УДК 621.391

Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, Н.И. Кириллова, А.А. Артеменко

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ СТОИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Разрабатываются общие положения по формированию модели оценивания стоимости эксплуатации сложных технических систем (СТС) для обоснования выбора метода эксплуатации. Вводится понятие "модель оценивания стоимости эксплуатации СТС", рассматриваются различные варианты реализации методов технической эксплуатации СТС по техническому состоянию и регламентированным методом, приводится схема возможных вариантов реализаций мероприятий эксплуатации СТС по техническому состоянию и соответствующие расчетные соотношения для оценивания стоимости эксплуатации.

Ключевые слова: *модель оценивания стоимости эксплуатации, сложная техническая система, метод эксплуатации, эксплуатация по техническому состоянию, контроль предельного состояния.*

Введение

Постановка проблемы. На протяжении последних 20 – 25 лет задача поддержания надежности и работоспособности СТС решается в условиях острого дефицита финансовых и материальных ресурсов, что стало основной причиной не выполнения в полном объеме установленных видов периодических технических обслуживаний (ТО) и ремонтов.

Поддержание уровня надежности и работоспособности СТС при принятых регламентированных методах эксплуатации обеспечивается периодическими ТО, плановыми средними и капитальными ремонтами и обновлениями. Наряду с регламентированными высокозатратными методами эксплуатации СТС (методы ТЭР), известны и другие (альтернативные) методы эксплуатации по техническому состоянию (ЭТС). Методы ЭТС являются менее затратными, ресурсосберегающими, перевод СТС на их использование начался сравнительно недавно.

Внедрение методов ЭТС предполагает наличие соответствующего методического аппарата, позволяющего обосновывать выбор того или иного метода эксплуатации.

Выбор метода эксплуатации СТС [1 – 3] предполагает проведение сравнительной оценки экономической эффективности различных методов технической эксплуатации (ТЭ) для конкретных объектов и принятие соответствующих решений, причем эти задачи необходимо решать как для эксплуатируемых, так и для перспективных, разрабатываемых СТС.

Анализ литературы. Особенности внедрения и ЭТС для отдельных видов СТС, таких как авиационный комплекс, зенитный ракетный комплекс рассмотрены в [1] и [3] соответственно.

Вопросам оценивания стоимости эксплуатации посвящен ряд научных работ. Так, в [4] разрабатывается модель стоимости эксплуатации для исследования её зависимости от величины периода ТО, в [2, 3] изложен порядок применения и алгоритм выбора методов эксплуатации применительно к зенитному ракетному вооружению и авиационной технике. В [1, 2, 5, 6] рассмотрены общетеоретические аспекты ЭТС.

Кроме того, постепенно увеличивается количество нормативных документов, регулирующих сферу применения ЭТС для разных видов техники, например в [7] – для авиационной техники, в [8, 9] – для зенитного ракетного вооружения и радиоэлектронной техники.

В этих работах модель стоимости эксплуатации, как правило, предполагается известной или рассматривается для решения других задач.

Целью статьи является разработка модели оценивания стоимости эксплуатации СТС для проведения сравнительной оценки экономической эффективности метода ЭТС и других методов.

Основная часть

Затраты на эксплуатацию СТС включают в себя затраты на ТЭ и на использование по назначению (ИН).

Затраты на ИН СТС при ТЭР не отличаются от аналогичных затрат при ЭТС, поэтому вопросы оценивания стоимости ИН ниже не рассматриваются.

Под моделью оценивания стоимости ТЭ будем понимать совокупность математических соотношений по оцениванию суммарной стоимости затрат на поддержание и восстановление исправности или работоспособности за календарный интервал эксплуатации, на котором возможно провести сравнительный анализ экономической эффективности различных методов эксплуатации СТС.

Возможны различные варианты реализации методов ЭТС СТС, например:

эксплуатация с установленным доремонтным сроком службы (ресурсом);

© Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, Н.И. Кириллова, А.А. Артеменко

эксплуатация с установленным полным сроком службы (ресурсом);

эксплуатация с установленными доремонтным и полным сроками службы (ресурсами);

эксплуатация без установленных сроков службы (ресурсов) и др.

При этом ЭТС СТС возможна как с периодическими контролями предельного состояния (КПС), так и с адаптивными, зависящими от уровня надежности, периодами КПС.

