

Р.С. Аносов, кандидат технических наук,
доцент

А.Ю. Божков, кандидат технических наук

Д.М. Бывших, кандидат технических
наук, старший научный сотрудник

Методический подход к планированию мероприятий по капитальному ремонту средств радиоэлектронной борьбы

Представлен методический подход к планированию выделения ассигнований на капитальный ремонт средств радиоэлектронной борьбы, учитывающий вероятностный характер длительности эксплуатации до выхода в капитальный ремонт изделий техники радиоэлектронной борьбы. Подход может быть использован при разработке предложений в государственную программу вооружения в обеспечение рационального распределения выделяемых ассигнований на капитальный ремонт техники РЭБ.

Вопросам организации капитального ремонта (КР) вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) в Минобороны России уделяется значительное внимание, поскольку эта стадия жизненного цикла является одной из наиболее затратных [1-5]. Актуальным путем снижения затрат на КР при поддержании требуемого уровня технической готовности является проведение КР изделий ВВСТ, в том числе и средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), в зависимости от технического состояния изделия [6, 7]. То есть выработка межремонтного ресурса не должна быть основанием для отправки техники РЭБ в КР, если по своему техническому состоянию она пригодна к дальнейшей эксплуатации. После выработки установленного ресурса целесообразно ежегодно подвергать изделие техническому освидетельствованию комиссией воинской части для определения ее технического состояния. На основании выводов комиссии должно приниматься решение о продлении срока эксплуатации техники на определенное время (например, один год) или необходимости отправки в КР. Указанное обстоятельство в полной мере должно учитываться при планировании мероприятий по КР в рамках документов программно-целевого планирования таких, как государственная программа вооружения (ГПВ) и государственный оборонный заказ (ГОЗ).

Анализ статистической информации по длительности эксплуатации изделий техники РЭБ до КР [6] позволил установить, что реальное состояние эксплуатируемых средств РЭБ, входящих в состав подразделений РЭБ Сухопутных войск, позволяет проводить КР несколько позднее, чем предписано нормативными документами, кроме того, длительность эксплуатации образцов техники РЭБ до выхода в КР носит вероятностный характер, что также необходимо учитывать при разработке предложений в ГПВ и ГОЗ в части выделяемых ассигнований на КР.

Анализ длительности эксплуатации до выхода в КР различных типов техники РЭБ говорит о целесообразности выделения трех групп образцов, представленных в таблице 1.

При этом необходимо отметить следующее. Во-первых, эксплуатация рассмотренных изделий не включает их хранение, т. е. все рассматриваемые изделия применялись по назначению с момента их принятия на вооружение. Отсюда длительность до выхода в КР равна длительности применения изделия по назначению. Во-вторых, представленное деление изделий техники РЭБ на группы носит условный характер, рассмотрены только изделия техники РЭБ в составе подразделений РЭБ Сухопутных войск. В-третьих, статистика по длительности эксплуатации до выхода изделий в КР актуальна для текущего момента. Следовательно, полученные далее для

всех этих условий распределения носят скорее иллюстративный характер и должны уточняться по мере увеличения массивов исходной информации.

Таблица 1 – Значения длительности эксплуатации изделий техники РЭБ различных групп до выхода их в КР в предыдущие программные периоды

Группа техники РЭБ	Количество изделий в группе, вышедших в КР (шт.)	Количество изделий в группе (шт.), длительность эксплуатации которых до выхода в КР составила:				
		10 лет	11 лет	12 лет	13 лет	14 лет
Группа 1	328	36	56	120	99	17
Группа 2	137	43	54	29	11	0
Группа 3	36	13	10	8	5	–

На основе данных таблицы 1 рассчитаны частоты и эмпирические плотности вероятности длительности выхода в КР для различных групп техники РЭБ, графики представлены на рисунке 1. Вероятность (частота) определяется, как количество вышедших в КР изделий в j -м году после начала эксплуатации ($j=10\div 14$), отнесенное к общему количеству рассматриваемых изделий (в группе). Например, для группы 1 вероятность выхода изделия в КР на 10-м году эксплуатации $36/328=0,11$, на 11-м году – $56/328=0,17$, на 12-м году $120/328=0,37$, на 13-м году – $99/328=0,30$, на 14-м – $17/328=0,05$. До 10-го года и после 14-го года вероятность выхода изделия в КР стремится к 0 и эти года в дальнейшем не рассматриваются.

