

## ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИКИ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА НАДЁЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

В.И. Росляков<sup>1</sup>

*Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики (СПбГСЭ),  
191015, Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, 7*

*Аннотация* – Рассмотрена связь между надёжностью технического оборудования и характеристикой системы ЗИП. Показано, что потребность в запасных частях для нужд эксплуатации и ремонта техники зависит от возрастного состава парка техники и показателей долговечности их элементов.

*Ключевые слова:* надёжность, долговечность, техническое обслуживание, запасные части.

### THE INFLUENCE OF CORRELATION FOR PRODUCTION TECHNIQUE AND EXTRA PARTS ON RELIABILITY OF EQUIPMENT

V.I. Rosliakov

*The St.-Petersburg state university of service and economy (SPbSUSE),  
191015, St.-Petersburg, street Kavalergardsky, 7*

*The summary* – The relation between reliability of technical equipment and description of extra parts are considered. It is considered that requirement in the extra parts for the needs of exploitation and of repairs of technique depends on age structure of technical park and from longevity of their elements.

*Keywords:* reliability; longevity; maintenance service; extra parts.

При эксплуатации техники одним из основных путей обеспечения надёжности машин является своевременное и качественное выполнение технического обслуживания и ремонта, что требует определённого количества запасных частей (ЗИП).

Рассмотрим связь между надёжностью оборудования и характеристиками ЗИП.

Если для технического обслуживания объекта предполагается использование системы ЗИП, то эффективность эксплуатации зависит не только от показателей надёжности объекта, но и от показателей эффективности системы ЗИП. Однако, существующая практика предполагает процесс раздельного проектирования техники и относящейся к ней системы ЗИП. Так при проектировании системы ЗИП учитывают проектные характеристики технической системы, к которым можно отнести интенсивность отказов агрегатов, узлов, элементов, интенсивность их поступления на техническое

обслуживание и ремонт, сложность выполнения ремонтов. В таких случаях совокупность изделия и системы ЗИП можно рассматривать как единую систему и, соответственно, определять эффективность и надёжность её функционирования.

Ограниченность системы ЗИП, прежде всего, сказывается на времени восстановления объекта. Так, при отсутствии в системе ЗИП необходимого запасного элемента, время ремонта увеличивается. Поэтому эффективность системы ЗИП можно характеризовать средним временем задержки в выполнении заявки на запасной элемент. В связи с этим для построения моделей эксплуатации технических систем, учитывающих применение системы ЗИП, обычно применяют методы теории массового обслуживания.

В этом случае каждое состояние объекта (использование по назначению, техническое обслуживание, ремонт и т.д.) соответствует узлу обслуживания, а смена состояний – циркуляции требований

по узлам, которое описывается случайным процессом:

$$n(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_m(t)], \quad (1)$$

где:  $n(t)$  –  $m$ -мерный вектор;  $n_j(t)$  – число требований в  $j$ -м узле в момент времени  $t$ ;  $m$  – число узлов в системе.

Поскольку число требований в системе массового обслуживания равно числу объектов сложной технической системы  $N$ , то в любой момент времени:

$$n_1(t) + n_2(t) + \dots + n_m(t) = N. \quad (2)$$

Наибольший практический интерес обычно представляет стационарный (установившийся) режим функционирования системы массового обслуживания, при котором распределение вероятностей случайного вектора  $n(t)$  не зависит от времени. Стационарный режим достигается через некоторое время после начала эксплуатации и составляет большую часть всего времени эксплуатации, вследствие чего он определяет показатели надёжности эксплуатации сложной технической системы. [3]

Показатели надёжности и эффективности функционирования технической системы в значительной степени зависят от обеспечения необходимым количеством запасных элементов. Однако, создание больших запасов экономически невыгодно, так как требует значительных средств на их производство и хранение. Поэтому при определении норм запасных элементов необходимо учитывать два противоположных подхода: с одной стороны увеличение числа запасных частей приводит к повышению надёжности и эффективности функционирования техники, с другой – увеличивает расходы на эксплуатацию. В связи с этим, при расчёте производства запасных частей необходимо решать задачу оптимизации номенклатуры и количества запасных элементов.