Ниже рассматривается вариант метода ЭТС СТС с установленными доремонтным и полным сроками службы и периодическими КПС.

Соответствующая модель оценивания стоимости ЭТС СТС представляет собой совокупность соотношений по оцениванию расходов на поддержание и восстановление исправности или работоспособности СТС за установленный полный срок службы.

Для сравнения будем рассматривать модель оценивания стоимости эксплуатации СТС при методе ТЭР с установленными календарными сроками службы (доремонтным, межремонтными и послеремонтным) и последовательностью средних (СР) и капитальных (КР) ремонтов: СР1 – КР1 – СР2 – КР2 (рис. 1).

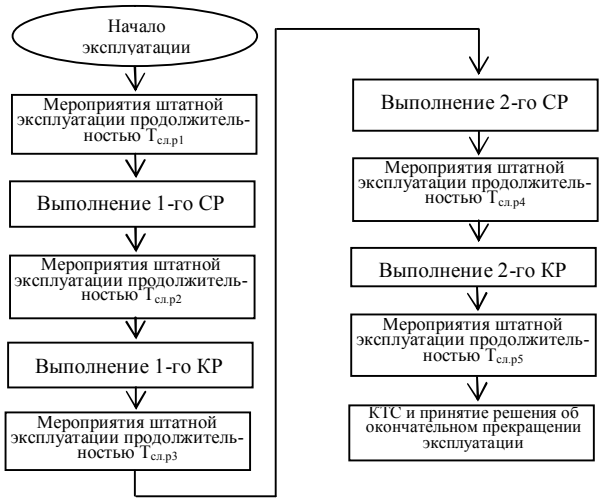

Рис. 1. Схема мероприятий ТЭ СТС, проводимых при эксплуатации по методу ТЭР за установленный полный срок службы

При этом, в соответствии с установленной последовательностью периодических ремонтов модель оценивания стоимости эксплуатации СТС при регламентированном методе представляет собой сумму затрат на все мероприятия ТЭ и ремонты, проводимые за установленный полный срок службы ($T_{сл.п}$) (рис. 1), и определяется соотношением:

$$C_{ТЭР}(T_{сл.п}) = \sum_{i=1}^{N_p^{ТЭР}} (C_{ТЭР}(T_{сл.р.i}) + C_{р.i}) + C_{ТЭР}(T_{сл.р.N_p+1}), \quad (1)$$

где i – порядковый номер вида ремонта; $N_p^{ТЭР}$ – количество установленных при ТЭР видов ремонтов, (для схемы (рис. 1) $N_p^{ТЭР}$ =4); $T_{сл.р.1}$ – установленный доремонтный срок службы; $T_{сл.р.i}$, $i = \overline{2, N_p^{ТЭР}}$ – установленные межремонтные сроки службы; $T_{сл.р.N_p^{ТЭР}+1}$ – установленный послеремонтный срок службы; $C_{р.i}$ -средняя стоимость ремонта i-го вида; $C_{ТЭР}(T_{сл.р.i})$, $i = \overline{1, N_p^{ТЭР}+1}$ – средняя суммарная стоимость эксплуатации СТС по методу ТЭР за установленный срок службы $T_{сл.р.i}$.

Величина $C_{ТЭР}(T_{сл.р.i})$ рассчитывается по соотношению:

$$C_{ТЭР}(T_{сл.р.i}) = C_{КФ}(T_{сл.р.i}) + C_{ТО}(T_{сл.р.i}) + C_{ТР}(T_{сл.р.i}), \quad (2)$$

где $C_{КФ}(T_{сл.р.i})$, $C_{ТО}(T_{сл.р.i})$, $C_{ТР}(T_{сл.р.i})$ – средние суммарные стоимости контролей функционирования (КФ), ТО, текущих ремонтов (ТР), проводимых за установленные сроки службы $T_{сл.р.i}$.

При рассматриваемом варианте ЭТС СТС по истечению установленного доремонтного срока службы $T_{сл.р.1.}$ проводится первый КПС. По его результатам устанавливается непредельное состояние (НПС) или предельное состояние (ПС) и его вид и определяются соответствующие работы, при этом СТС переходит в одно из состояний: S_0 – НПС с выполнением штатного ТО большой периодичности и, при необходимости, ТР отдельных составных частей СТС; S_1 – НПС с выполнением восстановительных работ (ВР), S_2 – ПС1 с выполнением войскового среднего ремонта (ВСР), S_3 – ПС2 с выполнением среднего ремонта по техническому состоянию (СРТС) и S_4 – ПС3 с выполнением капитального ремонта по техническому состоянию (КРТС) (рис. 2).

