

ИНЖИНИРИНГ КАЧЕСТВА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО МЕТОДА QFD И FMEA

Филиппова Т.С.^{1,2}, Дмитриев А.Я.¹

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
²ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, t.s.philippova@gmail.com

Ключевые слова: инжиниринг качества, робастное проектирование, QFD, FMEA, газотурбинный двигатель.

Данная работа посвящена инжинирингу качества малоразмерного газотурбинного двигателя (ГТД) с расходом воздуха от 1 до 10 кг/с на этапе проектирования. Основной задачей инжиниринга качества является обеспечение робастности проектируемого изделия. Под робастностью понимается устойчивость к факторам, вызывающим непостоянство и устаревание. QFD (развёртывание функции качества) и FMEA (анализ видов и последствий потенциальных несоответствий) являются эффективными методиками инжиниринга качества [1]. Наибольшего эффекта позволяет достичь интегрированный метод QFD и FMEA [2]. Главным инструментом QFD является Дом качества [3]. Строки матрицы соответствуют требованиям потребителя, столбцы – характеристикам проектируемого изделия. Результатом анализа является определение значимости технических характеристик для удовлетворения требований потребителя. Абсолютная значимость находится по формуле (1).

$$q_j^* = \sum_{i=1}^n p_i \cdot k_i \cdot h_{ij} = p_1 k_1 h_{1j} + \dots + p_n k_n h_{nj}, \quad (1)$$

где h_{ij} – коэффициент взаимосвязи j -й характеристики продукции и i -го требования; p_i – относительное значение важности i -го требования для потребителя; k_i – относительное значение важности i -го требования для конкурентоспособности (определяется по результатам бенчмаркинга); n – количество требований потребителя.

Методом мозгового штурма были определены следующие требования потребителя: безопасность работы, устойчивая работа силовой установки, стабильность эксплуатационных характеристик, обеспечение тяги на взлетном режиме, обеспечение тяги в крейсерских условиях полета, обеспечение удельного расхода топлива в крейсерских условиях полёта, соответствие ограничениям по габаритам, соответствие ограничениям по массе, высокая безотказность, высокая долговечность, высокая ремонтпригодность, удобство обслуживания и ремонта, простота изготовления и сборки, использование доступных материалов, низкая шумность, низкая эмиссия вредных веществ, низкая стоимость изготовления серийного образца, низкая стоимость эксплуатации и обслуживания. Они были ранжированы с помощью матрицы попарных сравнений. Затем был произведён бенчмаркинг. В качестве основных конкурентов были выбраны двигатели ТТ100, МД-120 и NPT 401А. Результаты были занесены в Дом качества. Анализ подвергались следующие технические характеристики двигателя: коэффициент внешнего сопротивления, тяга двигателя на взлётном режиме, тяга в крейсерских условиях, часовой расход топлива, масса двигателя, масса топлива, расходуемого за полёт, производительность в системе БПЛА, стоимость жизненного цикла ГТД в системе БПЛА, уровень шума, выбросы вредных веществ (СО и Nox). Экспертным путём была определена теснота связей характеристик и требований и найдена абсолютная значимость каждой характеристики по формуле (1).

Следующим этапом стал анализ рисков, проводимый по методике FMEA [1]. В качестве потенциальных несоответствий рассматривалось полное или частичное невыполнение требований потребителя. Для каждого несоответствия были определены последствия, причины возникновения и меры обнаружения. Все причины возникновения несоответствий связаны с техническими характеристиками двигателя и обусловлены несовершенством конструкции и производства, влиянием окружающей среды и человеческим фактором. Значимость, вероятность возникновения и вероятность обнаружения были оценены по специально

разработанным шкалам. Результатом FMEA является определение абсолютного и относительного приоритетных чисел риска (ПЧР) каждой j -й характеристики, которые вычисляются по формулам (2, 3).

$$r_j^* = \sum_{j=1}^m S_j \cdot O_j \cdot D_j, \quad (2)$$

$$r_j = (r_j^* / \sum_{j=1}^k r_j^*) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где S_j – значимость несоответствия, вызванного j -й характеристикой; O_j – вероятность возникновения причины несоответствия, вызванного j -й характеристикой; D_j – вероятность обнаружения признаков несоответствия, вызванного j -й характеристикой, до того, как они будут замечены потребителем; m – количество причин несоответствий, вызванных j -й характеристикой; k – количество всех причин несоответствий.

Абсолютное значение приоритета j -й характеристики с учётом риска было найдено по формуле (4), после чего по формуле (5) было определено относительное значение каждой характеристики.

$$q_j^{**} = r_j \cdot \sum_{i=1}^n p_i \cdot k_i \cdot h_{ij} = r_j (p_1 k_1 h_{1j} + \dots + p_n k_n h_{nj}), \quad (4)$$

$$q_j = (q_j^{**} / \sum_{j=1}^l r_j^*) \cdot 100\%, \quad (5)$$

где l – количество обобщённых характеристик изделия.

Анализ проектируемого малоразмерного ГТД БПЛА интегрированным методом QFD и FMEA показал, что наиболее значимыми для удовлетворения требований потребителя и для снижения риска являются тяга двигателя на взлётном режиме, масса двигателя и выбросы вредных веществ (СО и Noх). Улучшение этих характеристик позволит повысить робастность проектируемого двигателя.

Список литературы

1. Загидуллин Р.С., Митрошкина Т.А., Садыков О.Ф., Высоцкая М.В., Нагурный И.О., Горшков А.В. Разработка модели обеспечения качества при проектировании, изготовлении, испытании изделий авиационно-космической техники // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019. №12. С. 27-33.

2. Родионов В.Н. Повышение эффективности управления качеством продукции и технологических процессов на основе инновационных преобразований в кабельном производстве. Диссертация кандидата технических наук. Самара, 2011. 213 с.

Сведения об авторах

Филиппова Татьяна Сергеевна, аспирант. Область научных интересов: управление качеством, робастное проектирование.

Дмитриев Александр Яковлевич, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: управление качеством, робастное проектирование.

QUALITY ENGINEERING OF A GAS TURBINE ENGINE ON THE BASE OF QFD AND FMEA INTEGRATED METHOD

Filippova T.S., Dmitriev A.Ya.

Samara National Research University named after academician S.P. Korolev,

PJSC “UEC-Kuznetsov”, Samara, t.s.philippova@gmail.com

Keywords: quality engineering, robust design, QFD, FMEA, gas turbine engine.

This paper is devoted to quality engineering of a gas turbine engine. QFD and FMEA integrated method is applied in order to improve robustness of the engine. The most important characteristics to meet customer requirements and to reduce risk are identified.