Тогда данные таблицы 1 интерпретируем следующим образом. Если на вооружении в t -м году приняты N изделий группы 1, то из них в $t+10$ -м году (на 10-м году эксплуатации) выйдут в КР $0,11N$ изделий, в $t+11$ -м (на 11-м году эксплуатации) – $0,17N$, в $t+12$ -м (на 12-м году) – $0,37N$, в $t+13$ -м (на 13-м году) – $0,30N$, в $t+14$ -м (на 14-м году) – $0,05N$. Аналогичные рассуждения считаем справедливыми для изделий других групп (таблица 2).

На рисунке 1 представлены предложения по возможным теоретическим законам распределения для вариационного анализа. Для аппроксимации реального распределения теоретической кривой распределения рассматривались: нормальное распределение, логарифмически-нормальное распределение, распределение Вейбулла [6]. Сравнение теоретического и эмпирического распределений проводилось по критерию Пирсона χ^2 [8-10]. В работе [6] показано, что достаточно хорошей аппроксимацией эмпирических кривых выхода в КР изделий техники РЭБ в составе подразделений РЭБ Сухопутных войск является распределение Вейбулла. Однако практика реализаций ГПВ в части КР техники РЭБ показывает, что при планировании мероприятий по КР требуется учитывать необходимость КР изделий техники РЭБ других подразделений и частей РЭБ. Как видно из рисунка 1, для эмпирических распределений характерна асимметрия как левая (группа 1), так и правая (группы 2 и 3). Как представляется, это происходит из-за наложения естественных процессов старения сложных технических комплексов (эти процессы моделируют распределением Вейбулла [11-13]) и процессов износа, обусловленных множеством эксплуатационных факторов (нормальное распределение).

Однако вариационный анализ показывает, что эксцессы полигонов (эмпирических распределений) относительно нормального распределения незначительны и для упрощения методического подхода планирования КР для практического применения можно аппроксимировать реальные распределения для групп техники 1,2 (рисунок 1) нормальным. Так, эксцесс эмпирического распределения для группы 1 составляет 1,08. Для группы 3 адекватным будет применение смешанного (суммы двух нормальных) распределения. Такое упрощение представляется правомерным, поскольку с накоплением статистических данных вид реальных распределений зачастую стремится к виду нормального [10-12].

