

УДК 623.415.8.008

© Балагуров Ю.Ф.

УТОЧНЕНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫМИ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМОГО КОЛИЧЕСТВА ИХ ДЕФИЦИТОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Приводятся уточненный традиционный контур иерархической трехэшелонной системы обеспечения ракетных комплексов восстанавливаемыми запасными частями путем добавления их во второй и третий эшелоны соответствующих ремонтных органов и метод определения ожидаемого числа возможных дефицитов запасных частей на объекте эксплуатации комплекса.

Важнейшим звеном задач управления запасами является регулирование возникающего дефицита запасных частей на объектах эксплуатации ракетных комплексов (РК). Часто на практике органам военного управления РВСН, заказывающим управлениям и службам начальника вооружения для принятия качественных управленческих решений по созданию необходимых запасов ЗИП и их рациональному использованию на всех стадиях жизненного цикла РК необходимо знать обоснованную количественную оценку возможных возникновений дефицитов запасных частей того или иного наименования на различных объектах эксплуатации за определенный промежуток времени.

По проведенным оценкам ежегодно в Ракетных войсках (РВ) осуществляется порядка 450 и более случаев срочных доставок из промышленности и арсеналов (региональных баз) РВ запасных частей специального и общепромышленного назначения из-за их полного израсходования на объектах эксплуатации. В основном дефицит возникает по наиболее расходным приборам СУ, САЭ, СБУ, СОП и ряду других составных частей РК как стационарного, так и мобильного базирования. Это приводит, как правило, к невозможности выполнения плановых мероприятий (ТО, ДПП и т. п.) и ремонтно-восстановительных работ на вооружении и военной техники (ВВТ) в установленные эксплуатационной до-

кументацией сроки, нарушению технологических процессов, снижению заданной надежности и готовности комплексов к применению [1]. При этом становится существенной доля затрат, необходимых для компенсации потерь готовности $\Delta \hat{\kappa}_{\delta\delta}^i$ ($\Delta \hat{\kappa}_{\delta\delta}^i = \frac{t_{ож}}{T_3}$) в $\kappa_{\delta\delta}^{mpi}$ из-за отсут-

ствия i -х запасных частей на объектах эксплуатации [6]. В приведенной зависимости $t_{ож}$ – время ожидания запасных частей в случае их отсутствия на объекте эксплуатации для устранения отказа на ракетном вооружении за период эксплуатации T_3 . Оно распределено по закону Пуассона [5]

$$P\{x = m\} = \frac{(\lambda N t)^m}{m!} e^{-(\lambda N t)},$$

который является приемлемой моделью для описания случайного числа появления определенных редких событий (отказов) в фиксированном промежутке времени для восстанавливаемых систем или отказа типа сбой.

Снижение же показателя надежности боевого дежурства РК $\kappa_{\delta\delta}^{TP}$ из-за отсутствия на объекте необходимого ЗИП может быть компенсировано, в смысле безусловного выполнения боевой задачи из установленной степени готовности заданным числом ракет, привлечением дополнительного числа ΔN ПУ (АПУ) ($\Delta N = N \frac{t_{ож}}{T_3 \kappa_{\delta\delta}^{mp}}$).

В этом случае затраты $C^{\Delta N}$, необходимые для изготовления и эксплуатации ΔN ПУ (АПУ), компенсирующие потери заданной готовности из-за дефицита запасных частей, могут быть найдены по зависимости [6]

$$C^{\Delta N} = \bar{C}_N \Delta N.$$

Балагуров Юрий Федорович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник 4 ЦНИИ МО РФ.

Согласно реализованных в РВ принципов комплектования и управления (эшелонирования) запасными частями, направленными на минимизацию простоя ВВТ РК, неисправный прибор (блок, узел, агрегат) немедленно заменяется взятым из группового или ремонтного комплектов ЗИП, а сам поступает в ремонтный орган. В зависимости от сложности ремонта: на предприятие-изготовитель или в войсковую ремонтную мастерскую. После ремонта прибор возвращается на объект эксплуатации РК, пополняя имеющиеся запасы.

