



УДК 629.735

Коростелев О.П., Любарец А.А., Мамонтов В.К.

Державне підприємство "Державне кївське конструкторське бюро "Луч". Україна, м. Київ.

**ПРОГНОЗ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УПРАВЛЯЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ
В УКРАИНЕ****Анотація**

У роботі показана технічна можливість і економічна доцільність експлуатації в Україні керованих авіаційних засобів поразки до 2030 року шляхом продовження їх призначених термінів служби, модернізацією і переводом на експлуатацію за технічним станом.

Abstract

Technical feasibility and economic reasonability of operation of unmanned aerial vehicles in Ukraine till 2030 by means of service life extension and upgrading.

Постановка проблеми

Большинство украинских боевых самолетов после модернизации и ремонта еще будут находиться на вооружении до 2030 года, а некоторые образцы смогут обеспечивать выполнение поставленных целей до 2035 года [1], а это означает, что современные типы управляемых авиационных средств поражения (УАСП) необходимо эксплуатировать в течение периода эксплуатации боевых самолетов.

Первоначально назначенные сроки службы УАСП, в соответствии с конструкторской документацией, составляли 8–10 лет, после чего групповым методом проводилось продление срока службы до 11–19 лет без изменения системы эксплуатации. Фактические сроки службы УАСП в Украине в 2010 году составляют 12–31 год. Поэтому возникает задача продления сроков службы УАСП на период более 32 лет.

Анализ результатов предыдущих работ по продлению сроков службы

Механизм старения составных частей УАСП иностранной разработки за пределами назначенного срока службы более 20 лет в литературе не исследован. Например, согласно с теоретическим прогнозом ГП «ГосНИИХП» долговечность взрывчатых веществ и порохов согласно нормативной документации ограничена сроком 15–20 лет.

В то же время статистические данные по результатам работ по продлению сроков службы УАСП показывают, что предельное состояние большинства взрывчатых веществ до 29 лет эксплуатации еще не наступило.

Анализ технического состояния и лабораторно-стендовые испытания УАСП типов Р-24, Р-27, Р-60М, Р-73, Р-40Д, Х-25М, Х-29, Х-58У возрастом 10–29 лет позволяют сделать предварительный прогноз возможности продления сроков службы УАСП в Украине. Результаты исследования технического состояния УАСП показывают, что после 20–25 лет хранения влияние старения, износа и внешних климатических факторов на протяжении длительного периода привели к невозможности дальнейшего продления сроков службы без проведения определенного объема ремонтно-восстановительных работ для обеспечения их безопасной эксплуатации.

В процессе исследования УАСП в возрасте 22–29 лет обнаружено проявление признаков предельного состояния:

- пороховых газогенераторов;
- параметров магнетронов и клистронов агрегатов радиовзрывателей;
- смазки и гидрожидкости;
- резинотехнических деталей;
- физико-химических характеристик взрывчатых веществ;
- иницирующих взрывчатых веществ и порохов;
- химических источников тока.

Так, например, имеет место (рис. 1) выделение желеподобной массы из клея крепления пороховой шашки газогенератора и вытекание этой массы из газогенератора в трубопроводы газовой системы, что приводит к выходу газогенератора из строя.

В это же время не обнаружено предельное состояние следующих составных частей:

- большинства контролируемых радиоэлектронных агрегатов;
- чувствительных элементов систем управления;
- боевых частей.

Основная угроза для эксплуатации УАСП в данное время состоит в том, что наступает предельное состояние составных частей (пороховых ракетных двигателей, боевых частей, газогенера-

