

© Лазарев А.В., Смалюк В.Н.
Lazarev A.V., Smaljuk V.N.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЙ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ ЗАПАСАМИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ

MATHEMATICAL MODELS FOR AN ESTIMATION OF CONDITIONS MULTILEVEL SYSTEM OF MAINTENANCE OF OPERATION OF THE SPECIALIZED COMMUNICATION FACILITY STOCKS OF RESTORED COMPLETING PRODUCTS

Аннотация. Рассмотрены математические модели, позволяющие для восстанавливаемых комплектующих изделий рассчитывать вероятности, которые характеризуют возможные состояния многоуровневой системы обеспечения запасами в процессе обслуживания эксплуатации и применения на рассматриваемых объектах специализированных средств связи. Предложенные модели учитывают взаимовлияние сформированных объемов запасов на различных уровнях системы обеспечения запасами, что позволяет обоснованно управлять процессом формирования запасов в системе в целом.

Annotation. The mathematical models allowing for restored completing products to expect probability which characterize possible conditions of multilevel system of maintenance with stocks during service of operation and application on considered objects of the specialized communication facility are considered. Offered models take into account interference of the generated volumes of stocks at various levels of system of maintenance with stocks that allows is proved to operate process of formation of stocks in system as a whole.

Ключевые слова. Комплектующие, специализированные, связь, запасы, система, уровни, потоки, восстанавливаемые.

Key words. Accessories, specialized, communication, stocks, system, levels, streams, restored.

В условиях нестабильности экономики, недостаточности и неритмичности финансирования, значительного превышения сроков эксплуатации большого количества специализированных комплексов и средств связи (СКСС) свыше гарантийных в настоящее время значительно возросли объем и сложность задач обеспечения войсковых объектов необходимыми запасами комплектующих изделий (КИ). Под комплектующими изделиями понимаются отдельные блоки и элементы комплексов и средств связи, входящие в состав комплектов ЗИП на объектах эксплуатации СКСС.

Усложнение условий эксплуатации СКСС связано с изменением (снижением) коэффициента готовности и вероятности работоспособности как КИ, так и СКСС в целом. Это приводит к росту количества отказов и соответственно возрастанию интенсивности потока требований на запасные КИ.

В существующей системе формирования и управ-

ления запасами комплектующих изделий СКСС, типовая схема которой приведена на рисунке, заложены требования, согласно которым для комплексов, аппаратуры и изделий связи, эксплуатируемых в войсках, должны поддерживаться фиксированные уровни запасов. Эти нормативные уровни запасов формируются без учета сроков снятия изделий с вооружения, изменения количества средств связи в составе объектов, корректировки режимов эксплуатации, доработок и других факторов, воздействующих на систему обеспечения запасами (СОЗ).

Это обуславливает необходимость проведения исследований по поиску эффективных путей и направлений совершенствования системы обеспечения запасами ЗИП с целью поддержания готовности специализированных средств связи на объектах эксплуатации СКСС.

