

УДК 608.2

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВИАЦИОННОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

© М.Р. Асадуллин, П.М. Симонов

Ключевые слова: жизненный цикл авиационного двигателя; математическая модель стоимости опытно-конструкторских работ.

В статье рассмотрено определение информационной модели жизненного цикла авиационного двигателя. Построена математическая модель стоимости опытно-конструкторских работ. Показана практическая значимость работы и перспективы развития исследования.

Общепризнанным атрибутом высокоразвитого, независимого государства в наше время является способность создания и производства изделий авиационной техники.

Газотурбинные двигатели (ГТД) — весьма распространенный тип силовой установки, применяемый на транспорте и в энергетике. Современный авиационный ГТД является наукоемким высокотехнологичным продуктом, аналогов которому по уровню напряжений и тепловому состоянию деталей нет среди других изделий машиностроения.

Основными служебными свойствами такого наукоемкого объекта, как авиационный двигатель, являются: конструкционная прочность, ресурс, живучесть, безопасность, экономичность, которые предопределяются совокупностью взаимосвязанных процессов последовательного изменения его состояния от начала разработки — проектирования и до окончания его эксплуатации — утилизации, т. е. жизненным циклом изделия (ЖЦИ) [1].

Информационную модель взаимодействия этапов жизненного цикла авиационного двигателя и их влияние на показатели его качества можно представить в виде двух геометрических спиралей, эквидистантно расположенных относительно друг друга, где внешняя спираль отражает взаимодействия основных этапов ЖЦИ, а внутренняя — охватывает показатели качества [2].

Внешняя геометрическая спираль начинается с маркетинга рынка, экономических исследований и последующих этапов: проектирования, технологической подготовки производства, производства, контроля, испытаний, поставки заказчику, — это первый виток ЖЦИ.

При этом формируется высокий уровень показателей качества. Информационное поле показателей качества расположено во внутреннем контуре первого витка геометрической спирали показателей качества. Второй виток внешней геометрической спирали взаимодействия основных этапов ЖЦИ включает: эксплуатацию, техническое обслуживание, восстановительный ремонт, хранение и утилизацию.

В условиях отсутствия научного подхода к анализу стоимости жизненного цикла авиадвигателя авторами ставится задача построения математической модели зависимости стоимости жизненного цикла от основных параметров авиационного газотурбинного двигателя.

В качестве критерия оптимальности модели было решено использовать квадратичный критерий, определяемый как сумма квадратов отклонений между реальным и модельным значениями целевой функции:

$$\xi = \sum_{p=1}^m (y_p - y_{mod,p})^2,$$

где y_p — значение реальной стоимости жизненного цикла двигателя для p -го образца; $y_{mod,p}$ — значение стоимости жизненного цикла двигателя для p -го образца, рассчитанное с помощью синтезированной модели.

Процесс построения модели будет сопровождаться этапами: отбор информативных признаков; выбор наиболее представительных экземпляров данных; поиск оптимальной структуры модели выбранного типа (структурный синтез); параметрический синтез модели; оптимизация построенной модели [1].

На данном этапе авторами была решена задача отбора информативных признаков для модели стоимости первого витка ЖЦИ — опытно-конструкторских работ (ОКР) на период, начиная с этапа разработки эскизного проекта и кончая завершением этапа проведения доработок по результатам государственных испытаний двигателей. В модель вошли следующие характеристики двигателя: расход воздуха через внутренний контур двигателя, кг/с; степень двухконтурности; суммарная степень повышения давления в компрессоре; максимальная температура газа перед турбиной, К.

Далее, ввиду отсутствия большого количества экземпляров данных, эмпирическим путем были выбраны наиболее представительные из них — двигатели, произведенные пермским предприятием ОАО «Авиадвигатель» — Д-30Ф6 и ПС-90А.

Первым автором в качестве решения задачи структурного синтеза была разработана полиномиальная модель.