Наряду с этим, производство запасных частей должно обеспечивать потребности эксплуатации в заменяемых деталях. Для выполнения этого требования необходимо при проектировании технической системы определять ежегодные предполагаемые объёмы производства запасных частей и сравнивать их с производственными возможностями промышленных предприятий, где предполагается выпуск изделий и запасных частей к ним.

Объём производства запасных частей  $M_3$  по сравнению с объёмом выпускаемой основной продукции на предприятии определяется в сопоставимых единицах соотношением: [2]

$$\alpha_\mu = \frac{M_3}{WN_\mu} < \alpha_{\text{пред}}, \quad (3)$$

где:  $\alpha_{\text{пред}}$  – предельное соотношение для всей номенклатуры запасных частей (обычно принимаемое  $0,05 \leq \alpha_{\text{пред}} \leq 0,35$ );  $N_\mu$  – объём производства данной модели в  $\mu$ -м году их производства шт.;  $W$  – масса (или цена) одной системы, кг (тысяч рублей).

Объём производства запасных частей для каждого года выпуска технических систем  $M_{3\mu}$  и для потребности в замене деталей в каждом году эксплуатации техники вычисляется по выражению:

$$M_{3\mu} = \sum N_\mu \cdot g_m \Big|_{\substack{m=a; \mu=b; \\ m=1; \mu=1}}, \quad (4)$$

где:  $a$  – последний год эксплуатации системы;  $b$  – последний год выпуска систем.

Объём производства запасных частей для систем первого года выпуска ( $\mu=1$ ) и для удовлетворения потребности в первом году эксплуатации ( $m=1$ ), тогда  $M_1 = N_1 \cdot g_1$ .

Объёмы производства запасных частей для каждого года выпуска технических систем  $M_{3\mu}$  и для потребности в замене деталей в каждом году эксплуата-

ции техники вычисляются по выражениям:

$$\begin{aligned}\mu &= 2; M_2 = N_2 g_1 + N_1 g_2 \\ \mu &= 3; M_3 = N_3 g_1 + N_2 g_2 + N_1 g_3 \\ \mu &= 4; M_4 = N_4 g_1 + N_3 g_2 + N_2 g_3 + \dots\end{aligned}$$

$\dots + N_1 g_4$ .

Объёмы производства запасных частей при  $\mu \geq a$ , т.е. когда первый выпуск оборудования достиг предельного возраста и подлежит списанию, должны обеспечить потребность в замене деталей  $Z$  оставшихся в парке единиц оборудования более поздних выпусков:

$$\begin{aligned}\mu &= a, M_\mu = N_\mu g_1 + N_{\mu-1} g_2 + \dots \\ &\dots + N_1 g_a; \\ \mu &= a + 1, M_\mu = N_\mu g_1 + \\ &N_{\mu-1} g_2 + \dots + N_2 g_a; \\ \mu &= a + 2, M_\mu = N_\mu g_1 + N_{\mu-1} g_2 + \dots \\ &\dots + N_3 g_a \text{ и т.д.}\end{aligned} \quad (6)$$

В тех случаях, когда продолжительность производства оборудования превышает продолжительность его эксплуатации

$$\mu = b = a + \delta; M_b = N_b \cdot g_1 + N_{b-1} \cdot g_2 + \dots + N_{\delta+2} \cdot g_{a-1} + N_{\delta+1} \cdot g_a \quad (7)$$

После завершения производства изделий данной модели должно быть обеспечено производство запасных частей на эксплуатацию действующего парка:

$$\begin{aligned}\mu &= b + 1; M_{b+1} = N_b \cdot g_2 + N_{b-1} \cdot g_3 + \\ &\dots + N_{\delta+3} \cdot g_{a-1} + N_{\delta+2} \cdot g_a; \\ \mu &= b + 2; M_{b+2} = N_b \cdot g_3 + N_{b-1} \cdot g_4 + \dots \\ &+ N_{\delta+4} \cdot g_{a-1} + N_{\delta+3} \cdot g_a; \\ \mu &= b + k; M_{b+k} = N_b \cdot g_{k+1} + \dots \\ &\dots + N_b \cdot g_{k+2} + \dots + N_{\delta+2+k} \cdot g_a.\end{aligned} \quad (8)$$

