение критерия модифицируемости изделия должно быть $\leq 0,9$. Такой вариант разрабатываемого двигателя считается перспективным в ближайшее время. В противном случае необходимо принимать решения по уменьшению стоимости создания или создавать новое изде-

лие с вложением больших финансовых и временных затрат (задел нового поколения).

Для этой цели проанализируем критерий модифицируемости изделия, который определяется как отношение показателей стоимости создания базового и нового изделий для соответствующего типа авиационной техники

$$K_{\text{мод изделия}} = \Pi_{\text{ст нов}} / \Pi_{\text{ст баз}}$$

где $K_{\text{мод изделия}}$ – критерий модифицируемости изделия;

$\Pi_{\text{ст нов}}$ – показатель стоимости создания нового изделия;

$\Pi_{\text{ст баз}}$ – показатель стоимости создания базового изделия.

Поскольку значение критерия модифицируемости изделия $K_{\text{мод изделия}}$ зависит от многих параметров и характеристик, то в этом случае необходимо дополнительно определить диапазон его применения. В связи с этим проведем обоснование критерия модифицируемости изделия $K_{\text{мод изделия}}$ на примере двигателя АИ-222-25 как базового изделия [22, 23].

Как известно, существующий научно-методический аппарат ориентирован на создание двигателя в системе ЛА в предположении, что новый двигатель создается заново. Проанализируем характеристики показателя стоимости создания изделия от параметров его подсистем, которые создаются по двум направлениям (табл. 1):

1) силовая установка и все ее системы создаются заново с минимальным использованием существующих элементов, т.е. практически “с нуля”;

2) силовая установка и все системы создаются с максимальным использованием существующих элементов и многолетних наработок, т.е. происходит развитие модификаций отдельных подсистем, что в конечном итоге приводит к созданию семейства изделий.

Проведено исследование влияния характеристик 6 двигателей и непосредственно их ЛА, на которые они устанавливаются, на стоимость создания изделия в целом. Результаты исследований сведены в табл. 1.

В первом случае, когда все 6 двигателей создаются заново с минимальным использованием существующих элементов, что с увеличением тяги двигателя увеличиваются и затраты на его создание. Во втором случае, на базе двигателя АИ-222-25 создается 6 модификаций новых двигателей для установки на разные ЛА. Сравнение результатов расчета показателя стоимости создания двигателей показано на рис. 2.

Анализ результатов показывает, что развитие семейства двигателей позволяет существенно сэкономить средства разработчика. Из рис. 2 видно, что

стоимость создания двигателя в случае развития модификаций находится практически на одном уровне финансовых затрат. Следовательно, варианты разработки перспективных изделий имеют достаточную целесообразность с точки зрения финансовых затрат.

Таким образом, предложенный показатель стоимости создания изделия и критерий его модифицируемости позволяют обоснованно проводить разработку новых двигателей в системе ЛА, а также прогнозировать глубокую модификацию уже существующих образцов. Как известно, такой метод позволит существенно сократить временные ресурсы и материально-технические затраты предприятия-разработчика и изготовителя в условиях современного мирового авиационного рынка.

Разработанным показателем целесообразно пользоваться на предварительных этапах проектирования ЛА, когда известны требования к величине тяги и конкурентоспособной стоимости двигателя для размещения в силовую установку перспективного изделия. Кроме того, на начальных этапах создания двигателя и планера ЛА можно проводить предварительные исследования по условиям целесообразной стоимости изделия в условиях ограниченных материальных и временных ресурсов.