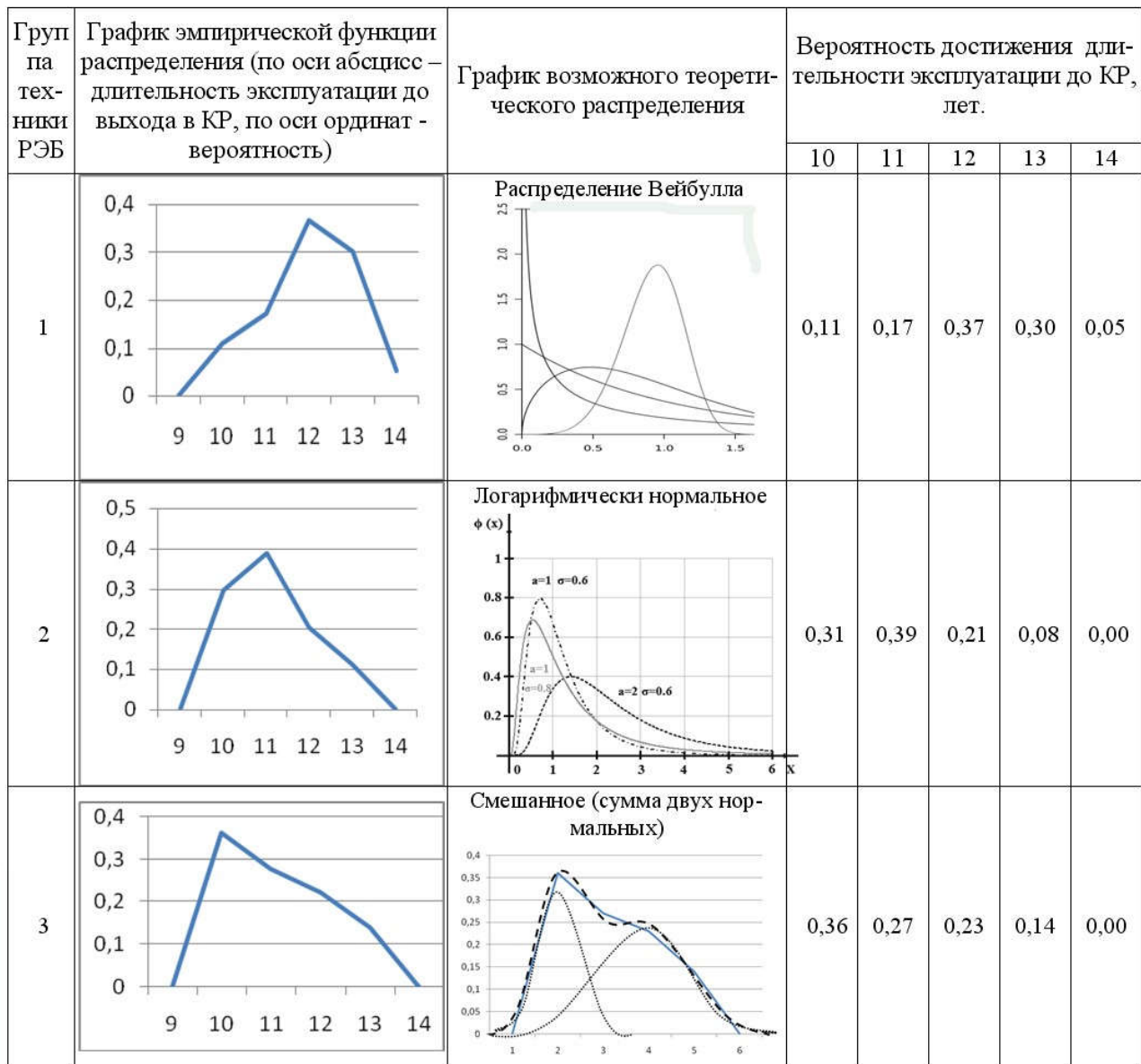


Рисунок 1 – Эмпирические и теоретические плотности вероятности длительности эксплуатации до выхода в КР техники РЭБ

Параметрами смещения и масштаба (разброса) для нормального распределения являются математическое ожидание и дисперсия. Для их определения пользуемся свойствами этого распределения [8-10]. Значения вероятности выхода в КР в зависимости от длительности эксплуатации применительно к изделиям техники РЭБ 1-й группы (эмпирическое распределение) и значения вероятности для теоретического (нормального) распределения при тех же длительностях эксплуатации представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Вероятности выхода в КР изделий техники РЭБ группы 1 для эмпирического и аппроксимации нормальным распределением

Распределение	Вероятность						
	Год эксплуатации						
	9	10	11	12	13	14	15
Эмпирическое распределение	0	0,11	0,17	0,37	0,3	0,05	0
Нормальное распределение $c(t) : \mu=12 ; \sigma=1,10$	0,006	0,062	0,241	0,380	0,241	0,062	0,006

По критерию Пирсона (для нашего случая $\chi^2=0,042$ рассчитано согласно [8]) гипотеза о возможности аппроксимации эмпирического распределения нормальным может считаться достаточно правдоподобной. Согласно способу Романовского [3], критерием согласия с гипотезой о соответствии распределений является:

$$\frac{\chi^2 - df}{\sqrt{2 df}} - 3 \leq 0, \quad (1)$$

где df – число степеней свободы.

Здесь $df=(m-1)(n-1)$,

где m – количество интервалов группирования в каждом из сопоставляемых распределений ($m=5$);

n – количество сопоставляемых распределений ($n=2$).

