

УДК 629.783:537.622

Использование цензурированных выборок при оценке и контроле надежности единичных космических аппаратов

Колобов Анатолий Юрьевич

kolobovaiu@laspace.ru

SPIN-код: 2286-8790

Беляев Григор Дмитриевич^(*)

grigor-belyaev@mail.ru

АО «НПО Лавочкина», Химки, Московская обл., Россия

Аннотация. Рассмотрена методика использования цензурированных выборок изделий-аналогов при оценке и контроле надежности единичных космических аппаратов (КА) на этапах наземной экспериментальной отработки (НЭО), летных испытаний (ЛИ) и эксплуатации.

Ключевые слова: оценка надежности, цензурированная выборка; единичный космический аппарат

Введение. В соответствии с нормативной документацией оценка и контроль надежности ракетно-космической техники (РКТ) должны осуществляться на всех этапах жизненного цикла изделий.

Получение проектных оценок надежности не представляет особых сложностей. Однако стандартными методами можно получить только точечные оценки надежности. На этапах НЭО и ЛИ для единичных КА подтверждение требований надежности прямыми статистическими методами невозможно из-за отсутствия статистических данных для конкретного КА.

Выходом из положения может быть использование априорной информации. В качестве априорной информации можно использовать проектные оценки надежности [1], а также результаты оценок изделий-аналогов и оценок на предыдущих этапах.

Методы и материалы; результаты. Предлагается в качестве априорной оценки надежности для этапов НЭО и ЛИ единичных КА принимать оценку по цензурированной выборке изделий-аналогов, разработанных в организации. Выборка должна состоять из однотипных КА со сроком активного существования (САС), равного САС оцениваемого КА. В состав цензурируемой выборки входят однотипные КА как отказавшие до окончания САС, так и еще функционирующие.

При выполнении условий

$$6 < N < 10 \text{ и } \frac{r}{N} \geq 0,5;$$

$$10 \leq N \leq 20 \text{ и } \frac{r}{N} \geq 0,3,$$

точечные оценки ВБР вычисляются методом максимального правдоподобия [2]:

$$\hat{P} = 1 - \frac{r}{N}.$$

Здесь N — объем выборки, g — число наработок до отказа.

Принимаем гипотезу, что полученная оценка по цензурированной выборке является нижней доверительной границей вероятности безотказной работы (ВБР) космических аппаратов, разработанных на предприятии. Уровень оценки обеспечивается действующей на предприятии системой обеспечения качества и надежности. В этом случае априорная информация имеет вид $P \in [P_n, 1]$.

Точечные оценки ВБР и их дисперсий для безотказных испытаний ($d = 0$) определяются по следующим формулам [3]:

$$\hat{P} = \frac{a_2}{a_1}; \sigma_{\hat{P}}^2 = \frac{a_3}{a_1} - \hat{P}^2,$$

где $\{a_i\}$ — коэффициенты, $a_i = \frac{1}{n+i} (1 - P_0^{n+i})$, $i = -1; 0; 1; 2$.

Для одного успешного испытания и $P_n = 0,8$ оценка составит $\hat{P} = 0,903$, $\sigma_{\hat{P}}^2 = 0,004591$.

Заключение. Рассмотрена методика оценки надежности единичных КА на этапах НЭО и ЛИ с использованием априорной информации, полученной с использованием цензурированных выборок из изделий-аналогов разработки предприятия.

Представленная методика позволяет при биномиальных испытаниях на этапах НЭО и ЛИ получать высокие значения оценок надежности единичных КА, подтверждающие заданный уровень безотказности.

Методика позволяет получить результаты, близкие по уровню с результатами, полученными методом байесовского объединения результатов.

Методика прошла верификацию в АО «НПО Лавочкина».

Список источников

- [1] Колобов А.Ю., Блинов Д.С., Петров Ю.А. Двухэтапная методика интервальных оценок надежности космических аппаратов по результатам наземной экспериментальной отработки. *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*, 2025, № 2, с. 72–76.
- [2] Авдеевский В.С., ред. и др. *Надежность и эффективность в технике. Справочник. Т. 6. Экспериментальная отработка и испытания*. Москва, Машиностроение, 1989, 376 с.
- [3] Сухорученков Б.И. *Анализ малой выборки. Прикладные статистические методы*. Москва, Вузовская книга, 2020, 384 с.