

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РЕСУРС СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

А. А. Авакян, М. В. Копненко, Ю. А. Романенко, Е. В. Лоцманова

Эксплуатационные характеристики сложной электронной системы, в дальнейшем изделия электроники, формируются на стадиях разработки и создания [1], а проявляются на стадии эксплуатации всего жизненного цикла системы. Если разработчик не связан никакими экономическими обязательствами с заказчиком относительно расходов на техническую эксплуатацию изделия электроники, он, естественно, будет направлять свои усилия на разработку изделия с высокими функциональными характеристиками и оптимизацию расходов на его создание [2] и мало уделять внимания эксплуатационным характеристикам, которые будут проявляться в течение всего жизненного цикла изделия электроники.

В технических заданиях на изделия электроники, как правило, указывается некоторый гарантийный срок (чаще всего один год), в течение которого разработчик обязуется оценить вместе с заказчиком выполнение требований по надежности изделия электроники. Но такой подход проверки эксплуатационных характеристик изделия электроники страдает следующими недостатками.

Во-первых, на ранних стадиях эксплуатации не бывает больших парков изделий и потому на них не возникает достаточное количество отказов, чтобы получить достоверные характеристики надежности. Приходится применять метод доверительных интервалов и методы испытаний, учитывающих риск разработчика и риск заказчика, что в силу случайности процесса возникновения отказов позволяет создать иллюзорное представление о выполнении требований по надежности.

Во-вторых, для гарантированного выполнения требований по надежности разработчик может включить в требования по надежности заниженные требования, зная, что их он будет выполнять в течение только гарантийного периода, а не в течение периода массовой эксплуатации, когда возникнут условия для получения достоверных оценок надежности.

Кроме того, большинство отказов составных частей изделий электроники эксплуатирующие организации восстановить самостоятельно не могут и направляют разработчику или на завод-изготовитель для их восстановления. Эти работы оплачиваются эксплуатирующими организациями. Складывается порочная практика, когда чем больше отказывает техника, тем выгодней разработчику и изготовителю.

Для исключения этих недостатков и включения в технические задания на изделия электроники требований к экономическим характеристикам затрат на техническую эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла изделия электроники предлагается ввести во все технические задания на изделия электроники следующий критерий: **отношение стоимости изделия к среднегодовым затратам на техническую эксплуатацию изделия.**

Определим формулу этого критерия. Обозначим среднегодовые затраты на техническую эксплуатацию изделия через $Z_{\text{сг}}$, стоимость изделия через $C_{\text{и}}$, экономический критерий через $\Theta_{\text{к}}$, а экономический ресурс через $P_{\text{э}}$. Тогда формула расчета экономического критерия будет иметь следующий вид:

$$\Theta_{\text{к}} = \frac{C_{\text{и}}}{Z_{\text{сг}}} . \quad (1)$$

А формула расчета экономического ресурса будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{э}} = T_{\text{э}} (\Theta_{\text{к}} = 1) , \quad (2)$$

где $T_{\text{э}}$ – период эксплуатации изделия, при котором заказчик тратит на техническую эксплуатацию еще одну стоимость изделия.

Эти характеристики можно задавать в ТЗ на изделие, если будет существовать ГОСТ, в котором будет стандартизирован метод расчета затрат на техническую эксплуатацию изделий электроники. В данной работе предлагается вариант такой методики.

Исходными данными для расчета затрат на техническую эксплуатацию будут:

- 1) организационная структура технической эксплуатации, включающая следующие данные:
 - места базирования и парки изделий в каждом месте базирования;
 - места проведения профилактических работ;
 - центры технического обслуживания и ремонта ТООР;
 - заводы-изготовители изделий и его составляющих;
- 2) наработка (налет) изделия;
- 3) перечень минимального состава оборудования, без которого система не может функционировать;
- 4) количество центров ТООР;
- 5) перечень заводов-изготовителей, где будут ремонтироваться отказавшие блоки, которые не смогут быть восстановлены в центрах ТООР. Максимальные периоды (в днях) с момента снятия с борта отказавшего блока и до момента возвращения в ЗИП восстановленного блока;
- 6) количество персонала центров ТООР и всех пунктов, на которых будет проходить процесс обслуживания изделий;
- 7) средняя зарплата по каждой категории персонала;
- 8) продолжительность жизненного цикла самолета;
- 9) стоимость блоков изделия;
- 10) стоимость технических средств технической эксплуатации изделия в центрах ТООР и на всех пунктах обслуживания.

