

УДК 621.01 : 629.7.01

В.А. ВЬЮНОВ¹, С.М. СТЕПАНЕНКО¹, А.В. ТОМАШЕВСКИЙ²

¹ ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

² Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Рассматривается применение методов математической статистики к анализу параметров авиационного двигателя, получаемых при приемо-сдаточных испытаниях. Приводятся данные анализа замеренной частоты вращения роторов вентилятора и роторов высокого давления для одного типа двигателей.

статистика, приемо-сдаточных испытания, авиационный двигатель, выборка, естественный разброс

Постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами

Параметры, измеряемые и контролируемые при приемо-сдаточных испытаниях (ПСИ) авиационных двигателей, не только сами по себе характеризуют соответствие испытываемого двигателя заданным проектным характеристикам, но, в сравнении с теми же параметрами, получаемыми для выпускаемой серии двигателей, могут характеризовать стабильность и качество изготовления или ремонта двигателей; показывать пределы разброса параметров по отношению к их номинальной величине и т.п. Количественный анализ таких результатов невозможен без применения методов математической статистики. Таким образом, анализ статистической обработки параметров двигателей, получаемых при ПСИ, представляет собой важную научно-практическую задачу.

Обзор публикаций и выделение нерешенных задач

Применение статистических методов в качестве аппарата для управления процессами и параметрами достаточно широко обсуждается в литературе, например [1, 2]. Однако, для решения задач, связанных с обработкой и анализом результатов ПСИ авиационных двигателей, практические приложения статисти-

ческих методов разработаны еще недостаточно.

По результатам ПСИ проводится оценка работоспособности двигателя. Она заключается в анализе изменения основных функциональных параметров в процессе запуска и работы на режимах, оговоренных в технической документации, а также в приведении полученных параметров к условиям стандартной атмосферы и полетному режиму и сравнении приведенных параметров или их отклонений с заданной нормой. Диагностика основных параметров двигателя, основанная на анализе тенденций отклонения параметров, выполняется с помощью моделирования на математической модели двигателя, но для этого необходимо повышение разрешающей способности методов статистического анализа, которые бы обеспечивали выявление причины изменения параметров по их относительно небольшим отклонениям.

Статистическая обработка параметров пока что слабо подкреплена математически. Это касается среднесрочной оценки и прогнозирования работоспособности двигателя, при которых необходимо строить зависимости изменения параметров от наработки и определять тенденции их выхода за предельные уровни. Возникают трудности и при сравнении результатов ПСИ с материалами самолетных гонок двигателя, в частности, из за разной точности

измеряющих приборов, а также отличия условий, в которых они производятся.

1. Постановка задачи данного исследования

В данном исследовании показано, как методы математической статистики применяются к обработке и анализу параметров двигателя, измеряемых при ПСИ. На примере одного из измеряемых параметров проводится численный анализ и делается вывод относительно его стабильности, границ изменения, соответствия требованиям технической документации.

2. Изложение основного материала исследования и анализ полученных результатов

2.1. Математическая постановка вопроса

В современных условиях производства авиационных двигателей, когда их выпуск ограничен небольшим количеством заказов со стороны потребителей, статистический анализ приходится проводить на выборках ограниченного объема n , порядка десятков единиц одного измеряемого параметра. Однако, если получаемые результаты стабильны, то их можно представлять в виде нормального распределения и полагать, что $\mu = \text{const}$ (центр поля допуска значений измеряемой величины) и $\sigma = \text{const}$ (среднее отклонение одной точки от центра поля допуска). Точно определить по такой ограниченной выборке параметры μ и σ нельзя, но можно сделать их оценку, используя соотношения:

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (1)$$

$$\hat{\sigma} = \bar{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} , \quad (2)$$

где x_i – фактически измеренная величина анализируемого параметра, \bar{x} и \bar{S} – осредненные значения измеренной величины и среднеквадратичного отклонения.

Принимая эти оценки за истинные значения параметров μ и σ , можно построить интервал с нижней НКГ = $\hat{\mu} - 3\hat{\sigma}$ и верхней ВКГ = $\hat{\mu} + 3\hat{\sigma}$ контрольными границами (рис. 1).

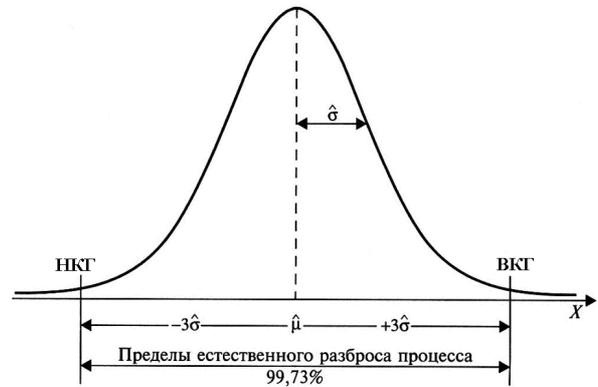


Рис. 1. Нормальное распределение значений измеряемого параметра

Интервал $[\hat{\mu} \pm 3\hat{\sigma}]$ можно рассматривать как зону естественного разброса значений измеряемого параметра, который возникает из-за внутренних причин, присущих данному процессу. Выбросы точек за пределы интервала $[\hat{\mu} \pm 3\hat{\sigma}]$ не являются естественными для процесса и в этих случаях нужно искать особые причины, вызвавшие такой «выброс» точки.

