

УДК 623.4.017

Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ ОДНОКРАТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Предлагается методический подход к определению предельно допустимых значений показателей надежности изделий однократного применения на основе технико-экономического критерия. В качестве показателей критерия используются технический показатель коэффициент сохранения эффективности и экономический показатель суммарные приведенные затраты на эксплуатацию и содержание. Данный методический подход целесообразно использовать при решении задач продления назначенных показателей изделий однократного применения.

Ключевые слова: контроль показателей надежности, показатель надежности.

Введение

Постановка проблемы. К изделиям однократного применения (ИОП) относятся беспилотные летательные аппараты с предшествующим периодом ожидания, например зенитные управляемые ракеты.

Решение задач продления назначенных показателей ИОП требует разработки соответствующих нормативных документов, в частности по контролю и оценке показателей надежности (ПН), по испытаниям на надежность и др. Решение задачи контроля ПН эксплуатируемых ИОП предполагает обоснование предельно допустимых значений ПН ИОП.

Обоснование предельно допустимых значений ПН ИОП, находящихся в эксплуатации, в отличие от обоснования требований к надежности разрабатываемых изделий, должно учитывать результаты их испытаний, использования, технической эксплуатации и др.

При длительной эксплуатации ИОП величины их ПН существенно снижаются. Как правило, ИОП являются необслуживаемыми и невосстанавливаемыми изделиями. В связи с этим возникает необходимость корректирования требований к ПН ИОП и поэтому задача обоснования требований к ПН эксплуатируемых ИОП является актуальной.

Анализ литературы. В технических условиях на изготовление ИОП в качестве нормируемых ПН в зависимости от режимов эксплуатации задаются различные ПН. Для необслуживаемых и невосстанавливаемых ракет в качестве нормированных, как правило, выбирают два показателя ($P_{пп}$ и $P_{п}$) [1]. Под $P_{пп}$ изделия понимается вероятность того, что в период дежурства ИОП, поставленное в произвольный момент времени на предстартовую подготовку, по результатам контроля предстартовой подготовки будет признано годным к использованию в боевой работе, а под $P_{п}$ изделия – условная вероятность безотказной работы ИОП за время выполнения по-

летнего задания при условии положительного результата контроля предстартовой подготовки.

В качестве предельно допустимых значений ПН эксплуатируемых ИОП целесообразно устанавливать такие их величины, при которых в заданных условиях использования изделия по назначению обеспечивается значение оперативно-тактического показателя не ниже требуемого и выполняются ограничения по диапазонам возможного изменения нормируемых ПН [1, 2]. В качестве такого показателя предлагается использовать коэффициент сохранения эффективности, который характеризует влияние надежности на выполнение основных функций комплекса [3, 4].

Кроме того, при обосновании требований к ПН ИОП необходимо учитывать и экономическую составляющую, в результате чего критерий, по которому целесообразно выбирать предельно допустимые значения ПН изделий должен быть технико-экономическим [5].

Цель статьи. Разработка методического подхода к обоснованию предельно допустимых значений ПН эксплуатируемых ИОП на основе технико-экономического критерия.

Основная часть

Технико-экономический критерий для определения предельно допустимых значений ПН $P_{пп}$ и $P_{п}$ может быть следующим [5]:

$$P_{пп,пр} = \max(P_{пп,прГ}, P_{пп,прЭ}); \quad (1)$$

$$P_{п,пр} = \max(P_{п,прГ}, P_{п,прЭ}), \quad (2)$$

где $P_{пп,прГ}$, $P_{п,прГ}$ – предельно допустимые значения ПН $P_{пп}$ и $P_{п}$, определяемые из условий заданного снижения эффективности с использованием технического критерия;

$P_{пп,прЭ}$, $P_{п,прЭ}$ – предельно допустимые значения ПН $P_{пп}$ и $P_{п}$, определяемые из условий задан-

ного снижения эффективности с использованием экономического критерия.

Для обоснования предельно допустимых значений по техническому критерию предлагается использовать комплексный показатель надежности. В качестве такого показателя целесообразно использовать коэффициент сохранения эффективности (КСЭ), определяемый как отношение вероятности поражения цели очередью из m ракет с учетом надежности наземных средств и ракет к этой же вероятности при идеальной надежности.

Вероятность поражения цели очередью из m ракет с учетом обоих показателей надежности ($P_{пп}$ и $P_{п}$) имеет вид

$$P_m(P_{пп}, P_{п}) = \sum_{j=1}^m C_m^j P_{пп}^j (1 - P_{пп})^{m-j} \times \sum_{i=1}^j C_j^i (P_{п} P_1)^i (1 - P_{п} P_1)^{j-i}, \quad (3)$$

где P_1 – вероятность поражения цели одной ракетой; C_m^j – биномиальный коэффициент.