Расчет затрат на техническую эксплуатацию рассмотрим на примере комплексов бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) транспортной авиации [3]. При всем разнообразии различных структур наиболее рациональными для ТООР самолетов транспортной авиации являются следующие элементы (уровни).

Первый уровень – ТО соответствует основным и промежуточным аэродромам, на которые могут садиться летательные аппараты (ЛА) для дозаправки, взятия пассажиров или грузов и т.п. В ряде случаев на таких аэродромах ТООР может осуществляться на открытых площадках, поэтому на этих аэродромах возможна только замена конструктивно съемных единиц (КСЕ).

На этом уровне осуществляется непрерывный контроль исправного состояния комплекса средствами встроенного в БРЭО контроля (ВСК), диагностика неисправных состояний с локализацией отказов до КСЕ [4]. Неисправные КСЕ заменяются на исправные следующим образом:

- если отказавшее КСЕ входит в состав минимального оборудования, то оно заменяется на исправный, как на основном (базовом) аэродроме, так и на промежуточном (транзитном) аэродроме. Замены КСЕ, входящих в состав минимального комплекта, осуществляются из комплектов ЗИП (обменных фондов), хранящихся как на борту ЛА в виде технических аптечек, так и в хранилищах промежуточных аэродромов. Состав аптечек должен быть таким, чтобы вероятность готовности соответствовала заданным для самолетов данной категории требованиям регулярности полетов, а время оборачиваемости не превышало двух суток. За двое суток состав аптечек, как и состав хранилищ промежуточных аэродромов пополняется из состава ЗИП базового аэродрома;
- если отказ БРЭО произошел на полете к основному (базовому) аэродрому, то вне зависимости от принадлежности отказавшего КСЕ к минимальному или общему комплексу БРЭО КСЕ заменяется на исправное из состава ЗИП, которое хранится в аэродромно-технической базе (АТБ) или технико-эксплуатационной части (ТЭЧ) основного аэродрома. Состав ЗИП (обменного фонда) основного аэродрома должен быть таким, чтобы вероятность готовности соответствовала заданным для самолетов данной категории требованиям регулярности полетов, а время оборачиваемости не превышало четырнадцати суток. За период не более четырнадцати суток ЗИП (обменный фонд) основного аэродрома должен пополниться до полного состава за счет отремонтированных КСЕ либо в АТБ или ТЭЧ, либо КСЕ отремонтированных в центрах ТООР.

На этом уровне также выполняются работы по подтверждению конфигурации комплекса, включая загрузку программного обеспечения, а также работы по калибровке, юстировке, настройке и других операций, необходимых для возвращения блока в эксплуатацию без замены основных частей.

Второй уровень – ТО соответствует основным (базовым) аэродромам, где приписан для базирования ЛА. На этих аэродромах размещаются авиационно-технические базы (АТБ), в условиях

которых может производиться ремонт КСЕ заменой схемно-съемная единица (ССЕ) с целью восстановления работоспособности демонтированного блока путем:

- локализации отказа до дефектной платы (ССЕ);
- замены отказавшей платы на исправную;
- возвращения блока в обменный фонд.

Третий уровень – ТО соответствует специализированным центрам ТОиР. В них производятся все виды ремонта ССЕ с целью восстановления работоспособности отказавшей платы в центрах ТОиР путем следующих процессов:

- локализации отказа в плате (ССЕ);
- восстановления платы путем замены отказавшей части (микросхемы, процессора и т.д.) на исправную;
- возврат восстановленной платы в обменный фонд плат АТБ.

Типовая организационная структура описанной выше системы ТОиР с учетом указанных уровней восстановления представлена на рис. 1

