

УДК 621.391

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НОРМАТИВОВ ГРУППОВОГО ЗИП НА РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ СВЯЗИ

А.Ю. Цым, начальник лаборатории ЦНИИС, д.т.н.; atsym@zniis.ru

И.Д. Деарт, старший научный сотрудник ЦНИИС, к.т.н.; ideart@zniis.ru

Д.А. Пальцин, аспирант ЦНИИС; d.paltsyn@rkn.gov.ru

В.А. Кузьмичев, зам. генерального директора — технический директор ОАО «Фирма ОРГРЭС», к.т.н.; kuzmichev@orgres-f.ru

Приведена методика расчета нормативов для группового ЗИП на ремонтно-эксплуатационное обслуживание оборудования связи. Обоснованные нормативы ЗИП, с одной стороны, обеспечивают требуемую надежность оборудования связи, с другой, — снижают затраты на длительное хранение избыточных запасов сменных частей (СЧ) в процессе эксплуатации. Подтверждена необходимость строгого теоретического обоснования нормативов ЗИП. Как показывает конкретный расчет: при относительно низкой наработке на отказ (немногим более половины года) ежегодное пополнение ЗИП составляет всего 20% от общего количества защищаемого оборудования.

Ключевые слова: надежность, ЗИП, коэффициент обеспеченности, экспоненциальное распределение, распределение Пуассона, безгранично-делимые распределения, сумма случайных величин, центральная предельная теорема, техническое обслуживание.

Введение. Одним из факторов, определяющих качество и устойчивость функционирования сетей связи [5–12, 18, 19, 22, 23, 26, 27], является обеспеченность эксплуатационных подразделений комплектами запасных частей, инструментов и приспособлений (ЗИП). Комплекты ЗИП предназначаются для поддержания исправного состояния изделия путем замены отказавших функциональных элементов. Различают одиночные и групповые ЗИП [17, 20, 24, 25]. Одиночный комплект ЗИП поставляется с каждым изделием, хранится и используется на месте его эксплуатации. Групповой комплект ЗИП доставляется самостоятельно, хранится, как правило, централизованно и предназначается для технического обслуживания однородного оборудования связи.

Недостаточный запас сменных частей может привести к простою системы связи, а избыточный — к неэффективному использованию финансовых ресурсов. Опубликовано немало теоретических работ по оптимальному комплектованию ЗИП [2, 3, 13–16, 21, 28–32]. Однако в них недостаточно раскрыта динамика пополнения группового ЗИП в процессе ремонтно-эксплуатационного обслуживания. В статье предложено решение этой актуальной для операторов связи задачи.

Теоретические предпосылки. Среднее время восстановления много меньше среднего периода безотказной работы — длительности исправного состояния оборудования между двумя последовательными отказами. Поток отказов представляет собой ординарный поток событий

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} [p''(t, \Delta t) / \Delta t] = 0,$$

где $p''(t, \Delta t)$ — вероятность двух и более отказов на интервале Δt . Интенсивность отказов — величина постоянная вне

зависимости от рассматриваемого момента времени. Длительности периодов безотказной работы случайны и подчиняются экспоненциальному (показательному) закону с плотностью вероятности $f(x) = \frac{1}{\theta} \exp(-x / \theta)$, где параметр θ может быть интерпретирован как среднее значение периода безотказной работы. Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение экспоненциального распределения равны θ .

Длительность периодов безотказной работы связана с количеством отказов: чем больше длительность безотказной работы, тем меньше количество отказов в единицу времени, и наоборот. Функциональная связь между этими случайными величинами позволяет найти распределение отказов оборудования или, что то же самое, распределение использованных сменных частей ЗИП.

Соотношение между экспоненциальным и пуассоновским распределениями. В [14] показано, что экспоненциальное и пуассоновское распределения [4] связаны друг с другом следующей теоремой.