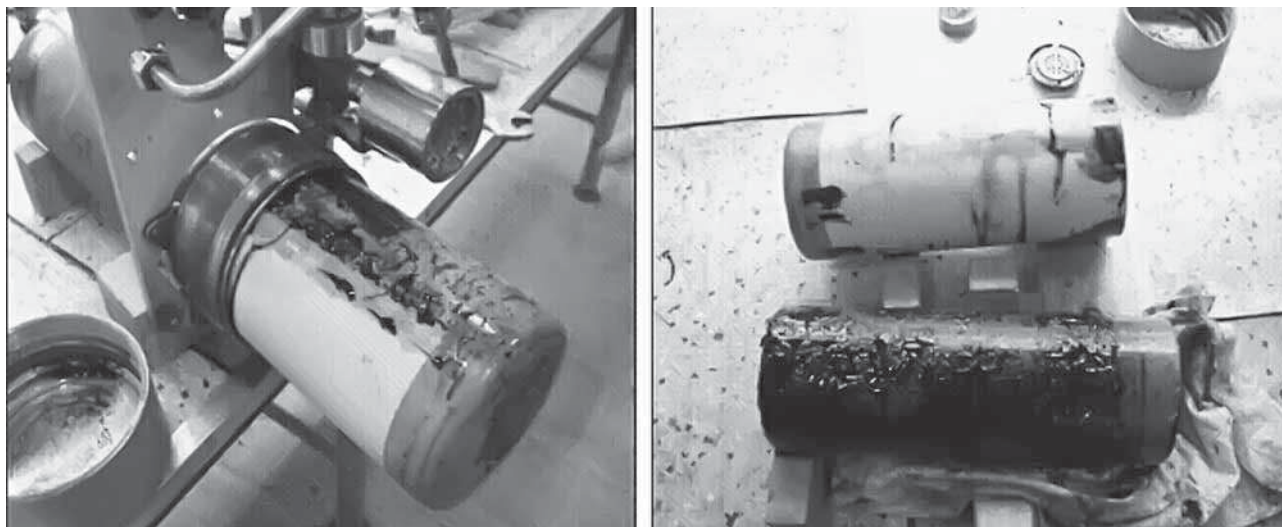


Рис. 1. Газовая система изделия КАБ-1500 с предельным состоянием шашки газогенератора

торов, химических источников тока, предохранительно-исполнительных механизмов, контактных датчиков цели и других), неконтролируемых в эксплуатации. То есть, годные по контролируемым параметрам УАСП могут быть неисправны по неконтролируемым параметрам. Такие скрытые неисправности приводят к потере работоспособности изделий и чаще всего к снижению безопасности их эксплуатации.

Формулировка цели статьи

Описать математическую модель работ по продлению срока службы УАСП и предложить практические пути решения задачи по продлению назначенного срока службы более 30 лет.

Изложение основного материала

Работоспособность УАСП зависит от работоспособности их элементов. Функция интенсивности отказов $\lambda(t)$ отдельного элемента УАСП во время эксплуатации имеет три составляющих. Эти составляющие определяют три периода эксплуатации УАСП [2]:

1. Период приработки $t < t_0$, на котором $\lambda(t)$ быстро убывает. Этот период соответствует начальному периоду эксплуатации УАСП, во время которого выявляются их скрытые дефекты, и элементы с такими дефектами быстро выходят из строя.

2. Стационарный период $t = t_0 \dots t_{\text{пред}}$, на котором $\lambda(t)$ почти не меняется.

3. Период износа $t > t_{\text{пред}}$, на котором $\lambda(t)$ быстро возрастает. Этот период соответствует наступлению предельного состояния УАСП. УАСП на этом периоде эксплуатируются до тех пор, пока интенсивность их отказов не превысит $\lambda_{\text{кр}}$.

Функция интенсивности отказов $\lambda(t)$ определяется по формуле [3]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}, \quad (1)$$

где $p(t)$ – функция надежности,

$f(t)$ – плотность вероятности времени безотказной работы.

Плотность вероятности времени безотказной работы находится по формуле:

$$f(t) = -\frac{dp(t)}{dt}. \quad (2)$$

В литературе по надежности для определения сроков службы используют функцию Вейбулла [2]:

$$p(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)^j\right], \quad (3)$$

где τ – коэффициент, определяющий средний срок службы элементов и интенсивность отказов.

При разных значениях коэффициента j формула (3) описывают разные виды старения:

- при $j < 1$ интенсивность отказов уменьшается, что соответствует периоду приработки;
- при $j = 1$ интенсивность отказов постоянна, что соответствует стационарному периоду;
- при $j > 1$ интенсивность отказов растет, что соответствует периоду износа.