В имеющихся работах по данному вопросу количество неудовлетворенных заявок на запасные части за расчетный период включены в общие оптимизационные модели по расчету количества составных частей в комплектах ЗИП и периодичности их пополнения с использованием методов математического программирования и теории управления запасами. В этих моделях дефицит учитывается в экономических составляющих целевой функции, представляющей собой математическое ожидание издержек функционирования системы обеспечения запасами, включающих затраты на эксплуатацию, плановое и срочное пополнение войсковых запасов, а также затраты, обусловленные простоем ПУ (АПУ) РК из-за возможного дефицита ЗИП [2, 5, 6]. В то же время методы непосредственного определения ожидаемого количества дефицитов восстанавливаемых запасных частей на объектах эксплуатации РК в имеющихся наработках и научно-методической литературе для военных систем (в частности, для ВВТ РК СН) пока не нашли должного отражения.

Для расчета дефицита (определения задержки восполнения запасными частями рассматриваемой номенклатуры) уточним существующую трехэшелонную модель обеспечения ВВТ РК восстанавливаемыми в ремонтных органах в порядке рекламаций составными частями из комплектов ЗИП, которая, по мнению автора, будет наиболее полно отражать протекающие процессы снабжения запасными частями в РВ. Структура иерархической трехэшелонной системы обеспечения РК восстанавливаемыми запасными частями с ремонтными органами во 2-м и 3-м эшелонах приведена на рис.1. Для упрощения на рисунке показаны одно предприятие промышленности, один арсенал и один объект эксплуатации, а также движение номенклатуры одного наименования с пуассоновским распределением спроса (единичные заявки на запасные части рассматриваемого наименования). Времена между событиями распределены экспоненциально с параметром $\lambda(t) = \lambda$, ($\lambda > 0$).

Новым для описываемого объекта исследования

является включение в традиционный для Ракетных войск контур иерархической трехэшелонной СОЗ ремонтных органов по восстановлению рекламируемых приборов на различных эшелонах системы, что позволило с использованием методов теории массового обслуживания производить балансировку (оптимизацию) между величинами создаваемых в войсках запасов рекламируемых составных частей и минимальным временем их восстановления в ремонтных органах.

Спрос в высших эшелонах СОЗ в основном формируется спросом нижестоящих звеньев, то есть спросом запасных частей для восстановления работоспособности ВВТ РК на объектах эксплуатации. Недопоставка приборов приводит к израсходованию и уменьшению созданных на объектах эксплуатации запасов приборного состава, а вероятность простоя ПУ (АПУ) из-за их отсутствия возрастает.

Специфичность и сложность задач управления восстанавливаемыми запасными частями РК СН, многогранность возникающих в связи с этим математических задач расчета ЗИП обуславливают необходимость разработки собственных методов и методик расчета, отличных от имеющихся.

Например, для командования тыла ВВС США исследовательской группой RAND Corporation была разработана методика METRIC по эшелонированному (двухуровневому) управлению восстанавливаемыми запасными частями. Она позволила оценивать ожидаемое число задержек по составным частям и проводить их минимизацию на базах, а также считать общие вложения в ЗИП. Управление запасными частями в базовой модели не рассматривалось [3]. В модели METRIC реального времени, базирующейся на эвристических правилах (предложена Миллером [4]), акцент делался на распределении отремонтированных приборов по базам. При этом минимизировалось общее число возможных дефицитов на базе за прогнозируемое время T доставки прибора из промышленности на объект эксплуатации. Имитационное моделирование показало, что предложенная стратегия на 30% снижает ожидаемое число дефицитов для приборов с высоким спросом (более одного в месяц). В среднем же число дефицитов сократилось на 20%.

Аналогичные модели для сложных систем (двухэшелонная система с экстренными доставками, трехуровневая METRIC, децентрализованная система и другие стратегии управления запасами на базах и в депо) рассмотрены в [2] Ю.И. Рыжиковым. Им получены выражения средних времен задержек и ожидаемых дефицитов при заданных бюджетных ограничениях.