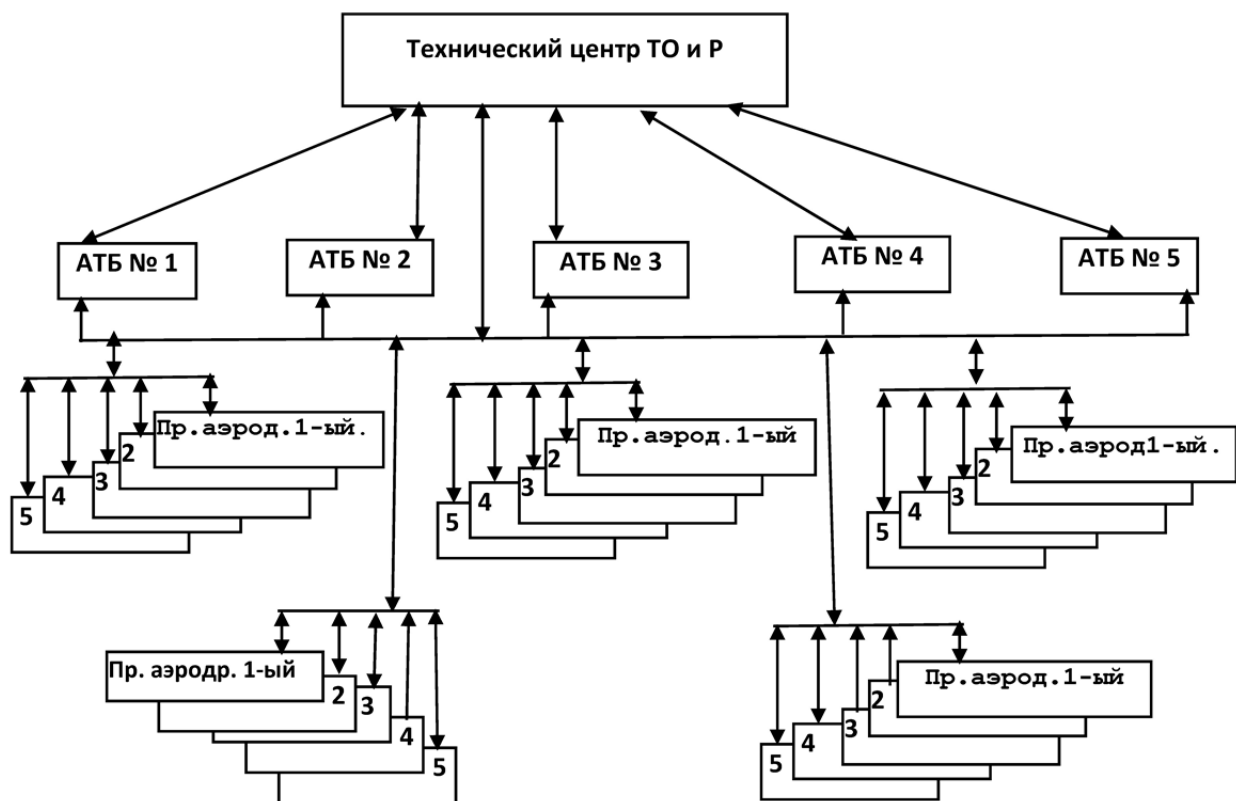


Рис. 1. Типовая структура системы ТОиР

В общие затраты на техническую эксплуатацию БРЭО в течение всего периода жизненного цикла самолета ($N_{ж}$), на котором установлено БРЭО, в разрабатываемой методике предлагается включить следующие затраты:

- на закупку устройств БРЭО, установленных на ЛА;
- на закупку обменного фонда КСЕ на основных и промежуточных аэродромах;
- на ремонт отказавших КСЕ заменой ССЕ в центре ТОиР;
- на закупку оснастки для АТБ основных аэродромов;
- на закупку оснастки для центров ТОиР;
- на содержание обслуживающего персонала на основных и промежуточных аэродромах и центрах ТО и Р.

Остальные затраты, включая затраты на контрольно-проверочные работы, не включаются в состав затрат, поскольку предполетная и послеполетная подготовки БРЭО не требуют специального оборудования и осуществляются в основном посредством осмотров с использованием

средств встроенного контроля. При проведении профилактических работ на основных аэродромах используется оборудование, стоимость которого включалась в стоимость оснастки для АТБ и центров ТОиР.

Особенность расчета затрат на техническую эксплуатацию заключается в том, что все затраты, кроме затрат на ремонт и содержание персонала, делаются единовременно при покупке оборудования на весь жизненный цикл, а затраты на ремонт и содержание персонала планируются на каждый год. Для получения оценок по общим затратам оценки затрат на закупку блоков комплексов, оснастки АТБ и центров ТОиР, а также затраты на закупку обменных фондов делятся на период жизненного цикла (величину $N_{ж}$), в результате чего получаются среднегодовые затраты, которые могут быть суммированы с затратами на ремонт и содержание персонала. Для получения оценок общих затрат на техническую эксплуатацию суммарные среднегодовые затраты умножаются на период жизненного цикла.

