

ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НЕСВОЕВРЕМЕННОМ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Асоцкий И.П.¹, Тесля Д.Н.²

¹ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
(г. Воронеж), igorasockij@yandex.ru

Ключевые слова: безотказность, газотурбинный двигатель, эксплуатация, математическая модель, несвоевременное выполнение технического обслуживания

Безотказность в процессе эксплуатации не остаётся неизменной. Исследование того, как именно меняются показатели безотказности со временем, представляет собой одну из ключевых задач теории надёжности. Задача эксплуатирующих организаций – обеспечить поддержание требуемого уровня надёжности и безопасности, что требует постоянного контроля со стороны персонала. Это определяет периодичность и формы технического обслуживания (ТО), позволяющих эксплуатировать двигатель с надёжностью не ниже установленной. Помимо этого, на надёжность ГТД оказывают влияние условия его эксплуатации. Двигатель, проходящий ТО в полном объёме, и двигатель, обслуживаемый не полностью, не могут иметь одинаковый уровень безотказности.

Анализ существующих моделей оценки безотказности ГТД показывает, что в настоящее время отсутствует математический аппарат, позволяющий учитывать влияние невыполнения ТО на безотказность [1]. Решение этой задачи особенно актуально при переходе на эксплуатацию по состоянию, так как техническое обслуживание в таком случае производится по необходимости, либо при возникновении отказа. При этом значения показателей безотказности ГТД должны поддерживаться в установленных пределах, для чего и необходим математический аппарат, позволяющий учитывать обозначенную выше проблему.

Обеспечение и поддержание заданного уровня безотказности в процессе эксплуатации достигается высоким качеством работ при техническом обслуживании авиационной техники, соблюдением объема и периодичности выполнения установленных видов ТО. Невыполнение ТО приводит к несвоевременному обнаружению и устранению отказов, которые могут приводить либо к досрочному съему двигателя с эксплуатации с выполнением дорогостоящего ремонта, либо к возникновению авиационных событий, приводящих к гибели людей и потере авиационной техники.

Для определения показателей безотказности при такой эксплуатации была разработана математическая модель оценки безотказности ГТД при несвоевременном выполнении технического обслуживания (рисунок 1). Модель основывается на существующей модели расчета характеристик надежности авиационной техники [2] и модели, применяемой в методике количественной оценки безотказности авиационных двигателей по результатам эксплуатации, разработанной в ЦИАМ им. П.И. Баранова [3]. Отсутствие учета влияния эксплуатационных факторов на показатели безотказности является одним из недостатков данных моделей, частично устраняемых разработанной математической моделью.

Известно большое количество видов законов распределения случайных величин. Однако для оценки надежности большинства объектов авиационной техники, таких как ГТД, можно ограничиться сравнительно небольшим числом законов распределения: нормальным, экспоненциальным, Вейбулла [4], так как они наиболее полно описывают процессы, протекающие во всех этапах эксплуатации ГТД. Так, закон распределения Вейбулла хорошо описывает процессы на этапе приработки изделия. Экспоненциальный закон распределения применим к изделиям в период установившейся эксплуатации. Нормальный закон распределения применяется при изучении постепенных отказов,

износа, при исследовании процессов, на изменение которых влияет большое число факторов, что позволяет его применять для этапа «старения».