Теорема. Если наработка на отказ является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону с параметром θ , то число отказов в интервале с продолжительностью t единиц является случайной величиной, распределенной по закону Пуассона с параметром t/θ , т.е. если

$$f(x) = \frac{1}{\theta} \exp(-x / \theta), \quad x \geq 0,$$

где x — наработка на отказ (случайная величина), то на интервале продолжительностью t единиц имеем

$$P(r) = \frac{\left(\frac{t}{\theta}\right)^r \exp\left(-\frac{t}{\theta}\right)}{r!}.$$

Доказательство. Пусть $N(t)$ — число отказов в интервале $[0, t]$, а T_r — момент появления r -го отказа. Величина $N(t) < r$ тогда и только тогда, когда $T_r < t$. Или $P[N(t) < r] = P(T_r > t)$ и $P[N(t) < r + 1] = P(T_{r+1} > t)$.

Следовательно,

$$P[N(t) = r] = P(T_{r+1} > t) - P(T_r > t) = [1 - P(T_{r+1} \leq t)] - [1 - P(T_r \leq t)] = P(T_r \leq t) - P(T_{r+1} \leq t) = F_{T_r}(t) - F_{T_{r+1}}(t);$$

$$T_x = x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_r,$$

где x_i — независимые случайные величины, распределенные по экспоненциальному закону. Производящая функция моментов для T_r имеет вид $M_{T_r}(s) = [M_x(s)]^r$. В случае экспоненциального распределения $M_x(s) = \frac{1}{1 - \theta s}$. Следовательно,

$$M_{T_r}(s) = \left[\frac{1}{1 - \theta_s} \right]^r.$$

Откуда

$$f(T_r) = \frac{1}{\theta_s} e^{-\frac{T_r}{\theta}} \left(\frac{T_r}{\theta} \right)^{r-1} \frac{1}{(r-1)!}, \quad T_r \geq 0.$$

Интегрируя, получаем

$$F_{T_r}(t) = \int_0^t \frac{1}{\theta_s} e^{-\frac{T_r}{\theta}} \left(\frac{T_r}{\theta} \right)^{r-1} dT_r = \frac{1}{\theta^r} \frac{1}{(r-1)!} \int_0^t T_r^{r-1} e^{-T_r/\theta} dT_r.$$

После интегрирования по частям и преобразований находим

$$P\{N(t) = r\} = F_{T_r}(t) - F_{T_{r+1}}(t) = e^{-t/\theta} \left[-\frac{1}{r!} \left(\frac{t}{\theta} \right)^r \right] = \frac{(t/\theta)^r e^{-t/\theta}}{r!}.$$

Последнее выражение представляет собой функцию пуассоновского распределения с параметром t/θ .

Таким образом, если в некотором интервале $[0, t]$ наработка до отказа имеет экспоненциальное распределение с параметром θ , то число отказов имеет пуассоновское распределение с параметром t/θ .

Распределение Пуассона — вероятностное распределение дискретного типа, моделирует случайную величину, представляющую собой число событий, происшедших за фиксированное время, при условии, что данные события следуют с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимо друг от друга. Для дальнейшего важно, что математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и мода пуассоновского распределения одинаковы и равны t/θ . График плотности вероятности распределения Пуассона приведен на рисунке.

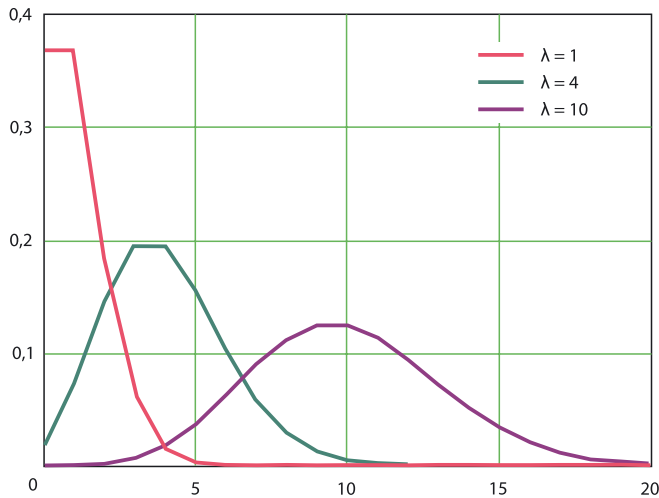


График плотности вероятности распределения Пуассона

Принципиальное значение имеют следующие два свойства этой случайной величины.