Рассчитанное значение показателя согласия (1) составило $-4,40$. Графики распределений представлены на рисунке 2.

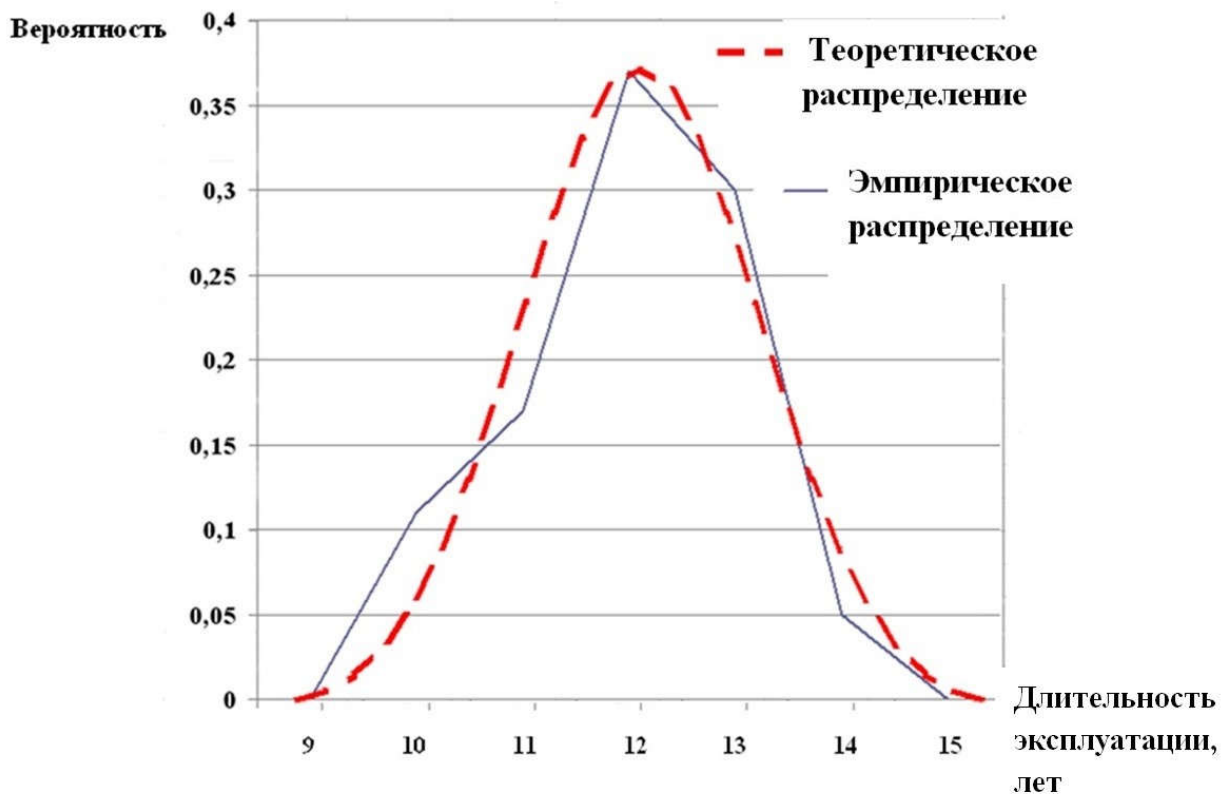


Рисунок 2 – Аппроксимация эмпирического распределения выхода в КР изделий техники РЭБ 1-й группы нормальным распределением

Таким образом, эмпирическое распределение для техники РЭБ группы 1 можно аппроксимировать нормальным:

$$\phi(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\tau_{об})^2}{2\sigma^2}} = 0,38 e^{-0,454(t-12)^2}, \quad (2)$$

где t – длительность эксплуатации изделия;

$\tau_{об}$ – наиболее вероятная длительность эксплуатации до выхода изделия в КР.

Проведение аналогичных рассуждений для группы 2 позволило определить параметры

смещения ($\mu=11$) и масштаба ($\sigma=1,05$) для нормального распределения, аппроксимирующего эмпирическое распределение для этой группы. Распределение для группы 3 аппроксимируем суммой двух нормальных (смешанное распределение) – рисунок 3.