Расчет среднегодовых затрат на закупку комплексов

Стоимость (C_k) БРЭО, установленных на ЛА, рассчитывается по следующей формуле:

$$C_k = \frac{P_c}{N_{ж}} \sum_{j=1}^S C_{jkce}, \quad (3)$$

где P_c – парк (количество) самолетов; $N_{ж}$ – количество лет жизненного цикла самолета; S – число КСЕ в комплексе.

Расчет затрат на закупку обменных фондов

Как показано в [5], поток отказов бортового оборудования летательных аппаратов является пуассоновским. Это обстоятельство позволяет связать количество обменного фонда $d_i(T)$ конкретной i -й КСЕ, функционирующей в течение времени T , с вероятностью задержки вылета из-за отсутствия в обменном фонде данной КСЕ посредством следующей формулы Пуассона [5]:

$$1 - \sum_{K=0}^{d_{pi}(T)} \frac{(\lambda_{kceoi} T_{об})^K}{K!} e^{-\lambda_{kceoi} T_{об}} \leq P_{звoи}, \quad (4)$$

где λ_{kceoi} – интенсивность отказов группы i -х КСЕ; $T_{об}$ – среднее время оборачиваемости обменного фонда (доставка и ремонт одной отказавшей КСЕ, как правило, в центре ТО и Р); $P_{звoи}$ – вероятность задержки вылета из-за отсутствия i -й КСЕ в обменном фонде.

Интенсивность отказов группы i -х КСЕ равна

$$\lambda_{kceoi} = ((n_{kcei} + n_{ai})P_c + d_{цi})\lambda_{kcei},$$

где n_{kcei} – количество однотипных КСЕ i -го типа в БРЭО; n_{ai} – количество однотипных КСЕ i -го типа в технической аптечке; P_c – парк самолетов, обслуживаемых центром ТОиР; $d_{цi}$ – число КСЕ i -го типа в обменном фонде центра ТОиР; λ_{kcei} – интенсивность отказов i -го типа КСЕ.

Левая часть неравенства (4) имеет физический смысл вероятности возникновения в потоке мгновенно восстанавливаемых отказов, возникающих с интенсивностью λ_{kceo} за интервал времени $T_{об}$ более $d_{цi}$ отказов.

При эксплуатации БРЭО гражданских самолетов восстановление отказавших БРЭО происходит не мгновенно, а за конечный небольшой интервал времени $T_{зн}$. В документе [6] определены нормы регулярности полетов, касающиеся восстановления отказов БРЭО. Согласно «нормам» это время не должно превышать 15 мин ($T_{зн} \leq 15$), вероятность задержки вылета (восстановления отказа за время, превышающее 15 мин) должна быть не более величины $P_{зв} \leq 0,002$.

На основании опыта эксплуатации среднемагистральных самолетов гражданской авиации период оборачиваемости ремонта КСЕ может быть принят равным 14 дням, если предположить, что ремонт отказавших КСЕ будет производиться в основном заменой отказавших КСЕ в центре ТОиР и в редких случаях на заводах-изготовителях. Следовательно, временем доставки КСЕ можно пренебречь.

Учитывая, что среднесуточный налет среднемагистрального самолета равен 10 ч, то среднее время оборачиваемости обменного фонда $T_{об}$ в часах полета равно 140 л.ч. Поскольку $T_{зн} = 0,25$ ч существенно меньше $T_{об} = 140$ ч, то можно считать, что восстановление БРЭО происходит мгновенно и, следовательно, для этого случая формула (4) справедлива.

При расчете количества обменного фонда (ЗИП) необходимо учесть влияние на процесс отказов и восстановлений рекомендаций «Главного перечня минимального оборудования», т.е. учесть категории интервала восстановления и сами интервалы восстановления t_b , в течение которых самолет может летать с отказавшим КСЕ. Если отказавшее КСЕ не резервировано, то за время t_b новых отказов возникнуть практически не может.