1. Распределение Пуассона относится к классу безгранично-делимых распределений [1], и сумма таких случайных величин также имеет пуассоновское распределение с математическим ожиданием, равным сумме математических ожиданий, а суммарная дисперсия равна сумме дисперсий (среднее квадратическое отклонение

пропорционально корню квадратному от числа слагаемых) [1].

2. Если число слагаемых случайных величин не менее четырех, то с достаточной для практики точностью распределение Пуассона аппроксимируется нормальным распределением Лапласа-Гаусса с вероятностью одностороннего двухсигмового отклонения $P(x \leq m + 2\sigma) = 0,975$, где x — количество отказов (количество использованных запасных частей из комплекта ЗИП); m — математическое ожидание; σ — среднее квадратическое отклонение количества отказов.

Как будет видно из дальнейшего, расчетное значение показателя обеспеченности группового (ЗИП-Г) целесообразно принять равным 0,975. Для гарантии нормированных значений коэффициента готовности оборудования реальный показатель обеспеченности должен быть близок к 1. Для этого необходимо, чтобы период ревизии и пополнения ЗИП-Г был существенно меньше среднего значения наработки до отказа рассматриваемой составной части (СЧ) комплекта ЗИП.

Пример расчета нормативов ЗИП-Г. Рассмотрим особенности расчета нормативов ЗИП-Г на конкретном примере определения необходимого запаса входных блоков коммутатора [31] при следующих исходных данных: общее количество изделий, защищаемых групповым комплектом ЗИП $m = 100$ шт.; средняя наработка до отказа $\theta = 5000$ ч (интенсивность отказов $\lambda = 2 \times 10^{-5}$ 1/ч); период пополнения ЗИП — 8766 ч (1 год); коэффициент обеспеченности $K_n = 0,975$.

Алгоритм расчета.

1. Задается последовательность календарных лет жизненного цикла изделия (период эксплуатации), п. 1 таблицы.
2. Определяется длительность эксплуатации составной части комплекта ЗИП на конец года t (п. 2 таблицы).
3. Рассчитывается вероятность наработки до отказа СЧ за текущий период эксплуатации как функции экспоненциального распределения $P = 1 - e^{-\lambda t/8766}$ (п. 3 таблицы).
4. Вычисляется интенсивность отказов q СЧ за календарный год как разность значений функции экспоненциального распределения последующего и текущего года эксплуатации (п. 4 таблицы).
5. Рассчитывается и округляется до целого числа количество отказов за год СЧ, установленных в начале 2015 г. при показателе обеспеченности 0,975, как односторонний двухсигмовый процентиль нормального распределения $N = qm + 2q\sqrt{m}$ (п. 5 таблицы).
6. Аналогично п. 5 определяются значения отказов СЧ, установленных в последующие годы (п. 6–14 таблицы).
7. Рассчитывается общее количество СЧ по годам как суммы в столбцах (п. 4–15 таблицы).

Заключение. Показано решение актуальной для операторов связи задачи — создание нормативов пополнения группового ЗИП в процессе ремонтно-эксплуатационного обслуживания. Приведенные нормативы ЗИП не только гарантируют требуемую надежность оборудования связи, но и снижают затраты на длительное хранение избыточных запасов СЧ в процессе эксплуатации. Кроме того, целесообразно строго теоретическое обоснование нормативов ЗИП. Конкретный расчет показывает, что при относительно низкой наработке на отказ (немногим более половины года) ежегодное пополнение ЗИП составляет не более 20% от общего защищаемого оборудования.

