

УДК 263.74

doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.041

М.И. Яцечко, С.В. Ипполитов, Р.В. Репин, В.А. Малышев
**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ
ОБСЛУЖИВАНИЕМ ГРУППОВОГО ОБЪЕКТА**
*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия*

В статье рассмотрен алгоритм организации инженерно-авиационного обеспечения на примере системы технического обслуживания группового объекта. Суть данного алгоритма заключается в правиле назначения приоритетов. Выявлено три правила назначения приоритетов. Первое правило назначения приоритета для элемента, который принимал участие в выполнении предыдущей заявки. Второе правило назначения приоритета для того элемента, который обслуживался или ремонтировался последним. Третье правило назначения приоритета выбирается случайным образом. Определены показатели эффективности системы обслуживания группового объекта, такие как: среднее время подготовки группового объекта, среднее число необслуженных заявок и среднее число восстановлений, произведенных в групповом объекте. На основе выбранных показателей произведено сравнение эффективности системы подготовки систем технического обслуживания групповых объектов с различными правилами назначения приоритетов. Показано, что каждое правило назначения приоритетов имеет свои достоинства. Если для группового объекта имеет значение время подготовки, то применяем первое правило назначения приоритетов, а если при подготовке группового объекта имеет значение вероятность отказа, то целесообразно применять второе правило. В настоящий момент при подготовке применяется третье правило, которое не требует затрат на создание автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: техническое обслуживание, авиационная техника, групповой объект, приоритет.

Введение. Повышение эффективности эксплуатации современной боевой авиационной техники является весьма важной и актуальной проблемой, которая напрямую зависит от времени технического обслуживания авиационной техники (ТО АТ). Ее решение в настоящее время проводится по таким направлениям, как: совершенствование методов и программ технической эксплуатации, повышение качества средств технической эксплуатации, совершенствование эксплуатационных характеристик авиационной техники, совершенствование организации различных видов обеспечения[1].

Следует отметить недостаточное внимание вопросам организации ТО групповых объектов, решение которых может внести заметный вклад в

решение проблемы повышения эффективности эксплуатации авиационной техники [2]. Цель работы заключается в повышении эффективности управления техническим обслуживанием групповых объектов. В работе выполнены две задачи. Первая задача, в которой система управления техническим обслуживанием группового объекта рассмотрена как система массового обслуживания и определены показатели качества функционирования группового объекта. Вторая задача, в которой рассмотрены подходы к назначению приоритетов при техническом обслуживании элементов группового объекта.

Постановка задачи исследований. В качестве объекта исследования рассматривается техническая система, предназначенная для обслуживания последовательно поступающих целевых заявок. Будем называть такую систему групповым объектом, если она представляет собой совокупность однотипных элементов, часть из которых (подгруппа) используется для обслуживания поступившей заявки (Рисунок 1).

Предполагается, что для обслуживания очередной поступившей заявки групповым объектом, содержащим n элементов, требуется выделить подгруппу, состоящую из k элементов. Будем также считать, что заявки поступают периодически, с интервалом τ и для обслуживания любой из них элементы последовательно проходят подготовку к применению, каждый в течение времени t_1 . Подготовка очередного элемента заканчивается достоверным контролем его технического состояния, позволяющим определить работоспособность исследуемого элемента. Примем, что поток отказов каждого элемента пуассоновский, с одинаковым для всех элементов параметром потока отказов λ на протяжении всего периода эксплуатации [3].

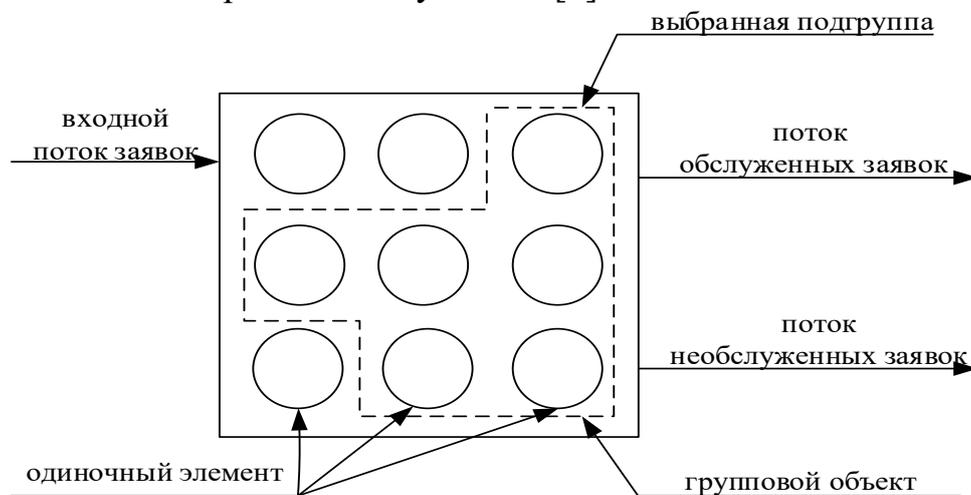


Рисунок 1 – Модель группового объекта

Таким образом, результатом контроля является либо обнаружение отказа, либо подтверждения исправного состояния элементов. В случае обнаружения отказа элемента снимается с подготовки и по возможности заменяется одним из оставшихся $n - k$ элементов, а его восстановление происходит после завершения процесса подготовки группового объекта. При этом считается, что элементы у которых был обнаружен отказ при подготовке, восстановление завершается к моменту поступления следующей заявки [4].