После завершения интервала восстановления или ранее, если самолет окажется на основном аэродроме, отказавшее КСЕ будет снято с борта и отправлено в ремонт. За время оборачиваемости ремонта оно может вновь отказать и может летать с отказом в течение времени t_b без новых отказов. Следовательно, для этого времени в ЗИП можно не делать запасов и рассчитывать запас обменного фонда $d_{ц}$ необходимо только на время $T_{об}-t_b$. Когда $T_{об} \leq t_b$ запас КСЕ $d_{ц} = 1$, так как одна КСЕ всегда (исправная или неисправная) будет на борту, а другая в составе обменного фонда (в ремонте или в запасе). Левая часть формулы (4), вероятность задержки вылета будет равна нулю, поскольку $T_{об}-t_b = 0$, а $d_{ц} = 1$. Тогда неравенство (4) для этого случая будет иметь следующий вид:

$$1 - \sum_{K=0}^{d_{ц}(T)} \frac{(\lambda_{кceo i} (T_{об} - t_b))^K}{K!} e^{-\lambda_{кceo i} (T_{об} - t_b)} \leq P_{збо i}. \quad (5)$$

Поскольку вероятность задержки вылета БРЭО в целом $P_{збо}$ равна вероятности задержки вылета из-за отказа хотя бы одной КСЕ, то эта вероятность будет равна сумме вероятностей задержки вылета из-за отказа всех КСЕ, входящих в БРЭО, т.е.

$$P_{збо} = \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} P_{збо i},$$

где $N_{КСЕ}$ – число КСЕ в БРЭО.

Из теории вероятностей [2, 4] известно, что сумма вероятностей из m членов P_S вычисляется по формуле

$$P_S = \sum_{i=1}^m P_{si} - \left(\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m P_{si} P_{sj} - \left(\sum_{i=1}^{m-2} \sum_{j=i+1}^{m-1} \sum_{k=i+2}^m P_{si} P_{sj} P_{sk} - \dots \right. \right. \\ \left. \left. - \left(\sum_{i=1}^{m-(n-1)} \sum_{j=i+1}^{m-(n-2)} \sum_{k=i+2}^{m-(n-3)} P_{si} P_{sj} P_{sk} \dots \sum_{l=i+n}^m P_{si} P_{sj} P_{sk} \dots P_{sl} - \dots - (P_{s1} P_{s2} \dots P_{sm}) \right) \dots \right) \right). \quad (6)$$

Сумма вероятности задержки вылета из-за отказа любой КСЕ существенно меньше единицы, следовательно, в формуле (6) можно пренебречь членами, являющимися произведением вероятностей отдельных КСЕ. С учетом этого приближения вероятность того, что задержка вылета из-за отказа хотя бы одной КСЕ по причине отсутствия в обменном фонде исправной КСЕ данного типа $P_{звкбо}$ будет иметь следующий вид:

$$P_{звкбо}(d_{ц1}, d_{ц2}, \dots, d_{цN_{КСЕ}}) = \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} \left(1 - \sum_{K=0}^{d_{цi}} \frac{(\lambda_{кceo i} T_{об})^K}{K!} e^{-\lambda_{кceo i} T_{об}} \right). \quad (7)$$

В нормативной документации [6] задаются допустимые нормы на вероятность задержки вылета $P_{дзвкбо}$. Тогда уравнение в виде неравенства, ограничивающего вероятность задержки вылета из-за недостатка обменного фонда, будет иметь следующий вид:

$$P_{дзвкбо} \geq \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} \left(1 - \sum_{K=0}^{d_{цi}} \frac{(\lambda_{кceo i} T_{об})^K}{K!} e^{-\lambda_{кceo i} T_{об}} \right). \quad (8)$$

С учетом интервала восстановления формула (8) примет вид

$$P_{\text{дзвкбо}} \geq \sum_{i=1}^{N_{\text{КСЕ}}} \left(1 - \sum_{K=0}^{d_{\text{Ци}}} \frac{(\lambda_{\text{КСЕои}} (T_{\text{об}} - t_{\text{В}}))^K}{K!} e^{-\lambda_{\text{КСЕои}} (T_{\text{об}} - t_{\text{В}})} \right).$$

Комплектов обменных фондов, удовлетворяющих условию (8), может быть множество. Среди них необходимо выбрать тот, у которого стоимость комплекта минимальна, т.е. выполняется условие (7). Тогда оптимизационная задача комплектации БРЭО обменными фондами сводится к минимизации стоимости обменного фонда БРЭО:

$$C_{\text{ОФКБО}} = \min \sum_{i=1}^{N_{\text{КСЕ}}} C_{\text{КСЕои}} d_{\text{Ци}}(T_{\text{об}}), \quad (9)$$

где $C_{\text{ОФКБО}}$ – стоимость обменного фонда всего оборудования при ограничении области всевозможных значений выполнением условия (6); $C_{\text{КСЕи}}$ – стоимость i -й КСЕ; $d_{\text{Ци}}(T_{\text{об}})$ – количество обменного фонда в центре ТОиР.