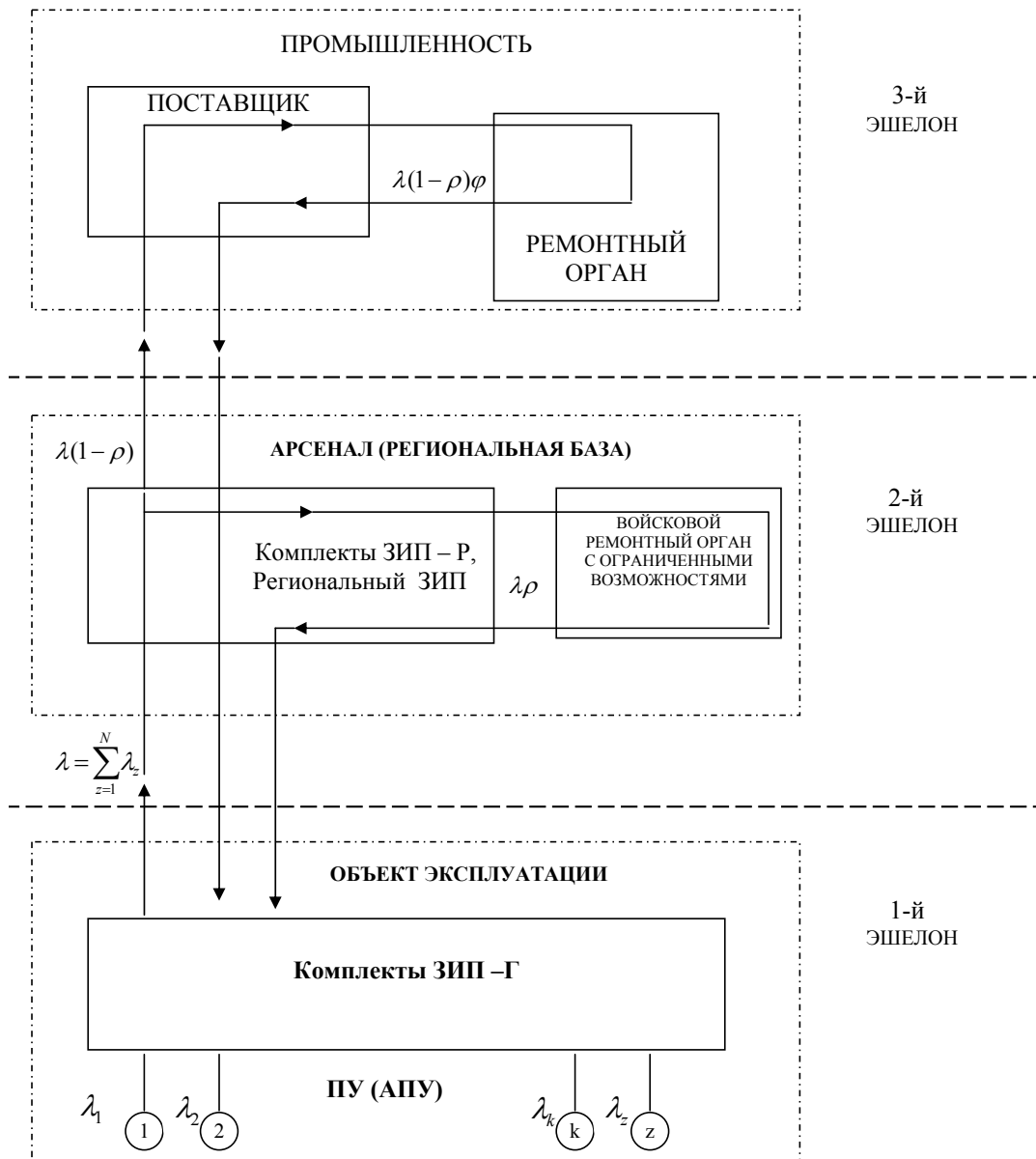


Рис.1. Структура иерархической трехэшелонной системы обеспечения РК восстанавливаемыми запасными частями с ремонтными органами во 2-м и 3-м эшелонах

На рисунке приведены следующие обозначения:

$z = \overline{1, N}$ – количество ПУ (АПУ) на объекте эксплуатации;

λ – суммарная интенсивность спроса рекламируемых приборов;

ρ, φ – соответственно вероятности того, что прибор будет ремонтироваться в войсковом ремонтном органе (ВРО), в промышленности;

$\lambda\rho$ – интенсивность спроса приборов, ремонтируемых в войсковом ремонтном органе;

$\lambda(1-\rho)$ – интенсивность спроса приборов, не ремонтируемых в ВРО;

$\lambda(1-\rho)\varphi$ – интенсивность спроса ремонта приборов в промышленности (при $\varphi = 1$ ремонтируются все

приборы).

С учетом полученных в указанных выше работах результатов определим ожидаемое число возможных дефицитов запасных частей рассматриваемого наименования в соединениях с однотипными РК, то есть на объектах эксплуатации комплекса.