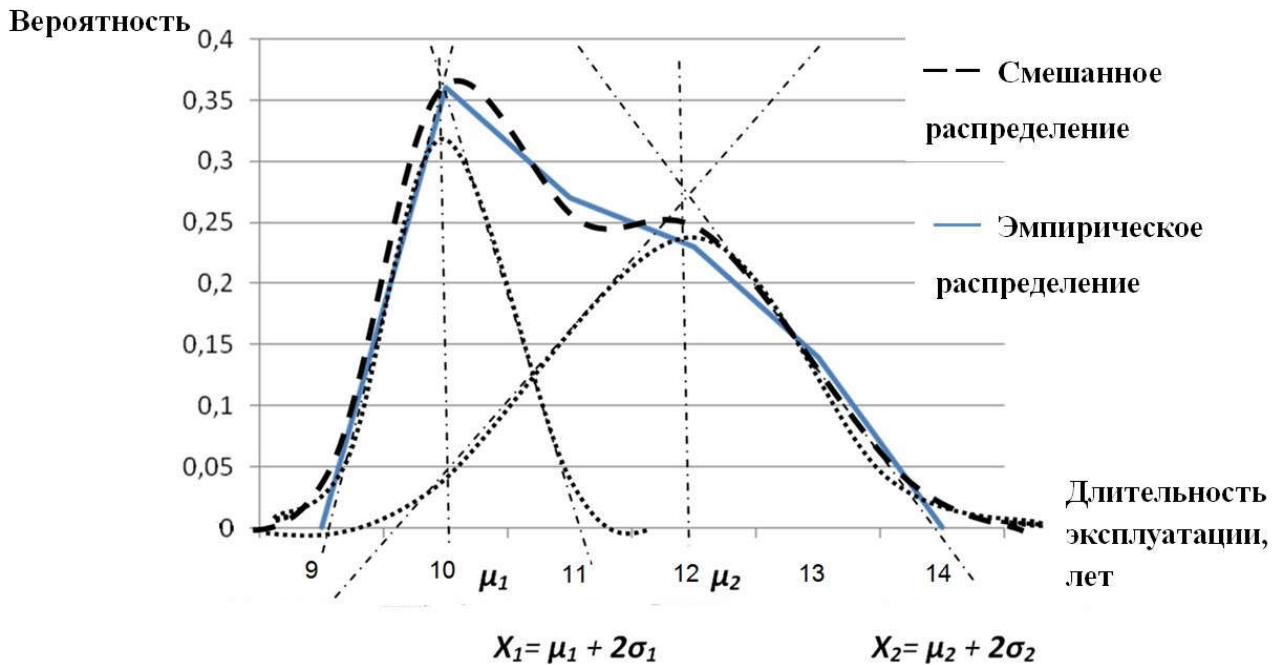


Рисунок 3 – Аппроксимация эмпирического распределения выхода в КР изделий техники РЭБ 3-й группы смешанным (суммой двух нормальных) распределением

Для определения параметров смешанного распределения воспользуемся одним из свойств нормального распределения, а именно: если в точках перегиба к кривой провести касательные, то они пересекут ось абсцисс в точках $\mu \pm 2\sigma$ [8, 9] (рисунок 3). Так, для группы 3 примем $\sigma_1 \approx 0,4$; $\sigma_2 \approx 1,1$.

Распределение для группы 3 моделируем функцией:

$$\begin{aligned} \phi(t) &= \eta \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\tau_{об})^2}{2\sigma_1^2}} + (1-\eta) \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\tau_{об}-\Delta)^2}{2\sigma_2^2}} = \\ &= 0,33 \frac{1}{1,0025} e^{-\frac{(t-10)^2}{0,32}} + 0,66 \frac{1}{2,7570} e^{-\frac{(t-11,5)^2}{2,42}} = 0,34 e^{-3,13(t-10)^2} + 0,24 e^{-0,41(t-11,5)^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где σ_1^2, σ_2^2 – дисперсии распределений ($\sigma_1^2 \approx 0,16$; $\sigma_2^2 \approx 1,21$);

Δ – расстояние между математическими ожиданиями ($\Delta=1,5$);

η – коэффициент, определяющий вклад парциальных распределений в смешанное [8] ($\eta=0,33$).