Метод решения этой оптимизационной задачи приведен в [7]. В основе метода лежит доказанная в [7] теорема о том, что «Множество точек $U(d_{\text{НЦи}}, \lambda_i, T)$, где $i = 1, 2, \dots, N_{\text{КСЕ}}$, полученных в результате решения уравнения (6) при возрастании $N_{\text{КСЕ}}$ стремится к выпуклому множеству». В теории математического программирования [1] доказано, что однозначное решение оптимизационных задач находится в области выпуклых множеств, ограничивающих область возможных значений переменных, подлежащих оптимизации. Используя эти доказательства, был разработан метод решения оптимизационной задачи с оптимизационным функционалом (9). Метод решения сводится к следующей последовательности операций:

- определяются оптимальные значения в непрерывной области, для чего дискретные выражения, находящиеся под суммой выражения (8), аппроксимируются непрерывными функциями;
- на основе дифференцирования выражений аппроксимированной (8) и (9) составляется система дифференциальных уравнений оптимизации, в результате решения которой отыскивается локальный непрерывный оптимум;
- посредством перебора конечных дискретных значений количеств обменных фондов по каждой КСЕ в области локального оптимума методом перебора отыскивается глобальный оптимальный комплект обменных фондов.

Расчет годовых затрат на ремонт отказавших КСЕ заменой ССЕ

Расчет производится в следующей последовательности:

- производится оценка ожидаемого количества отказов j -й ССЕ i -й КСЕ ($I_{i,j}$) за год;
- оценивается средняя стоимость ремонта i -й КСЕ заменой j -й ССЕ ($C_{i,j}$);
- оцениваются среднегодовые затраты на текущий ремонт комплекса по следующей формуле:

$$C_{\text{РГ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{КСЕ}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{КСЕ}}} I_{i,j} C_{i,j}. \quad (10)$$

Поскольку на стадии эскизного проектирования отсутствуют сведения о ССЕ подавляющего количества КСЕ, принималось, что стоимость ремонта одного КСЕ составляет 10 % от стоимости КСЕ (C_i). Для этого случая расчет годовых затрат на ремонт производится в следующей последовательности:

- производится оценка ожидаемого количества отказов i -й КСЕ (I_i) за год;
- оценивается средняя стоимость ремонта i -й КСЕ $C_{pi} = 0,1 C_i$;
- оцениваются среднегодовые затраты на текущий ремонт комплекса.

Оценка ожидаемого количества отказов i -й КСЕ (I_i) за год производится по следующей формуле:

$$I_i = (1 - e^{-\lambda_{\text{КСЕи}} H}) \Pi_{\text{с}},$$

где I_i – количество отказов i -того типа КСЕ; $\lambda_{\text{КСЕР}i}$ – интенсивность отказов i -того типа КСЕ подлежащих ремонту; N – среднегодовой налет самолета; P_c – парк самолетов, обслуживаемых центром ТОиР.

Интенсивность отказов i -го типа КСЕ подлежащих ремонту равна

$$\lambda_{\text{КСЕР}i} = (n_{\text{КСЕР}i} + n_{\text{AI}}) \cdot \lambda_{\text{КСЕР}i}.$$

На основании изложенного выше среднегодовые затраты на ремонт БРЭО равны

$$C_{\text{РГ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{КСЕ}}} I_i \cdot 0,1 \cdot C_i. \quad (11)$$

Расчет затрат на закупку оснастки для АТБ и центров ТОиР

Оборудование АТБ и центров ТОиР должно позволять проведение входного контроля и контроля при хранении изделий, восстанавливаемых на основном и промежуточных аэродромах, а также проведение работ по ремонту КСЕ заменой ССЕ.

Поскольку большинство изделий комплекса имеют в своем составе вычислители, то основным устройством этого оборудования будет эксплуатационно-ремонтная система, состоящая:

- из устройства, позволяющего подсоединить и включить в работу любое другое устройство комплекса, с возможностью одновременной работы не менее трех устройств;
- устройства, вырабатывающего и подающего в изделия стимулирующие сигналы;
- локальной компьютерной сети, позволяющей загружать в изделия комплекса тесты входного и диагностического контроля и анализировать результаты прохождения стимулирующих сигналов и тестов.