Если общее число лет производства запасных частей равно  $a+b-1$ , то в последнем году производство запасных частей равно:

$$\mu = b + a - 1; M_{b+a-1} = N_b \cdot g_a. \quad (9)$$

Как следует из приведённых расчётных схем, ежегодные объёмы производства запасных частей для нужд эксплуатации и ремонта техники формиру-

ются в зависимости от возрастного состава парка и показателей долговечности их элементов. При этом потребное число запчастей вначале возрастает, а затем по мере списания выработавшего свой срок оборудования, уменьшается.

В целях рационального использования запчастей необходимо при проектировании новой техники заранее определять предполагаемые объёмы производства запасных частей для изменяющейся численности единиц техники в парке. Если уровень производства запчастей окажется недостаточным, то предполагаемый дефицит производства может быть ликвидирован путём расширения производства или путём совершенствования конструкции изделия.

Рассмотрим в качестве примера расчёт ежегодной потребности в производстве запасных частей для бытовых машин одной модели, срок службы которых до списания  $T_a$  равен 5 лет, планируемых к выпуску в течение 4 лет с объёмами выпуска  $N_\mu = 100; 200; 500$  и  $1000$  штук. Масса машины без комплектующих узлов составляет  $W = 1000$  кг. Масса заменяемой детали  $w = 5$  кг, число одновременно заменяемых деталей  $n_3 = 3$ ; предельный относительный уровень производства запчастей не должен превышать  $0,05$  объёма основного производства.

В работе [2] приведён расчёт потребности в запасных частях, срок службы, до списания которых, составляет 5 лет. Данные по годовой потребности в запасных частях  $\Delta f_m$ , приведены в таблице 1.

Пользуясь данными таблицы 1, взятыми из работы [3], определяем ежегодную долевую потребность  $\Delta F_m$  в запасных частях для всех замен по формуле  $\Delta F_m = \sum_{j=1}^t \Delta F_{mj}$ .

Результаты расчётов приведены в таблице 2

Таблица 1 – Расчёт ежегодной потребности в запасных частях

№ замены, f	Средний срок замены, $t^{(f)}$ лет	Среднее квадратическое отклонение $\sigma^{(f)}$ , лет	Годы эксплуатации, m	Квантиль распределения, $Z_m^{(f)}$	Интеграл вероятностей, $F_m^{(f)}(Z_m^{(f)})$	Годовая потребность, $\Delta F_m^{(f)}$
1	0,75	0,250	1	1,00	0,8413	0,8413
			2	5,00	1,0000	0,1587
			3	9,00	1,0000	0,0000
			4	13,00	1,0000	0,0000
			5	17,00	1,0000	0,0000
2	1,50	0,352	1	-1,42	0,0778	0,0778
			2	1,42	0,4222	0,3444
			3	4,26	1,0000	0,5778
			4	7,10	1,0000	0,0000
			5	9,94	1,0000	0,0000
3	2,25	0,433	1	-2,89	0,0019	0,0019
			2	-0,58	0,2810	0,2791
			3	1,73	0,9582	0,6772
			4	4,04	1,0000	0,0418
			5	6,35	1,0000	0,0000
4	3,00	0,500	1	-4,00	0,0001	0,0001
			2	-2,00	0,0228	0,0227
			3	0,00	0,5000	0,4772
			4	2,00	0,9772	0,4772
			5	4,00	0,9999	0,0227
5	3,75	0,559	1	-4,92	0,0000	0,0000
			2	-3,13	0,0010	0,0010
			3	-1,34	0,0901	0,0891
			4	0,45	0,6736	0,5835
			5	2,24	0,9875	0,3139
6	4,50	0,612	1	-5,72	0,0000	0,0000
			2	-4,08	0,0000	0,0000
			3	-2,45	0,0071	0,0071
			4	-0,82	0,2061	0,1990
			5	0,82	0,7939	0,5878