№ п/п	Наименование	Рассчитываемые параметры									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Годы календарные	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
2	Длительность эксплуатации на конец года	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Вероятность наработки до отказа СЧ за период эксплуатации	0.1608	0.2958	0.4090	0.5040	0.5838	0.6507	0.7069	0.7540	0.7936	0.8268
4	Интенсивность отказов СЧ за год	0.1608	0.1350	0.1132	0.0950	0,0798	0.0669	0.0562	0.0471	0.0396	0.0332
5	Количество отказов 100 установленных в начале 2015 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975 (по годам)	19	16	14	11	10	8	7	6	5	4
6	Количество отказов 19 установленных в течение 2015 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975		4	4	3	3	2	2	2	1	1
7	Количество отказов 16 установленных в течение 2016 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975			4	3	3	2	2	2	1	1
8	Количество отказов 14 установленных в течение 2017 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975				3	3	2	2	2	1	1
9	Количество отказов 11 установленных в течение 2018 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975					3	2	2	2	1	1
10	Количество отказов 10 установленных в течение 2019 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975						3	2	2	2	1
11	Количество отказов 8 установленных в течение 2020 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975							2	2	2	1
12	Количество отказов 7 установленных в течение 2021 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975								2	2	1
13	Количество отказов 6 установленных в течение 2022 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975									2	1
14	Количество отказов 5 установленных в течение 2023 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975										2
15	Общее потребное количество СЧ в ЗИП-Г (по годам)	19	20	22	20	21	19	19	18	17	14

ЛИТЕРАТУРА

- Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей: Учебник. Изд. 8-е, испр. и доп. — М.: Едиториал УРСС, 2005. — 448 с.
- Головин И.Н., Резиновский А.Я., Дзиркал Э.В. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиотехнических систем. — М.: Радио и связь, 1984. — 176 с.
- Головин И.Н., Чуварыгин Б.В., Шура-Бура А.Э. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем. — М.: Радио и связь, 1984.
- ГОСТ 11.005–74 Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров экспоненциального распределения и распределения Пуассона. Введено 01.01.74 без ограничения срока действия. — М.: Изд-во стандартов, 1974. — 29 с.
- ГОСТ 17526–72 Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Требования к содержанию форм учета наработок, повреждений и отказов. Введено 01.01.73. — М.: Изд-во стандартов, 1980. — 9 с.
- ГОСТ 27.001–81 Система стандартов. Надежность в технике. Основные положения.
- ГОСТ 27.002–89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
- ГОСТ 27.003–90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
- ГОСТ 27.301–95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
- ГОСТ Р 53111–2008 Национальный стандарт РФ. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки.
- ГОСТ Р 55543–2013 Национальный стандарт РФ. Система национальных стандартов в области качества услуг связи. Управление качеством услуг связи. Общие положения.
- ГОСТ РВ 27.3.03–2005 Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП.
- Жаднов В.В., Авдеев Д.К., Тихменев А.Н. Проблемы расчета показателей достаточности и оптимизации запасов в системах ЗИП // Надежность. — 2011. — № 3. — С. 53–60.
- Камбур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. Под ред. И.А. Ушакова. Пер. с англ. — М.: Мир, 1980. — 604 с.
- Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. — М.: Советское радио, 1975. — 472 с.

16. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. проф. И.А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985.
17. ОСТ 4 Г0.012.021 Отраслевой стандарт. Аппаратура радиоэлектронная. Проектирование и комплектование ЗИП, 1972 г.
18. ОСТ 45.153–99 Надежность средств электросвязи. Термины и определения.
19. ОСТ 45.63–96 Стандарт отрасли. Обеспечение надежности средств электросвязи. Основные положения.
20. ОСТ 45.66–96 Стандарт отрасли. Запасные части, инструменты и принадлежности средств электросвязи. Общие требования.
21. **Поляков А.П., Бильдин Д.В., Лепешкин Ф.Ф., Палей А.С.** Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Т. 3. Практические основы эксплуатации объектов космической инфраструктуры. — СПб.: РИО и типография ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008.
22. Приказ Минкомсвязи от 27 сентября 2007 года № 113 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования».
23. Приказ Минкомсвязи от 6 декабря 2005 года № 137 «Об утверждении требований к построению, управлению, нумерации, организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования, условиям взаимодействия, эксплуатации сети связи при оказании универсальных услуг связи».
24. РД В 319.01.19–98. Радиоэлектронные системы военного назначения. Методика оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП.
25. РД В 50–503–84. Аппаратура радиоэлектронная. Методики оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП.
26. Федеральный закон РФ от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ «О связи».
27. Федеральный закон РФ от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
28. **Фомин М.С.** Применение метода имитационного моделирования для расчета оптимальных запасов в одиночных комплектах запасных частей, инструментов и принадлежностей радиотехнических изделий / Сб. докл. молодежной науч.-техн. конф. «Направления совершенствования АСУ». — 2000. — С. 206–217.
29. **Чересов Г.Н.** О проблеме расчета надежности восстанавливаемых систем при наличии запасных элементов. Часть 1. — М.: Надежность. — 2010. — № 3 — С. 29–39.
30. **Чересов Г.Н.** Оценка надежности систем с учетом ЗИП: учебное пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 480 с.
31. **Одом Ш., Ноттингем Х.** Коммутаторы Cisco / Coriolis / Пер. с англ. — М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. — 528 с.
32. **Шор Я.Б.** Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. — М.: Соврадио, 1962. — 552 с.