Таблица 1

Характеристики показателя стоимости создания изделия

Двигатель	АИ-222-25 базовый	Новый двигатель Дв-25	АИ-222-25Ф (модификация)	Новый двигатель Дв-25Ф	АИ-222-28 (модификация)	Новый двигатель Дв-28	АИ-222-28Ф (модификация)	Новый двигатель Дв-28Ф	АИ-222-22 (модификация)	Новый двигатель Дв-22
Название ЛА	Як-130	Як-130	ЛА-1	ЛА-1	ЛА-2	ЛА-2	ЛА-3	ЛА-3	ЛА-4	ЛА-4
Характеристики показателя стоимости создания двигателя										
$k_{с\ дв.}$	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
$F_{вх}, M^2$	0,30584	0,30584	0,30584	0,30584	0,30584	0,30584	0,30584	0,30584	0,24632	0,24632
$P_{дв}, H$	24 520	24 520	41 188	41 188	27 468	27 468	44 145	44 145	21 582	21 582
$C_{дв}, \text{млн. усл. ед.}$	1,7	1,7	2,3	2,3	2	2	2,7	2,7	1,5	1,5
$C_{ед\ тяги}, \text{усл.ед./H}$	69,33	69,33	55,84	55,84	72,81	72,81	61,16	61,16	69,50	69,50
$k_{униф\ дв.}$	0,7	0,5	0,832	0,5	0,75	0,5	0,832	0,5	0,7	0,5
$k_{преем\ дв.}$	0,47	0,1	0,82	0,1	0,72	0,1	0,52	0,1	0,6	0,1
$T_{назнач\ дв.}, \text{час}$	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Доля затрат на проектные работы	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
$C_{созд.\ дв.}, \text{млн. усл. ед.}$	121,550	204,000	78,660	276,000	103,000	240,000	132,840	324,000	97,500	180,000
$P_{ст\ созд.\ дв.}, \text{УСЛ. ед./час}$	40516,7	68000,0	26220,0	92000,0	34333,3	80000,0	44280,0	108000,0	32500,0	60000,0
$K_{мод\ изделия}$	1,0	1,67832	0,64714	2,27067	0,84739	1,97450	1,09288	2,66557	0,80214	1,48087

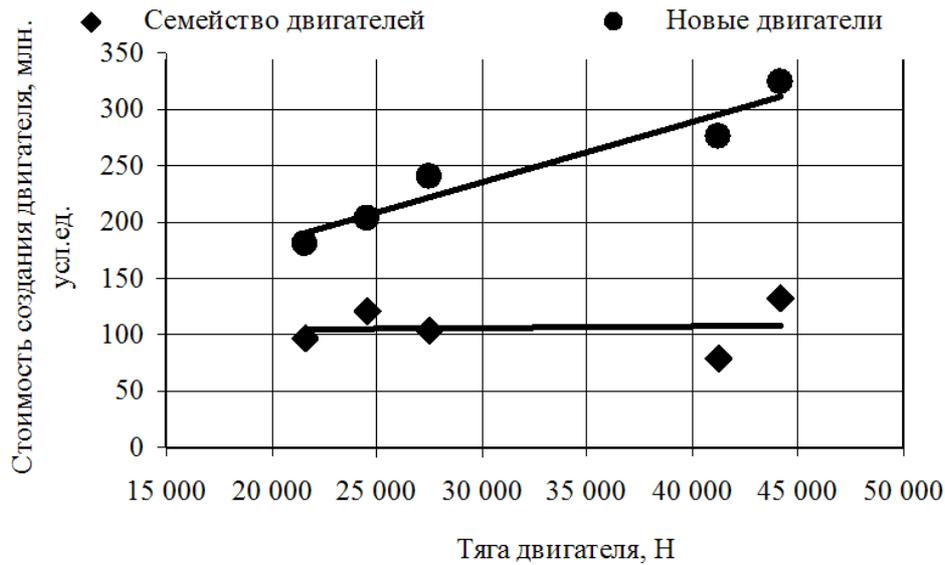


Рис. 2. Сравнение стоимости создания двигателей

С целью исследования семейства двигателей [23] предложен показатель развития семейства изделий, который включает ранее разработанный показатель стоимости создания изделия, а также коэффициенты, выражающие маркетинговую стратегию ОКБ и предприятия-изготовителя

$$P_{\text{сем}} = \sum_{j=1}^N \frac{k_{вj} \cdot k_{pj} \cdot P_{\text{ст нов } j}}{P_{\text{ст баз}}},$$

где $k_{вj}$ – нормированный коэффициент важности изделия в создаваемом семействе;

k_{pj} – нормированный прогнозный коэффициент риска для нового изделия в создаваемом семействе;

$P_{\text{ст нов}}$ – показатель стоимости создания нового изделия в создаваемом семействе;

$P_{\text{ст баз}}$ – показатель стоимости создания базового изделия;

N – количество двигателей в семействе.