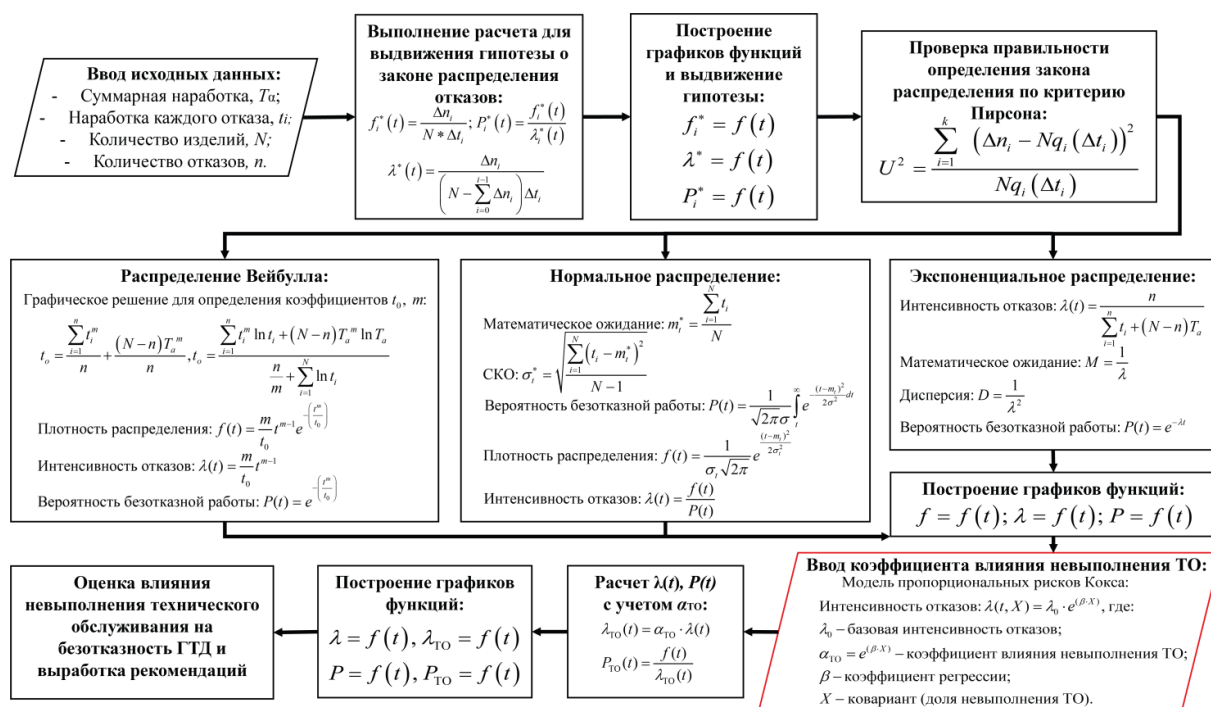


Рис. 1 – Математическая модель оценки безотказности газотурбинного двигателя при несвоевременном выполнении технического обслуживания

Применение трех законов распределения позволяет повысить точность оценки показателей безотказности изделия, так как охватывает весь диапазон эксплуатации от приработки до старения.

Отличительной особенностью разработанной математической модели является ввод поправочный коэффициент для оценки влияния невыполнения технического обслуживания на безотказность ГТД α_{TO} . Для его определения необходимо воспользоваться моделью пропорциональных рисков Кокса.

Формула модели пропорциональных рисков Кокса для решаемой задачи выглядит следующим образом:

$$\lambda(t, X) = \lambda_0 \cdot e^{(\beta \cdot X)},$$

где λ_0 – базовая интенсивность отказов: отражает, как меняется интенсивность отказов со временем при «стандартных» условиях (когда все влияющие факторы равны нулю);

$e^{(\beta \cdot X)}$ – часть, отвечающая за ковариаты: «множитель риска», который показывает, как конкретные факторы увеличивают или уменьшают количество отказов;

X – это ковариат, то есть измеряемый параметр, который может влиять на надежность. В данном случае доля невыполнения технического обслуживания;

β – это коэффициент регрессии, который модель рассчитывает на основе данных об отказах. Знак и величина коэффициента показывают направление и силу влияния фактора.

Отсюда α_{TO} определяется следующим образом:

$$\alpha_{TO} = e^{(\beta \cdot X)} \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

Рассчитанный коэффициент влияния невыполнения ТО α_{TO} вводится в математическую модель для дальнейших уточняющих расчетов интенсивности отказов и вероят-

ности безотказной работы при несвоевременном выполнении технического обслуживания по следующим формулам:

$$\lambda_{\text{ТО}}(t) = \alpha_{\text{ТО}} \cdot \lambda(t), \quad (1)$$

$$P_{\text{ТО}}(t) = \frac{f(t)}{\lambda_{\text{ТО}}(t)}. \quad (2)$$

Формулы 1 и 2 позволяют рассчитать показатели безотказности изделия при несвоевременном выполнении технического обслуживания, что повышает точность оценки безотказности при такой эксплуатации, способствует выработке рекомендаций для предприятий промышленности и эксплуатирующих организаций по внесению изменений в конструкцию, регламент технического обслуживания.

Список литературы

1. Асоцкий И.П., Тесля Д.Н. Анализ существующих методик оценки безотказности авиационной техники // Сб. науч. ст. по материалам XIII Международной научно-практической конференции «Академические Жуковские чтения» (19–21 ноября 2025 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2025. – С. 407–411.
2. Расчет безотказности изделий авиационной техники: Методические указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; сост. В.А. Кочуров. – Самара, 2003. – 32 с.
3. Методика количественной оценки безотказности авиационных двигателей по результатам эксплуатации – Москва, 1991. – 29 с.
4. Малафеев С.И., Копейкин А.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи: Учебное пособие. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург, 2016г. – 313 с.

Сведения об авторах

Асоцкий И.П. – адъюнкт 73 кафедры (авиационных двигателей) ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Тесля Д.Н. – старший преподаватель 73 кафедры (авиационных двигателей) ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF A GAS TURBINE ENGINE IN CASE OF UNTIMELY MAINTENANCE

Asotskiy I.P.

Postgraduate student of the Department of Aircraft Engines of the Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

Teslya D.N.

Senior teacher of the Department of Aircraft Engines of the Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

The article presents the need of taking into account the failure to perform maintenance when assessing the reliability of gas turbine engines. A mathematical model has been developed to solve this problem the Cox proportional hazards model.