Использовать распределения необходимо с учетом наиболее вероятных значений выхода в КР, представленных на рисунке 1. Эти значения соответствуют положению максимума функции распределения. Так, для группы 1 наиболее вероятный момент выхода в КР – на 12-й год эксплуатации, для группы 2 – на 11-й год эксплуатации, для группы 3 – на 10-й. Используя полученные выражения, можем построить модели для прогнозирования распределения ассигнований,

выделяемых на КР техники РЭБ в рамках ГПВ. Рассмотрим модель вероятности выхода в КР изделий техники РЭБ первой группы (рисунок 4).

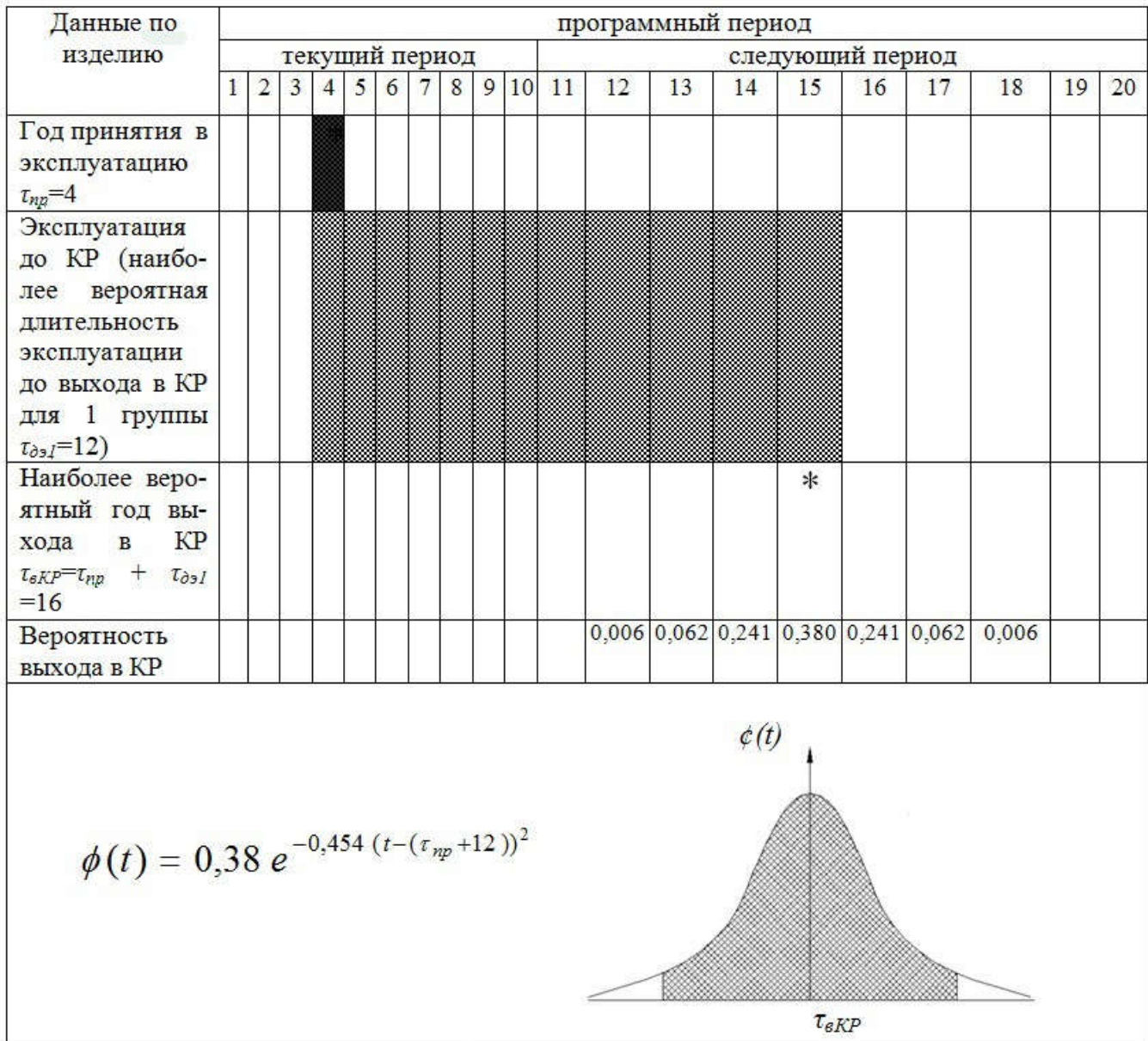


Рисунок 4 – Модель вероятности выхода изделия в КР (пример)

Требуемые ассигнования на КР в j -м ($j=11 \div 20$) году на изделия o -го образца первой группы, эксплуатируемые с τ_{np} -го года составят:

$$S_{1\tau_{np}}^{jo} = C_1^o n_{1\tau_{np}}^o \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(j - (\tau_{np} + \tau_{\partial\partial 1}))^2}{2\sigma_1^2}} = 0,38 e^{-0,454(j - (\tau_{np} + 12))^2}, \tag{4}$$

где C_1^o – прогнозируемая стоимость КР изделия o -го образца 1-й группы;
 $n_{1\tau_{np}}^o$ – количество изделий o -го образца 1-й группы, эксплуатируемых с τ_{np} -го года;
 σ_1^2 – дисперсия нормального распределения для 1-й группы образцов.

В более общем случае можем записать:

$$S_{i\tau_{np}}^{jo} = C_i^o n_{i\tau_{np}}^o \phi_j(\sigma_i^2, \tau_{np}, \tau_{\partial\partial i}, j), \tag{5}$$

где ϕ_i – функция распределения для i -й группы;

C_i^o – прогнозируемая стоимость КР изделия o -го образца i -й группы;

$n_{i\tau_{np}}^o$ – количество изделий o -го образца i -й группы, эксплуатация которых началась в τ_{np} -м году;

σ_i^2 – дисперсия распределения для i -й группы изделий. Остальные обозначения те же, что и в (3).

Требуемые ассигнования на КР в j -м году по всем изделиям образцов i -й группы составят:

$$S_{\sum i}^j = \sum_{o=1}^{O_i} S_{i\tau_{np}}^{jo}, \quad (6)$$

где O_i – количество образцов, принадлежащих к i -й группе.

Требуемые ассигнования на КР в j -м году в целом составят:

$$S_{\sum}^j = \sum_{i=1}^3 S_{\sum i}^j. \quad (7)$$

Пример. Пусть в текущем плановом периоде начали эксплуатироваться:

- в четвертом году планового периода – 4 изделия образцов группы 1. Стоимость КР одного изделия составляет 15,0 у.е.;
- в третьем году – 20 изделий группы 2. Стоимость КР изделия – 7,5 у.е.;
- в седьмом году – 30 изделий группы 3. Стоимость КР изделия – 5,0 у.е.

Необходимо определить рациональное (с учетом технического состояния изделий) распределение ассигнований на КР этих изделий в следующем программном периоде. Используя выражения (2)-(7), последовательно вычисляем по годам следующего планового периода: количество изделий каждой группы (используя соответствующие распределения), которые выйдут в КР; стоимости КР по каждой группе и требуемые ассигнования на КР в следующем программном периоде по всем группам техники (рисунок 5).

На рисунке также отражены результаты оценки необходимых ассигнований на КР тех же изделий при планово-предупредительной системе. Сравнительный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- учет вероятностного характера выхода в КР обуславливает значительно более равномерное выделение ассигнований по годам программного периода;
- как следует из рисунка, если изделия начали эксплуатацию в конце текущего периода, то КР части из них целесообразно проводить в следующем программном периоде. Например, если в нашем примере изделия группы 3 начали бы эксплуатироваться в восьмом году текущего периода, то количество требуемых КР в программном периоде сократилось на 4, что отразилось бы на общих ассигнованиях на программу.