Основным методом контроля такой системы должен быть контроль посредством тестов без параметрических измерений.

Для радиотехнических систем, некоторые устройства которых нельзя проверить описанной выше системой, целесообразно изделия обменного фонда объединить в стенды, позволяющие имитировать функции этих изделий. Для анализа результатов функционирования, а также диагностики отказов эти стенды должны быть подключены к описанной выше вычислительной сети.

Наконец, для контроля и диагностики устройств, в принципе требующих измерения параметров, должна быть предусмотрена контрольно-поверочная аппаратура. Кроме того, это оборудование должно включать в свой состав технические средства восстановления отказавших устройств.

Предварительная оценка показала, что стоимость описанного выше оборудования составит:

- для восстановления (ремонта) КСЕ заменой ССЕ в технических центрах ТОиР стоимость оснастки центров $C_{\text{ОЦ}}$ принимается равной стоимости одного комплекса $C_{\text{КБО}}$, если в год в среднем происходит 50 отказов. В общем случае $C_{\text{ОЦ}}$ рассчитывается по формуле

$$C_{\text{ОЦ}} = \frac{I_{\text{КБО}}}{50} C_{\text{КБО}}, \quad (12)$$

где общее количество отказов БРЭО $I_{\text{КБО}}$ равно сумме количества отказов каждого КСЕ и вычисляется по следующей формуле:

$$I_{\text{КБО}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{КСЕ}}} I_i. \quad (13)$$

Среднегодовые затраты на оснастку центра ТОиР ($C_{\text{ОЦСГ}}$) рассчитываются по формуле

$$C_{\text{ОЦСГ}} = \frac{C_{\text{СГ}}}{N_{\text{ж}}}. \quad (14)$$

Расчет затрат на содержание персонала в центрах ТОиР

На основании консультаций со специалистами по системам и отдельным КСЕ комплексов и имитации ряда работ по замене и ремонту КСЕ были сформированы следующие исходные данные для расчета затрат на содержание персонала в центрах ТОиР:

- количество персонала в центре ТОиР ($K_{ц}$) – 5 чел.;
- среднемесячная зарплата одного сотрудника 40 тыс. руб.;
- суммарная зарплата всех сотрудников составляет 20 % от годового фонда затрат на обеспечение работы персонала.

Среднегодовые затраты на содержание персонала центров ТОиР равны $Z_{ц} = K_{ц} \cdot 40\,000 \cdot 12$ и составляют 20 % от годового фонда затрат на обеспечение работы персонала:

$$\Phi_{ГЗ} = \frac{Z_{ц}}{0,2}. \quad (15)$$

Расчет суммарных среднегодовых затрат на техническую эксплуатацию комплекса

Среднегодовые затраты на техническую эксплуатацию, включая среднегодовые затраты на закупку БРЭО $C_{ЭКБОГ}$, вычисляются как сумма среднегодовых затрат на закупку КСЕ $C_{КБОГ}$, на закупку обменных фондов центров ТО и Р $C_{ОФКБО}$, на ремонт КБО $C_{РКБОГ}$, на оснастку центров ТО и Р $C_{ОЦСТ}$ и на содержание персонала $\Phi_{ГЗ}$ по следующей формуле:

$$C_{ЭКБОГ} = C_{КБОГ} + C_{ОФКБО} + C_{РГ} + C_{ОЦСТ} + \Phi_{ГЗ}. \quad (16)$$

Заключение

Поскольку основные эксплуатационные характеристики закладываются в сложную электронную систему на стадии разработки, то считаем важным введение экономического критерия, касающегося эксплуатационных характеристик сложной электронной системы на всем жизненном цикле изделия. Авторы надеются, что поднятая в статье проблема, устраняющая недостаток в оценке эксплуатационных характеристик после гарантийного периода эксплуатации, позволит создавать сложные электронные системы, обладающие высокой надежностью на всем протяжении жизненного цикла изделия.