Ежегодную потребность в запасных частях на одно изделие  $g_m$  определяем по формуле из [4]:

$$g_{mj} = W_j \cdot n_j \cdot \Delta F_{mj}, \quad (10)$$

где:  $W_j$  – масса (цена)  $j$ -й детали, кг(руб.);  $n_j$  – число одновременно заменяемых деталей  $j$ -го наименования;  $\Delta F_m$  – ежегодная потребность в деталях в пределах года эксплуатации.

Ежегодные объёмы производства запасных частей находим по формуле:

$$g_m = \sum_{j=1}^s g_{mj} \cdot \quad (11)$$

Относительный объём производства деталей  $\alpha_\mu$  для каждого года выпуска находим по формуле:  $\alpha_\mu = \frac{M_\mu}{W \cdot N_\mu}$ .

Результаты расчёта объёма производства запасных деталей для указанного изделия приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Ежегодная потребность в замене деталей

$\Delta F$ $_{mi}$	Годы эксплуатации				
	1	2	3	4	5
1	0,8413	0,1587	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0778	0,3444	0,5778	0,0000	0,0000
3	0,0019	0,2791	0,6772	0,0418	0,0000
4	0,0001	0,0227	0,4772	0,0227	0,0000
5	0,0000	0,0010	0,0891	0,5835	0,3139
6	0,0000	0,0000	0,0071	0,1990	0,5878
Итого	0,9211	0,8059	1,8284	0,8470	0,9017

Таблица 3 – Расчёт объёма производства запасных деталей

$\mu$	Ежегодный выпуск машин	$M$					$M_{\mu}$ TH	$W \cdot N_{\mu}$	$\alpha_{\mu}$
		1	2	3	4	5			
		$g_m, \text{кг}$							
		13,816	12,089	27,426	12,705	13,526			
1	$N_1=100$	1382					1,382	100	0,0138
2	$N_2=200$	2764	1209				3,973	200	0,0199
3	$N_3=500$	6910	2418	2743			12,071	500	0,0241
4	$N_4=1000$	13820	6045	5486	1271		26,622	1000	0,0267
5			12090	13713	2542	1353	29,698	1000	0,0297

6				27430	6355	2706	36,491	1000	0,0365
7					12705	6763	19,468	1000	0,0195
8						13526	13,526	1000	0,0135

Из таблицы 3 следует, что при полном обеспечении потребности в запасных деталях объёмы их производства не превосходят значения 0,04 от объёма производства основной продукции. Эта величина достаточно хорошо согласуется с рекомендуемым в [1] значением  $\alpha_{\text{пред}}$  и подтверждает эффективность приведённой методики расчёта объёма производства запасных деталей.

### Литература

1. Надёжность и эффективность в технике. Справочник в 10 т., т8 Эксплуатация и ремонт. М. Машиностроение, 1990г.-320с.
2. Росляков В.И. Повышение эксплуатационной надёжности изделий посредством оптимизации технического обслуживания. Доклад на конференции «Формирование университетских комплексов и инновационная деятельность ВУЗов на современном этапе реформирования высшей школы». Сборник научных трудов СПбГУСЭ 2007г.
3. Росляков В.И. Оптимизация систем технического обслуживания и обеспечение работоспособности бытовой техники. «Технико-технологические проблемы сервиса» №1(11) СПбГУСЭ, 2010г.
4. Хазов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчёту надёжности машин на стадии проектирования. М. Машиностроение, 1986г.- 224с.

<sup>1</sup> Росляков Валерий Иванович, к.т.н., доцент, доцент кафедры “Сервис торгового оборудования и бытовой техники” СПбГУСЭ. Тел.: (812) 700-72-16.