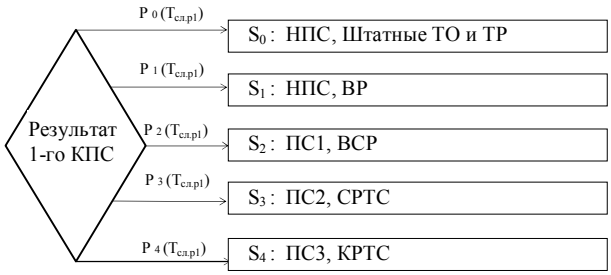

Рис. 2. Возможные переходы СТС по результатам 1-го КПС

Предполагается, что переход СТС в ПС, соответствующее окончательному прекращению эксплуатации и списанию изделия за продолжительность эксплуатации $T_{сл.р.1.}$ не реализуется, т. е. является практически невозможным событием при штатной эксплуатации, и на рис. 2 не показан.

Возможные переходы СТС по результатам 1-го

КПС осуществляются со следующими вероятностями: $p_0(T_{сл.р.1.})$ – вероятность того, что на интервале эксплуатации (0, $T_{сл.р.1.}$) не произойдет отказов, устраняемых ВР, и ресурсных отказов СТС;

$p_1(T_{сл.р.1.})$ – вероятность того, что на интервале эксплуатации (0, $T_{сл.р.1.}$), произойдут отказы, устраняемые ВР;

$p_2(T_{сл.р.1.})$ – вероятность того, что на интервале эксплуатации (0, $T_{сл.р.1.}$) произойдут ресурсные отказы СТС, устраняемые ВСР;

$p_3(T_{сл.р.1.})$ – вероятность того, что на интервале эксплуатации (0, $T_{сл.р.1.}$) произойдут ресурсные отказы СТС, устраняемые СРТС;

$p_4(T_{сл.р.1.})$ – вероятность того, что на интервале эксплуатации (0, $T_{сл.р.1.}$) произойдут ресурсные отказы СТС, устраняемые КРТС.

Для этих вероятностей выполняется условие нормировки. При этом, по завершению ВСР или СРТС или КРТС продолжается эксплуатация СТС в течение соответствующего установленного межремонтного срока службы без периодических КПС. По истечению этих сроков службы проводятся периодические КПС.

Варианты реализации мероприятий ЭТС за установленный полный срок службы различаются количеством проведенных КПС и видов ремонтов, выполненных по результатам КПС за установленный полный срок службы. Схема возможных вариантов реализации мероприятий ЭТС приведены на рис. 3, где k – номер варианта реализации мероприятий ЭТС, $k=\overline{1,K}$, где K – количество возможных реализаций мероприятий ЭТС за установленный полный срок службы для парка СТС.

В общем случае количество КПС СТС за $T_{сл.п}$ при k-ом варианте реализации мероприятий ЭТС можно рассчитывать по соотношению:

$$N_{КПСk}(T_{сл.п}) = \frac{T_{сл.п.} - T_{сл.р.1.} - \sum\limits_{j \in \Omega_{pk}} T_{сл.р.j.k}}{T_{КПС}}, \quad (3)$$

где $T_{КПС}$ – период КПС; $T_{сл.р.j.k}$ – реализованный при ЭТС j-й межремонтный срок службы по k-й ветви схемы возможных вариантов реализаций мероприятий ЭТС; Ω_{pk} – подмножество номеров выполненных ремонтов при k-м варианте реализаций мероприятий ЭТС (например, Ω_{pk} = {1, 2, 3, 4, 5}, где 1 – соответствует проведению ВСР; 2 – СРТС1; 3 – КРТС1; 4 – СРТС2; 5 – КРТС2).