Библиографический список

1. Авакян, А. А. Синтез отказоустойчивых комплексов бортового оборудования летательных аппаратов / А. А. Авакян // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 6–10.
2. Лапшин, Э. В. Разработка моделей анализа экономических показателей сложной промышленной системы / Э. В. Лапшин, А. М. Корнеев, Т. В. Мирошниченко // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 22.
3. Авакян, А. А. Методика расчета одиночного и группового комплексов ЗИП составных частей системы автоматического управления полетом и тягой (СУПТ-112В) для применения в составе ПрНПК-112В / А. А. Авакян, М. В. Копненко. – Жуковский, 2010.
4. Авакян, А. А. Мониторинг рабочего состояния отказоустойчивой платформы / А. А. Авакян, М. В. Копненко, А. К. Максимов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 67.
5. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
6. Авакян, А. А. Синтез сложных многофункциональных отказоустойчивых систем электроники : моногр. / А. А. Авакян, В. В. Ключев. – М. : Спектр, 2014. – 104 с.
7. Беишев, Г. А. Элементарное введение в геометрическое программирование / Г. А. Беишев, М. И. Кратко. – М. : Физматгиз, 1980. – 144 с.

Авакян Александр Анушаванович

доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
авиационного оборудования
(Россия, 140180, Московская обл., г. Жуковский,
ул. Туполева, 18)
E-mail: avakyan@niiio.com

Avakyan Aleksandr Anushavanovich

doctor of technical science, main scientific worker,
Institute of Aircraft Equipment
(140180, 18 Tupolev street, Zhukovskiy,
Moscow region, Russia)

Копненко Марина Владимировна

инженер,
Научно-исследовательский институт
авиационного оборудования
(Россия, 140185, Московская обл., г. Жуковский,
ул. Туполева, 18)
E-mail: avakyan@niiio.com

Романенко Юрий Александрович

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
Военная академия ракетных войск стратегического
назначения имени Петра Великого (филиал)
(142210, Россия, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, 17)
E-mail: romanenko-55@inbox.ru

Лоцманова Елена Владимировна

кандидат технических наук,
советник председателя
Комитета по ценам и тарифам Московской области,
(Россия, 143407, Московская обл., г. Красногорск,
Бульвар строителей, 1)
E-mail: losmanova@mail.ru

Аннотация. Рассматривается экономический критерий отношения стоимости изделия к среднегодовым затратам на техническую эксплуатацию изделия, характеризующий затраты на техническую эксплуатацию сложных систем электроники, в дальнейшем – изделий электроники в течение жизненного цикла изделия. Предлагается также ввести понятие «экономический ресурс», равный периоду, когда экономический критерий становится равным единице. Необходимость включения в технические задания требования по экономическому критерию и ресурсу обяжет разработчиков на стадии разработки и создания изделия закладывать в него такие эксплуатационные характеристики, которые минимизируют затраты на техническую эксплуатацию изделий электроники в течение всего жизненного цикла изделия. В настоящее время в технические задания включаются требования к эксплуатационным характеристикам только на гарантийный период эксплуатации.

Ключевые слова: техническая эксплуатация, среднегодовые затраты, экономический ресурс, жизненный цикл.

Kopnenkova Marina Vladimirovna

engineer,
Institute of Aircraft Equipment
(140185, 18 Tupolev street, Zhukovskiy,
Moscow region, Russia)

Romanenko Yuriy Aleksandrovich

doctor of technical sciences, professor,
Honoured Worker of Science of Russian Federation,
Military Academy of Strategic Missile Forces
named after Peter the Great (branch)
(142210, 17 Brigadnaya street, Serpukhov,
Moscow region, Russia)

Lotsmanova Elena Vladimirovna

candidate of technical sciences,
advisor to the chairman of the Committee on prices
and tariffs of the Moscow region,
(143407, 1 Bulvar stroiteley, Krasnogorsk,
Moscow region, Russia)

Abstract. The article deals with the economic criterion of cost ratio to the average annual cost of maintenance products, describing the cost of maintenance of complex systems of electronic in future electronics products throughout the life cycle of products. It is also proposed to introduce the concept of an economic re-source equal to the period, when the economic criterion becomes equal to 1. The need to include in the terms of reference of the economic criteria and requirements resource will oblige developers under development and creation of products to appoint such performance characteristics that minimize the cost of maintenance of electronics products during the whole product life cycle. Currently, this includes technical tasks are performance requirements only on the warranty period of maintenance.

Key words: maintenance, annual expenditures, economic resource life cycle.

УДК 623.1.7

Авакян, А. А.

Экономический ресурс сложной электронной системы / А. А. Авакян, М. В. Копненко, Ю. А. Романенко, Е. В. Лоцманова // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 2 (18). – С. 17–25. DOI 10.21685/2307-4205-2017-2-3.