Найдем аналитическое выражение плотности вероятности времени безотказной работы в общем виде:

$$\begin{aligned} f(t) &= -\frac{dp(t)}{dt} = -\frac{d\left(1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)^j\right]\right)}{dt} = \\ &= -\frac{j \cdot (t-t_0)^{j-1}}{\tau^j} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)^j\right]. \end{aligned} \quad (4)$$



Учитывая формулы (1)–(4), функция интенсивности отказов i -го элемента имеет вид:

$$\begin{aligned} \lambda_i(t) &= \lambda_{\text{прираб}i}(t) + \lambda_{\text{ст}i}(t) + \lambda_{\text{из}i}(t) = \\ &= \lambda_{\text{прираб}i}(t + t_{\text{тр}})^{j-1} + \lambda_{\text{ст}i} + \\ &+ \frac{\lambda_{\text{пред}i}(t - t_{\text{пред}i})^{j-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t - t_{\text{пред}i}}{\tau_{\text{пред}i}}\right)^j\right]}{1 - \exp\left[-\left(\frac{t - t_{\text{пред}i}}{\tau_{\text{пред}i}}\right)^j\right]}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{прираб}i}$ – интенсивность отказов после одного года работы i -го элемента,

$\lambda_{\text{ст}i}$ – константа, определяющая интенсивность отказов i -го элемента на стационарном периоде,

$\lambda_{\text{из}i}$ – интенсивность отказов в период износа,

$t_{\text{тр}}$ – период тренировки, настройки элемента,

$\lambda_{\text{пред}i}$ – константа, определяющая скорость возрастания интенсивности отказов i -го элемента на периоде износа,

$t_{\text{пред}i}$ – время наступления предельного состояния i -го элемента,

$\tau_{\text{пред}i}$ – коэффициент, определяющий момент начала роста предельных отказов i -го элемента.

Для удобства введем переменную

$$f_{\text{пред}i}(t) = \frac{(t - t_{\text{пред}i})^{j-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t - t_{\text{пред}i}}{\tau_{\text{пред}i}}\right)^j\right]}{1 - \exp\left[-\left(\frac{t - t_{\text{пред}i}}{\tau_{\text{пред}i}}\right)^j\right]}$$

Суммарная интенсивность отказов УАСП $\lambda_{\Sigma}(t)$ – это сумма интенсивности отказов всех его элементов. Для УАСП, который состоит из n элементов, функция $\lambda_{\Sigma}(t)$ определяется по формуле [3]:

$$\begin{aligned} \lambda_{\Sigma}(t) &= \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{прираб}i} \cdot (t + t_{\text{тр}})^{j-1} + \\ &+ \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{ст}i} + \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{пред}i} \cdot f_{\text{пред}i}(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Эксплуатация УАСП является допустимой, если интенсивность отказов за единицу времени не превышает определенного значения $\lambda_{\text{кр}}$. Интенсивность отказов превышает величину $\lambda_{\text{кр}}$ при увеличении числа внезапных отказов, вызванных износом элемента УАСП, у которого время наступления предельного состояния минимальное. После ремонта данного элемента УАСП можно эксплуатировать до того времени, пока не наступит предельное состояние у следующего элемента и т.д. (рис. 2).

УАСП можно продолжать эксплуатировать до тех пор, пока экономически целесообразно и технически возможно проводить их ремонт. Определим математические формулы для функции интенсивности отказов УАСП $\lambda_{\Sigma}(t)$ в случае m замененных элементов. В функции $\lambda_{\Sigma}(t)$ будем учитывать приработку замененных элементов. В случае m ремонтов функция $\lambda_{\Sigma}(t)$ имеет $m + 1$ интервалов:

1. Интервал до первого ремонта, $t = 0 \dots t_{\text{пред}1}$.

$$\begin{aligned} \lambda_{\Sigma}(t) &= \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{прираб}i} \cdot (t + t_{\text{тр}})^{j-1} + \\ &+ \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{ст}i} + \lambda_{\text{пред}1} \cdot f_{\text{пред}1}(t). \end{aligned} \quad (7)$$

2. Интервал между первым и вторым ремонтом, $t = t_{\text{пред}1} \dots t_{\text{пред}2}$.

$$\begin{aligned} \lambda_{\Sigma}(t) &= \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{прираб}i} (t + t_{\text{тр}})^{j-1} + \\ &+ \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{ст}i} + \lambda_{\text{прираб}_{ps}} (t + t_{\text{тр}} - t_{\text{пред}1})^{j-1} + \\ &+ \lambda_{\text{пред}2} \cdot f_{\text{пред}2}(t). \end{aligned} \quad (8)$$