Выражение для КСЭ при допущении о высокой надежности наземных средств ЗРК имеет вид

$$K_{эф}(P_{пп}, P_{п}) = \frac{\sum_{j=1}^m C_m^j P_{пп}^j (1 - P_{пп})^{m-j}}{\sum_{i=1}^m C_j^i (P_1)^i (1 - P_1)^{j-i}} \times \sum_{i=1}^j C_m^i (P_{п} P_1)^i (1 - P_{п} P_1)^{j-i}. \quad (4)$$

Анализ выражения (4) свидетельствует о существовании области значений $P_{пп}$ и $P_{п}$ в пределах которых значение КСЭ не ниже требуемого. Однако возникает неопределенность связанная с выбором предельных значений $P_{пппр}$ и $P_{ппр}$. В качестве предельно допустимых значений $P_{пппр}$ и $P_{ппр}$ естественно принять такие их уровни, снижение до которых не приводит к существенному снижению эффективности выполнения задачи. Для определения такого уровня целесообразно использовать математический аппарат теории нечетких множеств, предполагающий задание функции принадлежности (ФП) $\mu(P_{пп}, P_{п})$, характеризующей степень снижения эффективности выполнения задачи при заданных величинах $P_{пп}$ и $P_{п}$ [6]. Вид этой ФП можно задать исходя из графиков зависимости (4).

Для упрощения изложения в дальнейшем будем рассматривать обоснование требований на примере ПН $P_{п}$ при заданном значении $P_{пп}$. Тогда ФП $\mu_2(P_{п})$ зададим исходя из функциональной зависимости КСЭ от $P_{п}$ при фиксированном значении

$P_{пп}$. При этом в области больших значений $P_{п}$ (0,85 – 1) величину $\mu_2(P_{п})$ можно считать равной 1, а в области малых и средних значений $P_{п}$ (0 – 0,85) зависимость $\mu_2(P_{п})$ можно считать линейной функцией вида $\mu_2(P_{п}) = \frac{P_{п}}{P_{ппр}}$, тогда выражение

для ФП $\mu_2(P_{п})$ имеет вид:

$$\mu_2(P_{п}) = \begin{cases} 1, & \text{при } \frac{dK_{эф}(P_{п})}{dP_{п}} \approx 0, \\ \frac{P_{п}}{P_{ппр}}, & \text{при } \frac{dK_{эф}(P_{п})}{dP_{п}} \gg 0. \end{cases} \quad (5)$$

В этом случае неизвестное значение $P_{ппр}$ находится из условия минимума по $P_{ппр}$ следующего соотношения:

$$y = \int_{P_{ппр}}^1 [1 - K_{эф}(P_{п})] dP_{п} + \left| \int_0^{P_{ппр}} \left[K_{эф}(P_{п}) - \frac{P_{п}}{P_{ппр}} \right] dP_{п} \right|. \quad (6)$$

Выражение для выбора предельно допустимого значения $P_{ппр}$ по техническому критерию имеет следующий вид:

$$P_{ппрТ} = 2 \left\{ 1 - \frac{1}{1 - (1 - P_1)^m} \left[1 + \frac{(1 - P_1)^{m+1} - 1}{(m + 1)P_1} \right] \right\}. \quad (7)$$

Анализ выражения (7) свидетельствует о том, что требуемую эффективность в течение назначенного срока службы можно обеспечить путем увеличения количества ракет в очереди (m), либо заменой ракет на новые (вероятность P_1). При этом возникает необходимость исследования экономической целесообразности замены старых ракет (израсходовавших назначенный ресурс) на новые.

В качестве экономического критерия примем минимум суммарных приведенных затрат на средства эксплуатации и содержание исполнителей и покупной стоимости новых ракет, приходящиеся на поражение цели очередью ракет из их общего числа, размещенных на пусковых установках ЗРК. Выражения для расчета этих приведенных затрат за время эксплуатации t имеют вид:

для случая продления назначенных сроков службы (ресурсов) эксплуатируемых ракет

$$S_{\Sigma пр}(t) = \frac{C(t)}{\frac{N}{m} [1 - (1 - P_{п}(t)P_1)^m]}; \quad (8)$$

для случая замены их на новые

$$S_{\Sigma пр}^{нов}(t) = \frac{C(t) + NC_{зур}}{\frac{N}{m} [1 - (1 - P_{п}(0)P_1)^m]}, \quad (9)$$

$$C(t) = C_T + C_{\text{експ}} t, \quad (10)$$

где C_T – стоимость средств технической эксплуатации; $C_{\text{експ}}$ – годовые эксплуатационные затраты на поддержание вооружения и содержание эксплуатационного персонала; $C_{\text{зур}}$ – покупная стоимость новой ракеты; $P_{\text{п}}(0)$ – величина ПН $P_{\text{п}}$ новой ракеты; N – общее количество ракет на пусковом комплексе ЗРК.