Учитывая условия для коэффициентов

$$k_{вj} \geq 0, \quad k_{pj} \geq 0,$$

$$\sum_{j=1}^N k_{вj} = 1, \quad \sum_{j=1}^N k_{pj} = 1,$$

где N – количество изделий в создаваемом семействе, вычисляется значение показателя развития изделия в семействе.

В крайнем случае, когда все коэффициенты одинаковы для всех изделий в семействе, показатель развития будет определяться отношением показателей стоимости создания базового и нового изделий. Это означает, что преобладающую перспективу развития имеет изделие с меньшими финансовыми вложениями в одинаковых условиях.

Выводы по исследованию

Предложенные показатели требуют знания многих параметров и характеристик базового и нового изделий. Учитывая сложность взаимосвязей в современных боевых ЛА и их силовых установках, для определения этих параметров и характеристик целесообразно применять метод ретроспективного анализа.

Таким образом, предложенный показатель стоимости создания изделия и критерий его модифицируемости являются наиболее общими показателями, которые включают техническую и экономическую стороны основных подсистем учебно-боевого самолета и позволяют исследовать область и диапазон приемлемых проектных решений.

Перспективы дальнейших исследований

Предполагается провести исследования по уточнению диапазона применения разработанного показателя и критерия на двигатели, которые устанавливаются на транспортные и пассажирские самолеты.

Список литературы

1. Работы ведущих авиационных двигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей. /Под общ. ред. В.А. Скибина. – М.: ЦИАМ, 2004. – 254 с.
2. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: Монография / А. В. Богуслаев, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник, Д. В. Павленко, С. А. Субботин; Под ред. Д. В. Павленко, С. А. Субботина. - Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2009. – 468 с.

3. Mattingly, Jack D. *Aircraft engine design* / Jack D. Mattingly, William H. Heiser, David T. Pratt. 2nd ed. AIAA education series, 2002. – P.691.

4. Военная авиация. Оружие и технологии России. Энциклопедия 21 век. Том 4 / Под общ. ред. С. Иванова. – М.: Изд. дом “Оружие и технологии”, 2002. – 783 с.

5. Методы оптимального проектирования ГТД на начальном этапе / В.С. Кузьмичев, В.В. Кулагин, И.Н. Крупенич, А.Ю. Ткаченко, В.Н. Рыбаков // Электронный журнал «Труды МАИ», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – 2012. – №59. – С. 122-129.

6. Лавринов Г.А. Методы прогнозирования цен на продукцию военного назначения / Г.А. Лавринов, Е.Ю. Хрусталев // Проблемы прогнозирования, № 1, 2006. – С. 87-96.

7. Терещенко Ю.М. Інтеграція авіаційних силових установок і літальних апаратів / Терещенко Ю.М., Кулик М.С., Панін В.В. – К.: Нац. авіац. ун-т. – 2009. – 344 с.

8. Скрипниченко С.Ю. Оптимизация режимов полета по экономическим критериям / С.Ю. Скрипниченко – М.: Машиностроение, 1988. – 151 с.

9. Ахмедзянов А.М. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей / А.М. Ахмедзянов, Ю.С. Алексеев, Х.С. Гумеров. – М.: Машиностроение, 2000. – 454 с.

10. Иностранные авиационные двигатели. / Под ред. Л.И. Соркина. – М.: ЦИАМ, 13 издание. – 2000. – 203 с.

11. Obaid Y. *Military jet engine acquisition, technology basics and cost-estimating methodology* / Younossi, Obaid; Arena, Mark V; Moore, Richard M; Lorell, Mark; Mason, Joanna; and Graser, John C. // RAND Project AIR FORCE, 2002, Santa Monica, CA.

12. Тарасенко А.М. Динамика полета и боевого маневрирования летательных аппаратов / А.М. Тарасенко, В.Г. Брага, В.Т. Тараненко. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1984. – 512 с.

13. Югов О.К. Согласование характеристик самолета и двигателя / О.К. Югов, О.Д. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.