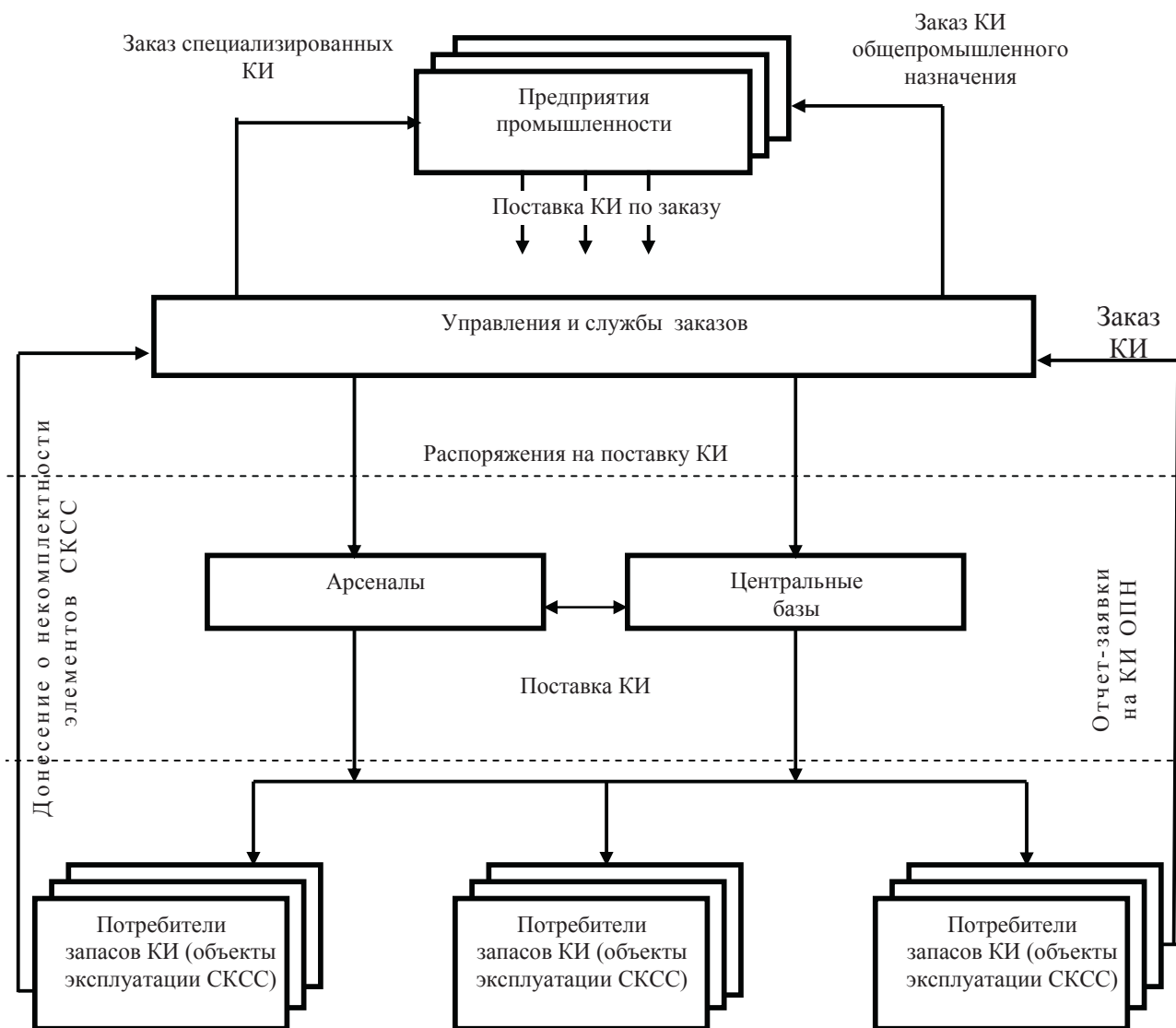
В качестве критерия эффективности функционирования СОЗ целесообразно использовать критерий на основе стоимостных показателей. При этом стоимост-

Лазарев Андрей Владимирович – старший офицер войсковой части 62110-С;

Смалюк Валерий Николаевич – кандидат технических наук, начальник отдела 4 ЦНИИ, тел. 519-73-01.

Lazarev Andrey Vladimirovich - the senior officer of an army part 62110-C;

Smaljuk Valery Nikolaevich – the candidate of technical sciences, the chief of a department 4 ЦНИИ, ph. 519-73-01.



Обобщенная схема управления в системе обеспечения запасами комплектующих изделий специализированных комплексов и средств связи

ные показатели должны включать как затраты на формирование запасов на объектах эксплуатации СКСС, так и возможный ущерб (в стоимостном выражении) из-за простоя и невыполнения своих целевых задач средствами и комплексами связи при отсутствии требуемых КИ.

Ущерб, возникающий вследствие простоя СКСС, зависит от достаточности запасов КИ каждой из номенклатур, находящихся на объектовом уровне (уровень объектов эксплуатации СКСС на рисунке), для обеспечения эксплуатации объектов. В свою очередь, вероятность достаточности (недостаточности) запасов ЗИП зависит от интенсивности потока заявок и интенсивности потока удовлетворения требований на пополнение запасов для каждого из объектов.

Вероятности достаточности (недостаточности) запасов ЗИП рассматриваемых номенклатур КИ на объектах эксплуатации СКСС и базах хранения и ремонта

средств связи характеризуют состояния многоуровневой системы обеспечения запасами комплектующих изделий.

Особенности оценки указанных характеристик зависят от того, являются КИ рекламируемыми (восстанавливаемыми) или нерекламируемыми (невосстанавливаемыми).

В данной статье решается задача оценки состояний многоуровневой системы обеспечения запасами восстанавливаемых комплектующих изделий. К восстанавливаемым КИ относятся комплектующие изделия, при отказе которых предъявляется рекламация и они ремонтируются предприятиями-изготовителями или на базах хранения и ремонта средств связи (БРСС) согласно соответствующим указаниям в эксплуатационной документации на систему и по договорам с заказчиком. На место восстанавливаемого КИ в составе СКСС устанавливается изделие из комплекта ЗИП, хранящегося на объекте.

Многоуровневая система обеспечения эксплуатации СКСС запасами восстанавливаемых КИ представляет собой в классическом понимании многоканальную систему обслуживания, в которой под каналом понимается КИ, размещенное на определенном уровне системы.