Последовательность (алгоритм) расчета будет включать следующие этапы:

- определение принятыми в РВ методами величины спроса запасных частей на объектах эксплуатации РК, арсеналах (региональных базах) и в ремонтных органах промышленности с учетом существующей в ракетных войсках структуры системы обеспечения запасами (одиночные, групповые и ремонтные комплекты ЗИП)

и принятой стратегии управления запасными частями, включенными в эти комплекты;

- определение по разработанным зависимостям ожидаемого числа дефицитов восстанавливаемых приборов рассматриваемого наименования на объектах эксплуатации РК за время между очередными заказами на их ремонт.

Далее рассчитываются вероятности состояний системы распределения спроса $\{P_m\}$ и выбранные для оценки вариантов управления запасными частями на объектах эксплуатации показатели эффективности (надежность обеспечения, коэффициент обеспеченности, вероятность немедленной поставки, коэффициент готовности обеспечиваемой техники и т.д.) как функции от нормативного запаса M_j^{ZP} . Например, коэффициент обеспеченности определяется как доля заявок на запасные части, немедленно удовлетворяемая из имеющихся в войсках запасов.

Спрос на рекламируемые приборы i -го типа ($i = \overline{1, I}$) на z -ом изделии ПУ (АПУ) ($z = \overline{1, N}$) на j -м объекте эксплуатации ($j = \overline{1, J}$) предполагается простым пуассоновским с интенсивностями $\{\lambda_{ij}\}$. Спрос прогнозируется по характеристикам надежности ракет, агрегатов и систем РК и результатам их эксплуатации по разработанным моделям и зависимостям [5]. Для случая, когда отказ прибора ведет к отказу изделия, интенсивность отказов ПУ (АПУ) определится из выражения

$$\lambda_{ij} = \sum_{z=1}^N \lambda_{ijz},$$

а вероятность того, что ремонта требует z -е изделие

$$q_{ijz} = \frac{\lambda_{ijz}}{\lambda_{ij}}, \text{ где } j = \overline{0, J}.$$

Состояние уровня войсковых запасов восстанавливаемых приборов в первом эшелоне определяем как их фактическое наличие плюс ранее сделанный, но не выполненный заказ минус число ожидаемых дефицитов запасных приборов. При этом отказавший прибор с вероятностью ρ_{ij} может быть направлен в войсковую ремонтную мастерскую, а с вероятностью φ_{ijPO} – в ремонтный орган промышленности. Нормативные уровни запасных приборов в групповых комплектах ЗИП (ЗИП-Г) на объекте j составляют M_{ij}^{ZP-G} , а среднее время их пополнения T_{ij}^* .

Спрос во втором эшелоне возникает с интенсивностью $\lambda_{iy} = \sum_{j=Y+1}^J \lambda_{ij} \rho_{ijy}$, $j = \overline{Y+1, J}$, $y = \overline{1, Y}$. Нормативные

уровни запасных частей в ремонтных комплектах ЗИП (ЗИП-Р) составляют M_{ij}^{ZP-R} . Отказавший же прибор ремонтируется в войсковом ремонтном органе с вероят-

ностью ρ_{iy} .

Спрос в третьем эшелоне имеет интенсивность

$$\lambda_{i0} = \sum_{j=Y+1}^J \lambda_{ij} \rho_{ij0} + \sum_{y=1}^Y \lambda_{iy} (1 - \rho_{iy}).$$

Пусть для этого эшелона $y=0$. Все прибывшие в ремонтный орган промышленности приборы будут отремонтированы с вероятностью $\varphi=1$, а обменный фонд данных приборов на предприятии включает запасы в объеме M_{i0} .

Учитывая изложенное ожидаемое количество задержек B в третьем эшелоне по i -й номенклатуре может быть определено по зависимости

$$B(M_{i0}, N_i, \lambda_{i0}, T_{i0}) = \sum_{m=M_{i0}+1}^{\infty} (m - M_{i0}) P(m_i | N_i, \lambda_{i0}, T_{i0})$$

или

$$B(M_{i0}, N_i, \lambda_{i0}, T_{i0}) = \sum_{m=M_{i0}+1}^{\infty} (m - M_{i0}) \frac{\alpha^m}{m!} e^{-\alpha},$$

где под знаком суммы понимаем математическое ожидание числа неудовлетворенных заявок на запасные приборы i -го наименования в зависимости от вероятности достаточности запасных частей (0,95; 0,99; 0,999 и т.п.), с которой созданы различные виды комплектов ЗИП для вооружения и военной техники РК;