14. Пономарев В.А. Оценка экономической эффективности авиационных ГТД / В.А. Пономарев. – Рыбинск: РГАТА, 2000. – 90 с.

15. Морозов А.А. Принципы построения имитационной модели процесса эксплуатации ГТД модульной конструкции / А.А. Морозов, И.А. Никонова, Г.Г. Иоджиян // Труды ЦИАМ № 1153, вып. 4, 1986. – 46 с.

16. Оценка объема выпуска и ремонта в зависимости от ресурсных характеристик проектируемых газотурбинных двигателей. Руководство для конструкторов, выпуск 2 / Ждановский А.В., Иоджиян Г.Г., Локитанов Е.А., Никонова И.А., Чернышев С.А. // Труды ЦИАМ №1276, 1990.

17. Шейнин В.М. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1. Весовой расчет самолета и весовое планирование / В.М. Шейнин, В.И. Козловский. – М.: Машиностроение, 1977. – 344 с.

18. *Jane's Aero-Engines* // Edited by Bill Gunston OBE, FRAeS, March, 2005. – 750 p.

19. Дональд Д. Энциклопедия военной авиации / Дэвид Дональд, Йон Лейк. – Пер. с англ. А. Бердов, И. Мальцев, А. Алексеев. – Изд-во “Омега”, 2003. – 443 с.

20. Обоснование цены двигателя на УТС. – Запорожье: ГП “Ивченко-Прогресс”, 2010. – 29 с.

21. Byerley A. R. Estimating gas turbine engine weight, costs, and development time during the preliminary aircraft engine design process / A. R. Byerley, A.J. Rolling, K. W. Van Treuren // Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition, GT2013-95778, June 3-7, 2013, San Antonio, Texas, USA.

22. Турбореактивный двухконтурный двигатель АИ-225-25. Эскизный проект. – Запорожье: ГП “Ивченко-Прогресс”, 2000 г. – 569 с.

23. Семейство турбореактивных двухконтурных двигателей АИ-222. Техническое предложение. – Запорожье: ГП “Ивченко-Прогресс”, 1999. – 292 с.

Надійшла до редколегії 25.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук, ст. научн. сотр. В.В. Логинов, Харьковський університет Воздушних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

ПОКАЗНИК ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА І КРИТЕРІЯ ЙОГО МОДИФІКОВАНOSTI ДЛЯ НАВЧАЛЬНО-БОЙОВОГО ЛІТАКА

І.Ф. Кравченко

У статті проаналізовано параметри, показники і характеристики для оцінки техніко-економічної досконалості авіаційного двигуна в системі літака. Запропоновано показник вартості створення проекту двигуна і критерій його модифікованості, які можуть бути використані на попередніх етапах проектування силової установки ЛА. Суть розробленого показника полягає у визначенні вартості створення проекту двигуна на одну годину його назначеного ресурсу. Обґрунтовано шляхи створення двигуна наново з мінімальним використанням існуючих елементів, тобто практично “з нуля”, і з максимальним використанням існуючих елементів з багаторічними напрацюваннями. В останньому випадку відбувається розвиток модифікації окремих підсистем, що зрештою приводить до створення сімейства двигунів.

Ключові слова: літальний апарат, критерій, показник вартості, авіаційний двигун, силова установка, вартість життєвого циклу двигуна, техніко-економічна ефективність, попередній етап проектування, сімейство двигунів.

INDEX OF PROJECT EFFICIENCY OF AVIATION ENGINE AND CRITERION OF ITS MODIFICATION FOR EDUCATIONAL-BATTLE AIRPLANE

I.F. Kravchenko

Parameters, indexes and performances to estimate the technical and economical perfection of aviation engine in the airplane system are discussed. The index of the engine project creation cost and criterion of its modification, which can be utilized at the preliminary stages of aircraft power plant designing, is offered. Essence of the developed index consists in determination of the engine project cost per one hour of its appointed life-time. The ways of engine designing using minimum existent elements and using maximum of previously designed elements are grounded. The last approach includes development and modification of some subsystems, that finally results in creation of family of engines.

Keywords: aircraft, criterion, index of cost, aviation engine, power-plant, cost of life cycle of engine, techno-economic efficiency, previous stage of planning, family of engines.