Параметрический синтез модели состоял в расчете весов, с которыми информативные признаки входят в уравнение стоимости ОКР. Кроме того, в модель включены коэффициенты, характеризующие процесс разработки двигателя: коэффициент, учитывающий изменение стоимости и трудоемкости ОКР при кооперации нескольких опытно-конструкторских бюро (ОКБ). Представляет собой прямую линейную зависимость затрат на разработку двигателя от количества ОКБ, занятых разработкой; показатель, характеризующий время начала ОКР; фиктивные переменные, характеризующие тип и назначение двигателя; коэффициент, характеризующий степень использования предшествующего опыта в данной ОКР. Определяется экспертно в целом по двигателю и принимает значения от 0,05 для принципиально новой конструкции двигателя для мировой практики до 0,95 для двигателей с несущественными изменениями в конструкции.

Результатом структурно-параметрической идентификации модели зависимости стоимости ОКР от выбранных признаков является выражение (формула), которое целесообразно применять не только для определения значения выходного параметра для образцов, не входящих в обучающую выборку (новые перспективные двигатели), но и для поиска оптимальных значений входных информативных признаков (характеристики двигателя).

В ходе дальнейшего исследования будут построены оптимизационные модели для последующих этапов жизненного цикла двигателей Д-30Ф6 и ПС-90А. Данные модели пройдут апробацию на реальных данных по новому перспективному двигателю, ОКР по которому ведутся в ОАО «Авиадвигатель», и будут закончены в 2016 г. и в случае успеха произойдет внедрение модели на предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богуслаев А.В., Олейник Ан.А., Павленко Д.В., Субботин С.А. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: Монография. Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2009. 468 с.
2. Качан А.Я., Богуслаев А.В., Беликов С.Б., Внуков Ю.Н. Информационные модели жизненного цикла и прочностной надежности авиационного двигателя // Вестник двигателестроения. 2007. № 2. С. 39-43

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ

(договор № 02.G25.31.0016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Asadullin M.R., Simonov P.M. MATHEMATICAL MODELING OF LIFE CYCLE COST OF AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINE

The definition of the information life cycle model of aircraft engine is considered. The mathematical cost model of development works is built. The practical significance of the research and development perspectives is shown.

Key words: life cycle of aircraft engine; the mathematical cost model of development work.

УДК 517.925.52

ОБОБЩЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ СЛАБЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© А.П. Афанасьев, С.М. Дзюба, Ю.Е. Репина

Ключевые слова: слабый периодический оператор сдвига; обобщенно-периодические движения.

Вводится определение обобщенно-периодического движения одного широкого класса динамических систем. Этому классу принадлежат системы, порожденные обыкновенными дифференциальными уравнениями, уравнениями с запаздывающим аргументом, уравнениями типа Вольтерра и некоторые другие. Приводится критерий существования обобщенно-периодических движений.

Пусть Σ – некоторое метрическое пространство с метрикой d , $\mathbb{R}^+$ – действительная полуось $[0, +\infty)$ и $f(\tau, t, p)$ – отображение множества $\mathbb{R} \times \mathbb{R}^+ \times \Sigma$ в пространство Σ . Положим

$$f(\tau, t, p) = G(\tau, t)p$$

и будем считать, что:

а) отображение $f(\tau, t, p)$ непрерывно по совокупности переменных τ, t, p на множестве $\mathbb{R} \times \mathbb{R}^+ \times \Sigma$;

б) для всех $(\tau, p) \in \mathbb{R} \times \Sigma$

$$G(\tau, 0)p = p;$$

с) существует такое положительное число T , что при $(\tau, t) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^+$

$$G(\tau + T, t)G(\tau, T) = G(\tau, t + T). \quad (1)$$

Тогда будем говорить, что $f(\tau, t, p)$ — движение, если пара $(\tau, p) \in \mathbb{R} \times \Sigma$ фиксирована.

Следуя [1], будем называть оператор, удовлетворяющий условию (1), слабым оператором сдвига. В дальнейшем будет рассматриваться только слабый T -периодический оператор сдвига, т. е. оператор $G(\tau, t)$, для всех $(\tau, t) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^+$ удовлетворяющий условию

$$G(\tau + T, t) = G(\tau, t).$$