Получено 20.04.15

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА!

10 июня 2015 г. исполнилось 75 лет Александру Юрьевичу Цыму, начальнику научной лаборатории № 2212 ЦНИИС, доктору технических наук, заместителю заведующего кафедрой ПТТиУ МТУСИ, профессору, руководителю аспирантуры ЦНИИС, академику МАС и АТИ, члену Диссертационного совета ВНИИ КП.



Александр Юрьевич Цым родился в 1940 г. в поселке Декастри Хабаровского края. В 1962 г. он окончил факультет телеграфно-телефонной связи Московского электротехнического института связи и был распределен в трест «Межгорсвязьстрой», где работал инженером, старшим инженером, а затем заместителем начальника кабельной лаборатории. Свою трудовую деятельность в ЦНИИС А.Ю. Цым начал в 1968 г.

Профессионал в области электрических и оптических кабелей связи, цифровых и оптических систем пере-

дачи, проектирования, строительства и эксплуатации сетей связи, защиты сетей связи от внешних воздействий, макроэкономики и долгосрочного прогнозирования, А.Ю. Цым занимался вопросами проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных сооружений, статистического нормирования параметров кабелей связи, исследованием среды передачи систем ИКМ-120, ИКМ-480, К-1020, СОПКА-5, разработкой методов долгосрочного прогнозирования оптимальных темпов внедрения инноваций.

Высококвалифицированный специалист, Александр Юрьевич Цым за время работы в ЦНИИС внес значительный вклад в разработку проекта ТСЛ, эскизного проекта «Полюс» и РТМ «Основные положения обеспечения надежности средств электросвязи». Под его руководством были разработаны «Нормы приемо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризонных подземных волоконно-оптических линий передачи сети связи общего пользования». В 1974 г. А.Ю. Цым защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование симметричных кабелей в диапазоне частот ВЦСП», а в 1992 г. — докторскую: «Повышение эффективности высокочастотных симметричных кабелей связи на основе развития теории многопроводных направляющих систем».

Более 15 лет (с 1998 по 2008 г.) Александр Юрьевич представлял интересы администрации связи России в качестве вице-председателя 5-й и 6-й Исследовательских комиссий МСЭ-Т. Он настоящий ученый, профессионал, пользующийся заслуженным авторитетом среди связистов отрасли, его знают и уважают в проектных, строительных и эксплуатационных организациях в России и за рубежом.

Занимаясь научной деятельностью, А.Ю. Цым выпустил три книги, опубликовал более 60 научных статей, большинство из которых увидели свет на страницах журнала «Электросвязь». Он регулярно участвует в научных конференциях, успешно сочетая научную деятельность с педагогической: под его руководством более сотни студентов подготовили дипломные проекты и более десятка аспирантов стали кандидатами технических наук.

За достигнутые успехи А.Ю. Цыму присвоено звание «Заслуженный работник связи РФ», он награжден медалями «Ветеран труда» и «В память 850-летия Москвы».

Редколлегия и редакция «Электросвязи» поздравляют Александра Юрьевича Цыма с юбилеем. Мы желаем большому другу нашего журнала здоровья, благополучия, творческого долголетия и надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.