Граф состояний одиночного элемента изображен на Рисунке 2.

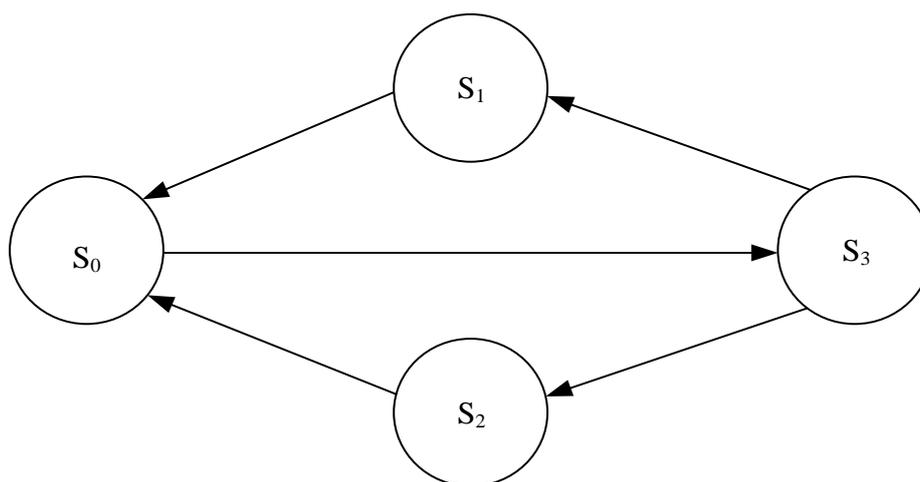


Рисунок 2 – Граф состояний одиночного элемента

На Рисунке 2 приведены следующие состояния:

- S_0 – ожидание заявки;
- S_1 – применение элемента;
- S_2 – ремонт элемента;
- S_3 – подготовка элемента.

На процесс подготовки группового объекта наложено ограничение

$$T_{подг.} \leq T_{подг.}^{\max}, \quad (1)$$

где $T_{подг.}$ - время подготовки;

$T_{подг.}^{\max}$ - максимальное время подготовки.

Заявка считается обслуженной только в случае, когда за время $T_{подг.} \leq T_{подг.}^{\max}$ удастся подготовить k работоспособных элементов.

Правило назначения приоритетов. Управление процессом технического обслуживания группового объекта в данной модели заключается в построении алгоритма выбора последовательности элементов для подготовки к выполнению задания. Любой такой алгоритм представляет собой правило назначения приоритетов между элементами системы, при этом последовательный выбор элементов производится в порядке убывания приоритетов. На Рисунке 3 изображен процесс обслуживания групповым объектом потока заявок. Поступление заявки включает алгоритм, упорядочивающий подготовку элемента по приоритетам. После этого начинается процесс подготовки, представляющий собой последовательность подготовок одиночных элементов.

По окончании процесса подготовки l объектов подлежат восстановлению, а m готово к применению. Числа m и l связаны соотношением:

$$(m + l)t_1 \leq T_{подг.}^{\max} \quad (2)$$

Если $m = k$, то заявка обслуживается, иначе ($m < k$) заявка считается необслуженной.

Для каждого задания правило назначения разделяет групповой объект на 2 части. Первая часть представляет собой множество элементов, прошедших контроль при подготовке к j -му заданию. Вторая часть состоит из элементов, не прошедших контроля; об их техническом состоянии ничего не известно. Увеличение частоты выбора данного элемента для обслуживания заявок оказывает двойное влияние на функционирование группового объекта. С одной стороны, вероятность его работоспособного состояния к моментам применения по назначению увеличится, что должно привести к улучшению всех трех показателей эффективности функционирования системы. С другой стороны, в случае отказа данного элемента придется использовать другие элементы, контроль которых стал производиться реже и вероятность их отказа возросла, что приводит к ухудшению показателей эффективности группового объекта.