3. Интервал между s и $s + 1$ ремонтом ($s \leq m$), $t = t_{\text{пред}s} \dots t_{\text{пред}(s+1)}$.

$$\begin{aligned} \lambda_{\Sigma}(t) &= \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{прираб}i} (t + t_{\text{тр}})^{j-1} + \\ &+ \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{ст}i} + \lambda_{\text{прираб}_{ps}} (t + t_{\text{тр}} - t_{\text{пред}s})^{j-1} + \\ &+ \lambda_{\text{пред}(s+1)} \cdot f_{\text{пред}(s+1)}(t), \end{aligned} \quad (9)$$

где $\lambda_{\Sigma}(t)$ – функция интенсивности отказов УАСП,

n – количество элементов УАСП,

m – количество ремонтов УАСП,

$\lambda_{\text{прираб}i}$ – интенсивность отказов после одного года работы i -го элемента,

$\lambda_{\text{прираб}_{ps}}$ – начальная интенсивность отказов на периоде приработки после замены s -ого элемента,

$t_{\text{тр}}$ – период тренировки, настройки элемента,

$\lambda_{\text{ст}i}$ – константа, определяющая интенсивность отказов i -го элемента на стационарном периоде,

$\lambda_{\text{пред}i}$ – константа, определяющая скорость возрастания интенсивности отказов i -го элемента на периоде износа.

Формула (9) является общей формулой функции интенсивности отказов УАСП $\lambda_{\Sigma}(t)$ для всех интервалов. При этом следует учитывать, что на интервале до первого ремонта ($s = 0$), компонента приработки элементов после их замены равна нулю.

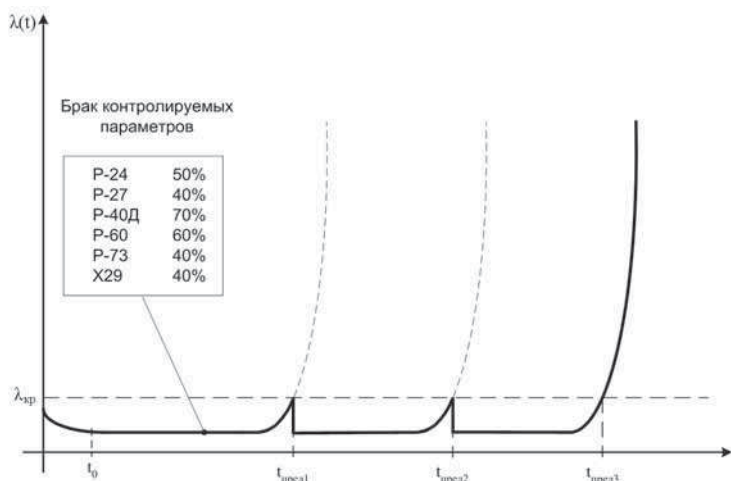


Рис. 2. Функция отказов УАСП после ремонта

Прогноз долговечности составных частей УАСП с учетом ремонтно-восстановительных работ приведена на рис. 3. На этом рисунке выделены интервалы времени, на которых предполагается переход от группового к индивидуальному продлению срока службы, а также проведение ремонта с модернизацией УАСП. Необходимость модернизации вызвана отсутствием запасных частей в связи с прекращением серийного производства изделий.

За прошедшие 10 лет предприятиями промышленности и МОУ проведена работа по поэтапному увеличению назначенных сроков службы УАСП, что позволило сохранить парк эксплуатируемых средств поражения без снижения уровня

безопасности. Это стало возможным за счет запасов надежности, заложенных при проектировании и производстве изделий. В ее основе распространение на весь парк изделия показателей по срокам службы (эксплуатации и хранения), достигнутых по результатам лидерной (опережающей) эксплуатации. Дальнейшее увеличение сроков службы УАСП потребует совершенствования системы технического обслуживания и ремонта, в том числе эксплуатации по техническому состоянию (ТС).

Эксплуатация по ТС УАСП предполагает комплекс работ по диагностированию наступления предельного состояния отдельных составных частей с последующими работами по их ремонту или модернизации с целью увеличения или восстановления срока службы.

Объем выполняемых ремонтно-восстановительных работ определяется по результатам контрольно-технических осмотров.