Максимальное число КПС $N_{КПСMAX}(T_{сл.п})$ будет реализовано в случае, если на интервале [$T_{сл.р.1.}$, $T_{сл.п.}$] не возникнет ресурсных отказов СТС и по результатам КПС будут выполнены периодические ТО и, при необходимости, ВР. При этом подмножество Ω_{pk} = Ø, что соответствует левой ветви схемы (рис. 3), и расчетное соотношение (3) принимает вид:

$$N_{КПСMAX}(T_{сл.п}) = \frac{T_{сл.п.} - T_{сл.р.1}}{T_{КПС}}. \quad (4)$$

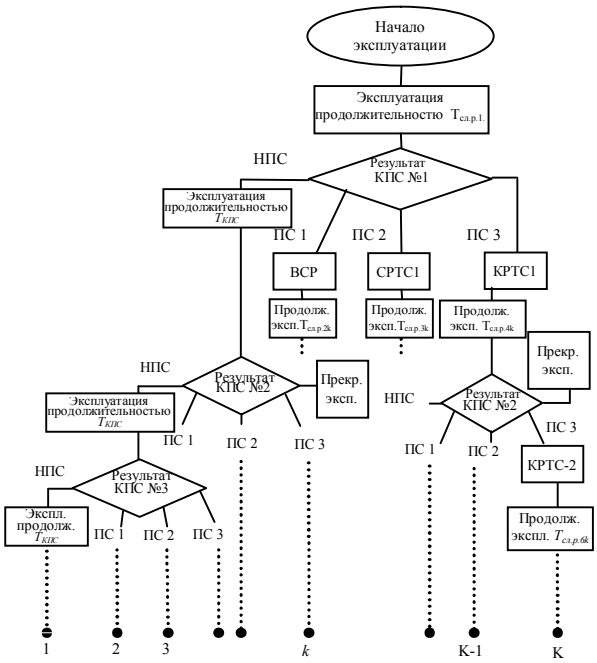

Рис. 3. Схема возможных вариантов реализации мероприятий ЭТС, проводимых на СТС при установленных доремонтном и полном сроках службы

Минимальное количество КПС $N_{КПСMIN}(T_{сл.п})$ будет реализовано в случае, если при каждом КПС, проводимого по истечению установленного доремонтного или межремонтного срока службы, будет принято решение о проведении соответствующего ремонта. Это количество КПС определяется неравенством:

$$N_{КПСMIN}(T_{сл.п}) \le N_p^{ЭТС}, \quad (5)$$

где $N_p^{ЭТС}$ количество установленных для ЭТС видов ремонтов.

Левая ветвь схемы (k=1) (рис. 3) соответствует реализации ЭТС с максимальным количеством КПС; правая ветвь (k=K) соответствует ЭТС с выполнением минимального количества КПС. При этом для левой ветви, ожидаемая суммарная стоимость эксплуатации будет минимальной, а для правой ветви – максимальной.

Статьи расходов на ТЭ СТС включают в себя следующие затраты: потребление электроэнергии; расходы материалов и запасных частей на ТО и ТР; затраты на содержание обслуживающего персонала. Затраты на ТР и ТО СТС для метода ТЭР, и для методов ЭТС в общем случае являются неодинаковыми. В связи с этим, модели оценивания стоимости эксплуатации должны учитывать эти расходы.

Среднюю суммарную стоимость ТЭ и ремонтов по методу ЭТС за $T_{сл.п}$ можно определить как

$$C_{ЭТС}(T_{сл.п}) = \sum_{k=1}^{K} C_{\Sigma k}(T_{сл.п}) \cdot p_k(T_{сл.п}), \qquad (6)$$

где $C_{\Sigma k}(T_{сл.п})$ – средние суммарные затраты на выполнение мероприятий ЭТС, реализуемых за установленный полный срок службы по k-му варианту реализации мероприятий ЭТС;

$p_k(T_{сл.п})$ – вероятность реализации совокупности мероприятий ЭТС по k-му варианту. При этом для вероятностей $p_k(T_{сл.п}), k = \overline{1,K}$ выполняется условие нормировки.