Таким образом, предложен методический подход к планированию мероприятий по КР техники РЭБ, сущность которого сводится к определению рационального распределения ассигнований в ГПВ и ГОЗ на КР образцов техники РЭБ путем учета вероятностного характера длительности эксплуатации образцов до выхода в КР. Применение такого подхода при обосновании предложений в программные документы позволит:

- более рационально расходовать выделяемые ассигнования на КР техники РЭБ за счет рационального использования заложенного эксплуатационного ресурса техники РЭБ путем учета реального технического состояния изделий и соответственного увеличения срока эксплуатации без КР;

Группа	программный период																			
	текущий период										следующий период									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Планирование КР «по техническому состоянию»																				
Группа 1				*																
Количество ремон- тируемых средств																				
Требуемые ассиг- нования, у.е.																				
Группа 2			*																	
Количество ремон- тируемых средств																				
Требуемые ассиг- нования, у.е.																				
Группа 3																				
Количество ремон- тируемых средств																				
Требуемые ассиг- нования, у.е.																				
Требуемые ассиг- нования по всем группам, у.е.																				
Планирование на основе нормативных сроков выхода в КР (планово-предупредительная система)*																				
Группа 1				*																
Количество ремон- тируемых средств																				
Требуемые ассиг- нования, у.е.																				
Группа 2			*																	
Количество ремон- тируемых средств																				
Требуемые ассиг- нования, у.е.																				
Группа 3																				
Количество ремон- тируемых средств																				
Требуемые ассиг- нования, у.е.																				
Требуемые ассиг- нования по всем группам, у.е.																				

*) Здесь нормативный срок проведения КР принят равным 10 годам

Рисунок 5 – Расчет необходимых ассигнований по годам планового периода

- распределять ассигнования по годам программного периода более равномерно по сравнению с финансированием при планово-предупредительной системе;
- более точно определять объемы требуемых на КР ассигнований в программном периоде;
- повысить долю исправных образцов техники РЭБ в войсках за счет исключения случаев, когда возникающая реальная необходимость в КР не обеспечена запланированными в ГПВ ассигнованиями;
- более равномерно загружать ремонтные предприятия.

Отметим, что для повышения точности прогнозирования распределения выделяемых ассигнований на КР параметры представленных соотношений (распределений) должны уточняться по мере накопления статистической информации.

Список использованных источников

1. Гулидов А.А. Подсистема войскового ремонта и сервисного обслуживания техники РЭБ // Радиоэлектронная борьба в Вооруженных Силах Российской Федерации. – 2017. – С. 67-69.
2. Турковский А.С., Шоркин С.П. К вопросу организации оптимальной стратегии проведения капитальных и средних ремонтов технических средств противодействия террористическим и криминальным взрывам // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. – 2015. – № 1-2 (79-80). – С. 39-43.
3. Пьянков А.А. Экономико-математическая модель системы ремонта вооружения и военной техники в современных условиях // Вооружение и экономика. – 2013. – № 3. – С. 65-76.
4. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Модель управления техническим обеспечением войск // Вооружение и экономика. – 2011. – № 4. – С. 29-34.
5. Еланцев Г.А. Моделирование системы ремонта вооружения и военной техники в программном средстве имитационного моделирования ARENA // Материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16-19 июня 2014 г. – М., 2014. С. 5354-5363.
6. Луценко А.Д., Божков А.Ю. Применение стратегий выхода изделий техники РЭБ в ремонт «по техническому состоянию» и «нормам расходования ресурса» при обосновании предложений в государственный оборонный заказ в части капитального ремонта техники РЭБ // Вооружение и экономика. – 2015. – № 1. – С. 12-22.
7. Аносов Р.С., Бывших Д.М., Орлов В.А. Методы оценки экономического эффекта различных стратегий технического обслуживания и ремонта техники РЭБ // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2017. – № 5. – С. 25-30.
8. Загорюев А.Л. Основы статистической обработки результатов психодиагностических измерений. – Екатеринбург: Уральский институт практической психологии, 2008. – 156 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: КНОРУС, 2010. – 480 с.
10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
11. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
12. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
13. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 702 с.