Для УАСП, эксплуатируемых по ТС, должна быть отработана соответствующая эксплуатационная и ремонтная документация, а также перечни необходимых средств контроля, диагностирования, инструмента и принадлежностей, запасных частей и средств документирования технического состояния УАСП.

Комплекс технических работ, которые должны быть выполнены при переводе на эксплуатацию ТС УАСП:

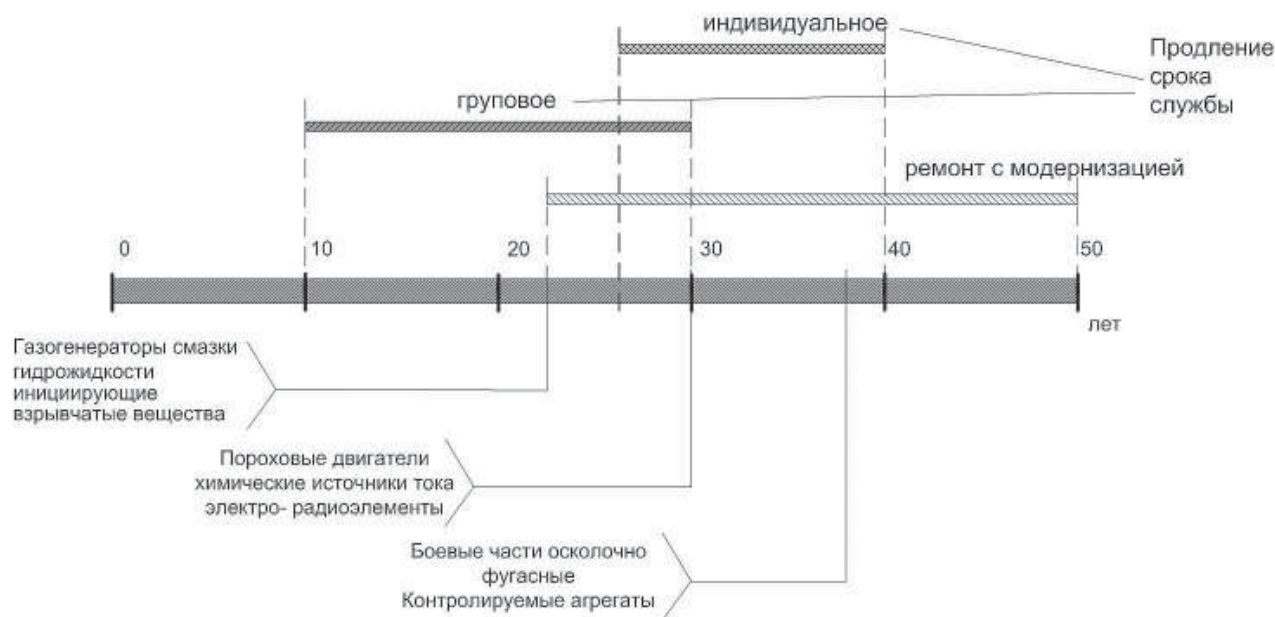


Рис. 3. Прогноз долговечности составных частей УАСП



- расчетное и экспериментальное определение долговечности основных агрегатов;
- количественный и инженерный анализ отказобезопасности конструкции и влияние возможных отказов (постепенные и внезапные, контролируемые и неконтролируемые, с количественной и качественной оценкой) на работоспособность УАСП;
- оценка контролепригодности и ремонтной технологичности изделий;
- определение перечня составных частей изделий, видов возможных отказов и критериев предельного состояния;
- составление перечня составных частей, эксплуатируемых до предотказного состояния или до безопасного отказа с указанием видов и возможных отказов или предотказных состояний, методов, средств и периодичности контроля и ремонта;
- оценка трудоемкости работ по эксплуатации по ТС;
- разработка эксплуатационной и ремонтной документации, создание средств технического обслуживания и документирования технического состояния УАСП, а также необходимых запасных частей и норм их расхода;
- подготовка эксплуатирующих организаций и предприятий промышленности.

Почти все УАСП являются изделиями иностранной разработки, поэтому априорная информация о изменении во времени характеристик надежности в Украине отсутствует, что существенно усложняет выполнение вышеперечисленных работ [5].