2.2. Анализ параметров двигателей, получаемых при приемо-сдаточных испытаниях

При ПСИ измеряются и анализируются: частоты вращения роторов, суммарная степень повышения давления в компрессорах, температура газа за турбиной, удельный расход топлива и др. В качестве примера проанализируем, какой результат может быть получен при статистической обработке данных о частоте вращения роторов, замеренных при ПСИ серии ГТД одного типа. Для анализа была взята выборка данных, полученных на протяжении пяти лет испытаний двигателей первой категории (новых двигателей) и двигателей, прошедших ремонт. Анализировались данные по частоте вращения ротора вентилятора n_v и ротора высокого давления $n_{вд}$. Используя уравнения (1) и (2) были определены

центры полей допуска значений измеряемых величин μ_e и $\mu_{e\partial}$, а также средние отклонения от центров полей допуска, а по ним – нижние и верхние контрольные границы НКГ_e, ВКГ_e и НКГ_{e∂}, ВКГ_{e∂}. На рис. 2 и 3 приведены результаты расчетов. Данные приведены в относительных величинах по сравнению с номинальными значениями по ТУ.

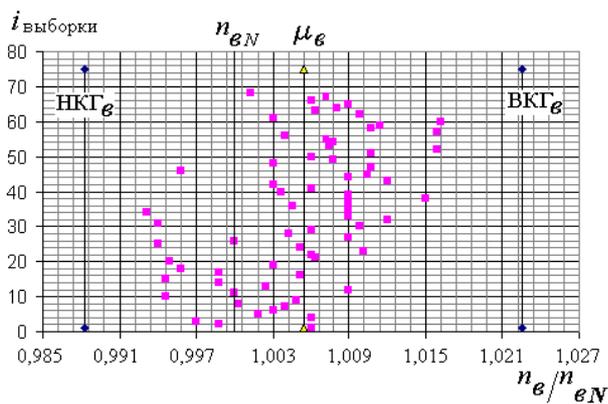


Рис. 2. Данные обработки результатов измерений для ротора вентилятора

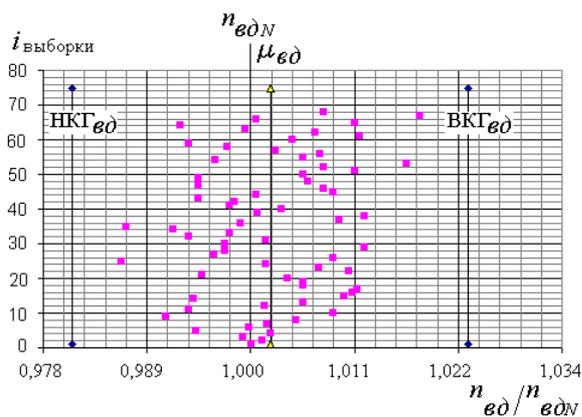


Рис. 3. Данные обработки результатов измерений для ротора высокого давления

На рис. 2 и 3 условными обозначениями n_{eN} и $n_{e\partial N}$ обозначены номинальные частоты вращения ротора вентилятора и ротора высокого давления соответственно.

Статистическая обработка проанализированных данных ПСИ показала, что центр поля допуска каждой из рассматриваемых величин располагается достаточно близко к номинальной величине рассматриваемого параметра, заданной в ТУ на данный тип двигателя. Зона естественного разброса значений измеряемого параметра $[\hat{\mu} \pm 3\hat{\sigma}]$ получена даже

уже, чем допускаемый по ТУ разброс данных параметров двигателя. Такой результат говорит о высоком уровне качества изготовления и ремонта двигателей. Кроме этого, полученные данные подтверждают то, что при получении на отдельных испытываемых двигателях значений параметров, выходящих за пределы заданного по ТУ разброса, необходимо отправлять двигатель на переборку и искать причину, вызвавшую отклонение параметра за пределы зоны естественного разброса.

Выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении

Примененный подход позволил проанализировать стабильность и качество изготовления или ремонта двигателей; определить пределы естественного разброса параметров и оценить степень их соответствия номинальной величине, задаваемой в ТУ.

Рассмотренный в данной работе анализ является оценочным, так как в нем не применены статистические критерии сравнения исследуемых совокупностей параметров. Дальнейшее развитие исследований видится в использовании критерия Манна-Уитни (U-критерия) [3] для анализа параметров, получаемых при ПСИ.

Литература

1. Статистическое управление процессами.SPC: Пер. с англ. – Н.Новгород: СМЦ «Приоритет», 2001. – 181 с.
2. Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Истоки статистического мышления // Методы менеджмента качества. – 2003. – № 1. – С. 34 – 40.
3. Томашевський О.В., Рісіков В.П. Комп'ютерні технології статистичної обробки даних. – Запоріжжя: Запорізький національний технічний університет, 2005. – 175 с.

Поступила в редакцию 1.06.2005

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. В.В. Погосов, Запорожский национальный технический университет, Запорожье.