В этом случае процесс функционирования многоканальной системы для каждого ее уровня может быть описан системой обыкновенных линейных дифференциальных уравнений Эрланга [1]:

$$\begin{cases} \frac{dP_{o_i}(t)}{dt} = -\lambda_i P_{o_i}(t) + \mu_i P_i(t); \\ \frac{dP_{x_i}(t)}{dt} = -\lambda_i P_{(x_i-1)}(t) - (\lambda_i + x_i \mu_i) P_{x_i}(t) + (x_i + 1) \mu_i P_{(x_i+1)}(t), & (0 < x_i < m_i); \\ \frac{dP_{m_i}(t)}{dt} = -\lambda_i P_{m_i-1}(t) - m_i \mu_i P_{m_i}(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{o_i}(t)$ – вероятность застать систему в момент времени t в состоянии, когда на i -м уровне будет полный объем установленного запаса рассматриваемой номенклатуры комплектующих изделий;

$P_{x_i}(t)$ – вероятность застать систему в момент времени t в состоянии, когда на i -м уровне будет израсходовано x_i КИ;

$P_{m_i}(t)$ – вероятность застать систему в момент времени t , когда на i -м уровне будет полностью израсходован установленный объем запасов КИ;

m_i – установленный объем запасов КИ рассматриваемого наименования для i -го уровня системы;

λ_i – плотность потока требований на рассматриваемую номенклатуру восстанавливаемых КИ для i -го уровня;

μ_i – плотность потока удовлетворения требований на пополнение запасов КИ для i -го уровня.

При установившемся режиме функционирования системы обеспечения запасами КИ, когда $P_{x_i}(t) \rightarrow P_{x_i}$ и

$$\frac{dP_{x_i}(t)}{dt} \rightarrow 0, \quad x_i = \overline{0, m_i},$$

систему (1) дифференциальных уравнений можно представить в виде системы алгебраических уравнений. Тогда для получения зависимостей для оценки P_{x_i} можно воспользоваться формулами Эрланга [2], в соответствии с которыми

$$P_{x_i} = \frac{\lambda_i^{x_i}}{\mu_i^{x_i} x_i! \sum_{x_i=0}^{m_i} \frac{\lambda_i^{x_i}}{\mu_i^{x_i} x_i!}}; \quad (0 \leq x_i \leq m_i). \quad (2)$$

Зависимость (2) определяет предельный закон распределения числа израсходованных восстанавливаемых КИ в зависимости от характера потока заявок (λ_i) и

производительности (μ_i) системы обслуживания на рассматриваемом интервале времени.

Согласно схеме (см. рисунок) оценку состояния запасов КИ в СОЗ целесообразно проводить для двух уровней: первого – объектового и второго – уровня размещения БРСС и арсеналов. Получим зависимости для определения P_{x_i} для каждого из этих уровней системы обеспечения запасами.

Для объектового эшелона (объекта d) с учетом зависимости (2) вероятность израсходования x_d запасных КИ имеет вид:

$$P_{x_d} = \frac{\lambda_d^{x_d}}{\mu_d^{x_d} x_d! \sum_{x_d=0}^{m_d} \frac{\lambda_d^{x_d}}{\mu_d^{x_d} x_d!}}; \quad (0 \leq x_d \leq m_d), \quad (3)$$

где λ_d – плотность потока требований для объекта d на запасные КИ для восстановления работоспособности эксплуатации СКСС;

μ_d – плотность потока удовлетворения требований на пополнение запасов КИ рассматриваемой номенклатуры;

m_d – установленная норма запасов КИ рассматриваемой номенклатуры для d -го объекта.

Плотность потока требований λ_d может быть рассчитана на основе зависимостей, приведенных, в частности, в работе [3].

Вероятность застать систему с полностью израсходованным установленным для объекта d запасом КИ рассматриваемой номенклатуры определяется по зависимости

$$P_{m_d} = \frac{\lambda_d^{m_d}}{\mu_d^{m_d} m_d! \sum_{x_d=0}^{m_d} \frac{\lambda_d^{x_d}}{\mu_d^{x_d} x_d!}}; \quad (0 \leq x_d \leq m_d). \quad (4)$$

В частности, если для объекта установленная норма соответствует одному КИ, то

$$P_1 = \frac{\lambda_d}{\mu_d + \lambda_d}, \quad (5)$$

где P_1 – вероятность застать систему с израсходованным КИ, заложенным на объекте d для восстановления эксплуатируемых СКСС.