Законодательная и нормативно-правовая база продления срока службы вооружения и военной техники иностранной разработки была заложена распоряжением Президента Украины от 27 сентября 2005 года №1175 "Про заходи щодо забезпечення розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України". Этим распоряжением Кабинету Министров Украины поручено издание нормативно-правовых актов для выполнения отечественными предприятиями работ по модернизации, ремонту, продлению сроков службы вооружения и военной техники иностранной разработки, которые имеются на вооружении Воздушных Сил. Однако до настоящего времени нет опыта эксплуатации по ТС УАСП, так как существует ряд нерешенных проблем по вопросам:

- определения перечня агрегатов УАСП, которые в процессе длительного хранения достигают предельного состояния, особенно взрывчатых веществ и порохов;
- определения степени влияния параметров УАСП на их безопасность, работоспособность и надежность;

- разработки перечня необходимых работ для определения возможности перевода УАСП на эксплуатацию по ТС;

- создания системы сбора и обработки информации о техническом состоянии УАСП и информационной системы эксплуатации по ТС;

- определения периодичности и объема дополнительных исследований УАСП в процессе эксплуатации по ТС;

- разработки методик прогнозирования технического состояния УАСП.

Учитывая, что срок службы УАСП к 2030 году превысит 32 года при первоначально назначенном сроке при разработке 8 лет, наступление предельного состояния изделий всего парка будет происходить не одновременно. В этом случае возникнет необходимость продления срока службы и определения объема ремонтно-восстановительных работ проводить индивидуально.

При эксплуатации изделий по ТС важное значение имеет уровень ее контролепригодности, определяющий возможность измерения комплекса параметров, позволяющих диагностировать (распознавать) отказы и дефекты на ранней стадии их появления и не допустить полную потерю работоспособности или нелокализованный отказ.

ТС УАСП характеризуется параметрами двух видов:

- периодически контролируемые в эксплуатации путем проверки на аппаратуре контроля;

- неконтролируемые, проверяемые методами разрушающего контроля при проведении работ по продлению.

Контролируемые параметры имеются двух видов: с количественной оценкой в градациях поля допуска и с качественной оценкой ГОДЕН-БРАК.

Прогнозирование ТС по количественным параметрам проводится индивидуальным или групповым (математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение) методом, а качественных параметров – групповым методом с оценкой вероятности брака. Аппроксимация производится методом наименьших квадратов.

По неконтролируемым параметрам прогнозирование технического состояния для всего парка изделий или по партиям проводится групповым методом путем выборочного контроля. Устанавливается периодичность и количество изделий, с которыми проводятся лабораторно-стендовые испытания.

В объем испытаний по неконтролируемым параметрам входят составные части:

1) ракетный двигатель (физико-химический анализ материалов порохов и взрывчатых веществ, горячие стендовые испытания);

2) газогенератор (физико-химический анализ материалов порохов и взрывчатых веществ, горячие стендовые испытания);

3) химический источник тока (контроль работоспособности);

4) предохранительно-исполнительный механизм (работоспособность всех ступеней безопасности).

Если рассматривать экономическую целесообразность продления сроков службы УАСП, то затраты на продление оцениваются в размере 10-25% стоимости вновь приобретенных изделий.

Выводы

Сохранить парк находящихся в эксплуатации в Украине управляемых авиационных средств поражения до 2030 года технически возможно и экономически целесообразно. Для решения этой задачи необходимо провести работы по поэтапному продлению назначенных сроков службы этих изделий, где предусмотреть разработку технологической организации работ по переводу УАСП на эксплуатацию по ТС.

Литература

1. Руснак І. С. Боездатність авіації визначатиме модернізація. — К.: Крила України, № 10, 5—10 квітня 2009 р.

2. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. — М.: «Сов. радио», 1962 г.

3. Дружинин Г. В. Надежность систем автоматики. — М.: «Энергия», 1967 г.

4. Положение об эксплуатации по техническому состоянию летательных аппаратов военного назначения, 1993, в/ч 75360. — С. 12.

5. Коростельов О. П., Любарець А. А., Мамонтов В. К. Експлуатація за технічним станом авіаційних засобів ураження в рамках робіт із продовження їхнього призначеного терміну служби. Збірник "Актуальні проблеми експлуатації, ремонту, розробки та модернізації авіаційної техніки". — Київ: ДНДІА, 2007. — С. 39.