Условием нецелесообразности дальнейшей эксплуатации ЗУР является выполнение неравенства

$$S_{\Sigma\text{пр}}(t) > S_{\Sigma\text{пр}}^{\text{нов}}(t). \quad (11)$$

Тогда из (9) – (11) следует неравенство:

$$P_{\text{ппрЭ}} \leq \frac{1}{P_1} \left[1 - \left(1 - \frac{(1 - P_{\text{п}}(0)P_1)^m}{\frac{NC_{\text{зур}}}{C(t)}} \right) \right]. \quad (12)$$

Требуемая величина $P_{\text{ппр}}$ по экономическому критерию определяется из (12).

Анализ выражения (12) показывает, что ПН $P_{\text{п}}$ характеризуется определенной зависимостью от продолжительности эксплуатации. По результатам исследования зависимостей $P_{\text{ппрГ}}(P_1)$ и $P_{\text{ппрЭ}}(P_1)$ для каждого типа ракет необходимо принимать решение об установлении либо одной фиксированной величины $P_{\text{п}}$ на всю продолжительность эксплуатации при слабой чувствительности $P_{\text{п}}$ (не более 5%) в течение периода эксплуатации или задавать ее различные значения для соответствующих продолжительностей эксплуатации при существенной чувствительности $P_{\text{п}}$ (более 5%).

Таким же образом возможно обоснование предельно допустимого значения для ПН $P_{\text{пп}}$ и одновременно для данной пары значений $P_{\text{пп}}$ и $P_{\text{п}}$.

ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТУЕМИХ ВИРОБІВ ОДНОКРАТНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук

Пропонується методичний підхід до визначення гранично допустимих значень показників надійності виробів однократного використання на основі техніко-економічного критерію. В якості показників критерію використовується технічний показник коефіцієнт збереження ефективності та економічний показник сумарні приведені витрати на експлуатацію та утримання. Даний методичний підхід доцільно використовувати при вирішенні задач продовження призначених показників виробів однократного використання.

Ключеві слова: контроль показників надійності, оцінка показників надійності.

MOTIVATION OF THE REQUIREMENTS TO FACTOR OF RELIABILITY EXPLOITED PRODUCT OF THE ONE-SHOT USING

B.N. Lanetskij, V.V. Lukjanchuk

The methodical approach is Offered to determination at most possible importance's of the factors to reliability product one-shot using on base technical - economic criterion. As factors criterion are used technical factor factor conservations to efficiency and economic factor total brought expenseses on usage and contents. Given methodical approach reasonable to use at decision of the problems of the extension of the fixed factors product one-shot using.

Keywords: checking the factors to reliability, estimation of the factors to reliability.

Выводы

Данный методический подход целесообразно использовать для определения предельно допустимых значений показателей надежности ЗУР при продлении назначенных сроков службы (ресурсов) изделий однократного применения.

Список литературы

1. Ланецкий Б.Н. Основы теории надежности, эксплуатации и ремонта средств зенитных ракетных систем. Часть 1: учебн. пособ. / Б.Н. Ланецкий, В.С. Жуков, А.С. Алексеев; под. ред. Б.Н. Ланецкого. – Х.: ХУ ПС, 2007. – 523 с.
2. Ковтуненко А.П. Математическое моделирование в задачах исследования надежности технических систем: моногр / А.П. Ковтуненко, В.В. Зубарев, Б.Н. Ланецкий, А.А. Зверев. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. – 236 с.
3. Голубев И.С. Проектирование зенитных управляемых ракет / И.С. Голубев, А.М. Матвиенко, В.Г. Мизрохи, В.Н. Новиков, В.Г. Светлов; под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова. – М.: Издательство МАИ, 1999. – 728 с.
4. ГОСТ 19460-74. Надежность в технике. Расчет показателей безотказности невосстанавливаемых объектов (без резервирования). – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 16 с.
5. Ланецкий Б.М. Методика обґрунтування гранично допустимих величин показників надійності виробів однократного застосування / Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук, В.В. Кобзев // Мат-ли третьої наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 28-29 березня 2007 року. – Х.: ХУПС, 2007. – С. 63.
6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: пер. с франц / А. Кофман – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

Поступила в редколлегию 2.06.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.