Для второго уровня вероятность застать систему с израсходованными на БРСС запасом x_B КИ рассматриваемой номенклатуры определяется по зависимости

$$P_{x_B} = \frac{\left(\sum_{d=1}^S \lambda_d P_{m_d} \right)^{x_B}}{(\mu_B)^{x_B} x_B! \sum_{x_B=0}^{m_B} \frac{\left(\sum_{d=1}^S \lambda_d P_{m_d} \right)^{x_B}}{(\mu_B)^{x_B} x_B!}}; \quad (0 \leq x_B \leq m_B), \quad (6)$$

где S – количество объектов, обслуживаемых рассматриваемой БРСС;

λ_d – плотность потока требований на запасные КИ рассматриваемой номенклатуры для d -го объекта;

μ_B – плотность потока удовлетворения требований на пополнение запасов КИ рассматриваемой номенклатуры для БРСС второго уровня СОЗ;

m_B – установленная норма запаса рассматриваемой номенклатуры КИ для БРСС второго уровня.

Учет в формуле (6) вероятности P_{m_d} , оценивающей состояние системы, когда на объекте d полностью израсходован запас КИ рассматриваемой номенклатуры, позволяет обеспечить формирование запасов на втором уровне СОЗ с учетом реального состояния обеспечения запасами на объектовом уровне системы.

Зависимость для вероятности заставить систему с полностью израсходованным установленным для рассматриваемой БРСС второго уровня запасом рассматриваемой номенклатуры КИ в соответствии с (6) запишется в виде

$$P_{m_B} = \frac{\left(\sum_{d=1}^S \lambda_d P_{m_d}\right)^{m_B}}{(\mu_B)^{m_B} m_B! \sum_{x_B=0}^{m_B} \frac{\left(\sum_{d=1}^S \lambda_d P_{m_d}\right)^{x_B}}{(\mu_B)^{x_B} x_B!}}. \quad (7)$$

При норме запаса на БРСС, равного одному КИ, для вероятности заставить второй уровень системы с нулевым запасом выражение запишется:

$$P_1 = \frac{\sum_{d=1}^S \lambda_d P_{m_d}}{\mu_B + \sum_{d=1}^S \lambda_d P_{m_d}}. \quad (8)$$

Для определения состояния СОЗ по обеспечению КИ СКСС, функционирующих на специализированных объектах кроме вероятностей, оцениваемых по выражениям (2–8), зачастую требуется определение вероятностей, характеризующих состояние системы, когда коли-

чество запасных КИ с учетом их расхода и пополнения на соответствующих ее уровнях будет больше или равно определенному значению. Обозначим указанные значения объемов запасов КИ для объектового (первого) уровня через z , для второго – через g .

Тогда в соответствии с зависимостями (3), (6) математические модели для определения $P(m_i \geq z)$, $P(m_i \geq g)$ будут иметь вид

$$P(m_d \geq z) = \sum_{j=0}^{m_d-z} \frac{\lambda_d^j}{\mu_B^j j! \sum_{x_d=0}^{m_d} \frac{\lambda_d^{x_d}}{\mu_B^{x_d} x_d!}}; \quad z \leq m_d; \quad (9)$$

$$P(m_B \geq g) = \sum_{j=0}^{m_B-g} \frac{\left(\sum_{d=1}^S \lambda_d P_{m_d}\right)^j}{\mu_B^j j! \sum_{x_B=0}^{m_B} \frac{\left(\sum_{d=1}^S \lambda_d P_{m_d}\right)^{x_B}}{(\mu_B)^{x_B} x_B!}}; \quad g \leq m_B. \quad (10)$$

Наличие в выражении (10) вероятности P_{m_d} , характеризующей состояние объекта d ($d = \overline{1, S}$), позволяет учесть при формировании запасов рассматриваемой номенклатуры КИ на втором уровне СОЗ состояние обеспеченности запасами на объектах эксплуатации СКСС.

Полученные математические модели позволяют для восстанавливаемых комплектующих изделий с учетом плотности потока пополнения рассчитать вероятности, которые характеризуют возможные состояния многоуровневой (в рассмотренном случае - двухуровневой) системы обеспечения запасами в процессе обслуживания эксплуатации и применения на рассматриваемых объектах специализированных средств связи.

Новизна предложенных математических моделей заключается в учете взаимовлияния установленных (сформированных) объемов запасов на различных уровнях СОЗ, что позволит обоснованно управлять процессом формирования запасов в системе в целом.

Литература

1. Новиков О. А., Петухов С. И. *Прикладные вопросы теории массового обслуживания*. – М.: Сов. радио, 1969. – 400 с.
2. Ивченко Г. И., Капитанов В. А., Коваленко И. Н. *Теория массового обслуживания*. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.
3. Громов О. Г., Батулин П. С., Смалюк В. Н. *Методический подход к оценке интенсивности потока требований на запасные технические материальные средства в процессе функционирования ВВТ // Двойные технологии*. – 2003. – № 2. – С. 66 – 69.

Материал поступил в редакцию 30. 08. 2009 г.