Средние суммарные затраты на выполнение реализуемых по k-й ветви схемы мероприятий ЭТС рассчитывают по соотношению

$$C_{\Sigma k}(T_{сл.п}) = C_{КПС} \cdot N_{КПСk}(T_{сл.п}) + C_{КФ}(T_{сл.п}) + C_{TO}(T_{сл.п}) + C_{TP}(T_{сл.п}) + C_{BP} \cdot N_{BP}(T_{сл.п}) + \sum_{j=1}^{N_p^{ЭТС}} C_{PTC.j} \cdot N_{jk}(T_{сл.п}), \qquad (7)$$

где $C_{КПС}$ – стоимость КПС; C_{BP} – средняя стоимость ВР, проводимых по результатам КПС; $N_{BP}(T_{сл.п})$ – количество ВР за $T_{сл.п}$; $C_{PTC.j}$ – средняя стоимость проведения РТС j-го вида; $N_{jk}(T_{сл.п})$ – количество ремонтов j-го вида в k-й ветви за $T_{сл.п}$.

Расчетные соотношения для величин средних суммарных стоимостей мероприятий ЭТС рассмотрены во второй статье, которая является продолжением настоящей.

Выводы

Разработанные общие положения включают: понятие «модель оценивания стоимости эксплуатации СТС»; схему возможных вариантов реализаций мероприятий ЭТС, проводимых на СТС за установленный полный срок службы; общие соотношения по оценке стоимости эксплуатации и ремонтов за полный срок службы и др.

Для сравнения рассмотрена модель оценивания стоимости эксплуатации по методу ТЭР с установленными доремонтным, межремонтными и послеремонтным сроками службы.

Полученные математические модели позволяют сравнивать расходы на эксплуатацию СТС по методу ТЭР с аналогичными расходами при ЭТС.

Список литературы

1. *Далецкий С.В. Проектирование систем технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации / Далецкий С.В. – М.: МАИ, 2001. – 230 с.*
2. *Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н Смирнов, А.А. Ицкович. М.: Транспорт, 1987. – 272 с.*
3. *Удосконалення методів технічної експлуатації і ремонту як основа підтримання боєготового стану зенітного ракетного озброєння в сучасних умовах / Д.А. Гриб, Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук // Наука і оборона – 2012. – №3. – С. 55-63.*
4. *Медведев В.М. Моделирование стоимости эксплуатации изделий / В.М. Медведев, В.И. Мищенко, И.М. Гизатуллин // Вестник ОГУ. – 2008. – № 81, февраль.*
5. *Барзилович Е.Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию / Е.Ю. Барзилович, В.Ф. Воскобоев. –М.: Транспорт, 1981. – 197 с.*
6. *Надежность и эффективность в технике, справочник. Том №8 Эксплуатация и ремонт / В.И Кузнецов, Е.Ю Барзилович и др. – М. Машиностроение, 1990. – 319 с.*
7. *Порядок переведення та експлуатації за технічним станом військової авіаційної техніки,за якою не здійснюється авторський нагляд. Затв. Наказ МОУ №61 від 20.02.2007р.*
8. *Порядок експлуатації за технічним станом озброєння та військової техніки зенітних ракетних та радіотехнічних військ, за якими не здійснюється авторський нагляд. Затв. Наказ МОУ №53 від 05.02.2010 р.*
9. *Військовий стандарт 12.200.003-2012 Технічна експлуатація зенітного ракетного озброєння та радіоелектронної техніки за станом. Терміни та визначення.*

Поступила в редколлегию 5.03.2013

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

МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ВАРТОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ

Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукъянчук, Н.И. Кириллова, А.А. Артеменко

Приводяться статті витрат на експлуатацію складних технічних систем різними методами. Розглядається модель оцінювання вартості експлуатації складних технічних систем з складним режимом використання за технічним станом, результати розрахунків по якій є основоположними при виборі методу експлуатації складних технічних систем. Розглянуті можливі різні варіанти експлуатації СТС за технічним станом.

Ключові слова:*складна технічна система, експлуатація за технічним станом, контроль граничного стану.*

MODEL OF EVALUATION OF COST OF EXPLOITATION THE DIFFICULT TECHNICAL SYSTEMS ON THE TECHNICAL STATE

B.M. Lanetskiy, V.V. Lukjanchuk, N.I. Kirillova, A.A Artemenko

The model of evaluation of cost of exploitation the difficult technical systems offered with the difficult mode of the use on the technical state. results of this calculations are fundamental at the choice of method of exploitation of the difficult technical systems. the items of expenses over on exploitation of the difficult technical systems different methods are brought the possible different variants of exploitation of difficult technical systems on the technical state are considered.

Keywords: *difficult technical system, method of exploitation, exploitation on the technical state.*