$P(m/a)$ – вероятность распределения Пуассона при случайном среднем спросе с параметром a (вероятность перехода из состояния a в момент T_{i0} в состояние m). Вероятность того, что спрос на запасные приборы на интервале T_{i0} превысит величину m_i при среднем расходе α_i определится из выражения $1 - P(\alpha_i \leq m_i)$,

$$\text{где } P(\alpha_i \leq m_i) = \sum_{m=0}^{m_i} \frac{\alpha_i^m}{m!} e^{-\alpha_i} \text{ при } \alpha_i > 0.$$

На основании формулы Литтла среднее время задержки в центральном звене (в нашем случае во втором эшелоне) $\Delta T_{i0}^* = B(M_{i0}, N_i, \lambda_{i0}, T_{i0}) / \lambda_{i0}$. Для запасных приборов, хранящихся на арсеналах РВ в комплектах ЗИП-Р и россыпью, это время задержки должно добавляться ко времени пополнения T_{iy0}^* . Тогда величина среднего времени пополнения определится по зависимости

$$\tau_{iy} = T_{iy} \rho_{iy} + (1 - \rho_{iy})(T_{iy} + \Delta T_{i0}), \quad i = \overline{1, I}, \quad y = \overline{1, Y}.$$

Ожидаемое количество возникновений дефицитов запасных приборов во втором эшелоне в этом случае

$$B(M_{iy}, N_i, \lambda_{iy}, \tau_{iy}) = \sum_{m=M_{iy}+1}^{\infty} (m - M_{iy}) P(m_i | N_i, \lambda_{iy}, \tau_{iy}),$$

а среднее время задержки пополнения из-за дефицита

$$\Delta \tau_{iy} = B(M_{iy}, N_i, \lambda_{iy}, \tau_{iy}) / \lambda_{iy}.$$

Наконец, среднее время пополнения на объектах

эксплуатации РК составит

$$\tau_{ij} = T_{ij} \rho_{ij} + (T_{ijy} + \Delta T_{iy}) \rho_{ijy} + (T_{ij0} + \Delta T_{i0})$$

а количество дефицитов запасных приборов

$$B(M_{ij}, N_i \lambda_{ij} \tau_{ij}) = \sum_{m=M_{ij}+1}^{\infty} (m_i - M_{ij}) P(m_i | N_i \lambda_{ij} \tau_{ij}).$$

С учетом изложенного выше суммарное количество ожидаемых дефицитов запасных приборов рассматриваемого наименования на объектах эксплуатации с однотипными РК составит

$$D_{\Sigma} = \sum_{i=1}^I \sum_{z=1}^N \sum_{j=Y+1}^J \sum_{m=M_{ij}+1}^{\infty} (m_i - M_{ij}) P(m_i | N_i \lambda_{ij} \tau_{ij}).$$

Рассмотренный в статье метод по расчету случаев дефицита запасных частей на объекте эксплуатации РК, по мнению автора, будет способствовать развитию и дальнейшему совершенствованию методологического базиса по исследованию эффективности системы обеспечения запасными частями группировки РК в современных условиях и принятию обоснованных управленческих решений по рациональному формированию и эшелонированию запасных частей на объектах эксплуатации комплексов.

Литература

1. Балагуров Ю.Ф., Воскресенский С.Б., Рубан Е.А. Основные факторы, приводящие к возникновению дефицита ЗИП в современных условиях эксплуатации РК и компенсационные меры по его уменьшению. Информационный сборник РВ, 2005.
2. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб: Питер, 2001. – 384с.
3. Sbrbrjke C.C. METRIK : a multiechelone technique for recoverable item control // Operations Research.– 1968. – P.122–141.
4. Miller B.L. Dispatching from depot repair in a recoverable item inventory system: on the optimality of a heuristic rule // Management Scienc.–1974. – P.316–325.
5. Балагуров Ю.Ф., Батурич П.С. Методика оценки достаточности ЗИП для обеспечения продленных сроков эксплуатации изделий, агрегатов и систем. МТД-IV-003-91,-4 ЦНИИ, 1991.–78с.
6. Балагуров Ю.Ф. Выбор и обоснование показателя экономичности системы обеспечения ЗИП для этапа эксплуатации изделий РК.–М.: Стандартизация ВТ, –1993, №1. – с. 44–47.

Материал поступил в редакцию 25. 03. 2008г.