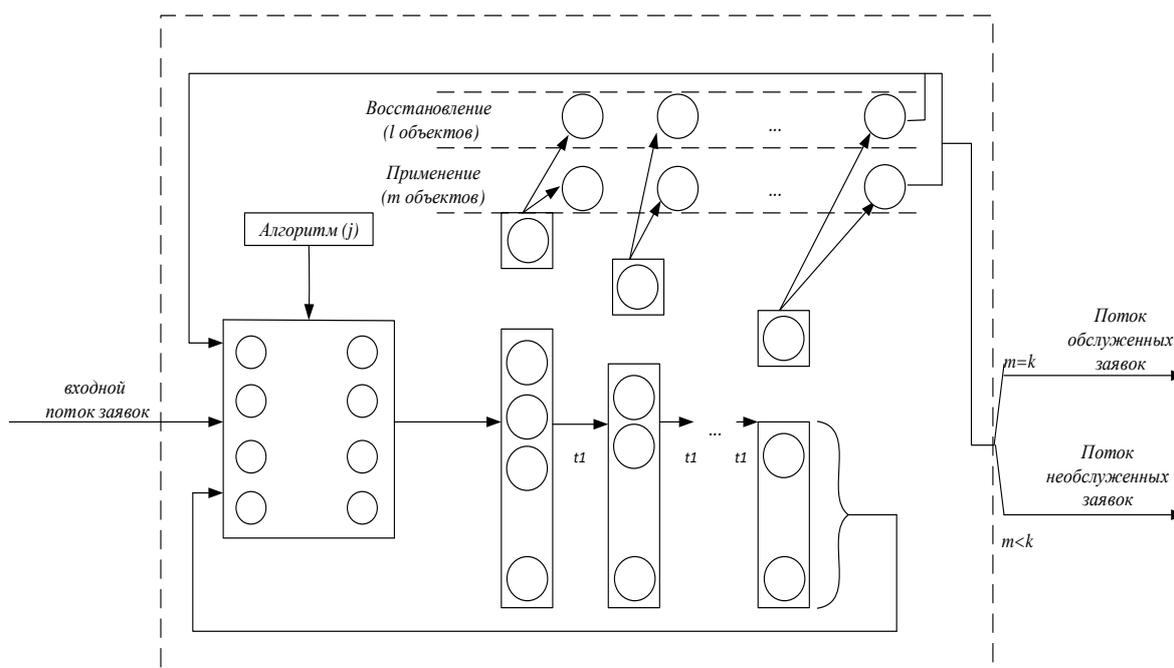


Рисунок 3 - Процесс обслуживания групповым объектом потока заявок

Для того, чтобы произвести анализ влияния правила назначения приоритетов на качество функционирования группового объекта, имеет смысл наложить дополнительное ограничение на длительности этапов его эксплуатации. Именно, часть временного интервала, в течение которого групповой объект задействован на подготовке, обслуживании и ремонте - τ_3 должна быть значительно меньше длины интервала между заявками $\tau: \tau_3 \ll \tau$. Таким образом, основная масса отказов на интервале между последовательными заявками $[j\tau, (j+1)\tau]$ придется на период ожидания следующей заявки $[j\tau + \tau_3, (j+1)\tau]$. На большом отрезке обслуживания системы это предположение означает, что длительность «простоя» одиночного элемента под воздействием потока отказов без промежуточного контроля пропорциональна числу заявок, на которых данный элемент не задействован [5].

Произведем анализ функционирования системы для различных управляющих алгоритмов. Для этого, не ограничивая существенно общности постановки задачи, положим $n = 2, T_{подг.}^{max} = 2t_1$. Для того, чтобы показатели качества зависели от правила назначения, необходимо положить $k = 1$.

При поступлении j -ой заявки в момент времени $j\tau$ согласно используемому алгоритму, начинается подготовка одного из элементов. Будем в дальнейшем называть его элементом с большим приоритетом. В момент контроля $j\tau + t_1$ он может находиться в одном из двух состояний: отказа либо работоспособности. Обозначим вероятность первого события через P_1^j , тогда вероятность второго - $1 - P_1^j$. Аналогично, для элемента P_2^j , работоспособности - $1 - P_2^j$. Отметим, что если элемент с большим приоритетом обслужил поступившую заявку, то возможное состояние отказа другого элемента не будет зафиксировано, т.к. его подготовка и контроль проводиться не будут, но при проведении расчетов отказ элемента с меньшим приоритетом и вероятность возникновения такого события к моменту контроля $j\tau + 2t_1$ необходимо учитывать [2].

Показатели качества функционирования группового объекта. Качество функционирования группового объекта может оцениваться следующими тремя показателями:

- 1) среднее время подготовки, приходящееся на обслуживание j заявок - T_{cp}^j :

$$T_{cp}^j = \sum_{i=1}^j (t_1 + P_1^i \cdot t_1) = t_1 \sum_{i=1}^j (1 + P_1^i) \quad (3)$$

- 2) среднее число необслуженных заявок из j поступивших - N_n^j :

$$N_n^j = \sum_{i=1}^j P_1^i \cdot P_2^i \quad (4)$$

- 3) среднее число восстановлений, произведенных в групповом объекте, приходящееся на j заявок:

$$N_p^j = \sum_{i=1}^j [0 \cdot (1 - P_1^i) + 1 \cdot P_1^i \cdot (1 - P_2^i) + 2 \cdot P_1^i \cdot P_2^i] = \sum_{i=1}^j [P_1^i + P_1^i \cdot P_2^i] \quad (5)$$

В соответствии с условием $\tau_s \leq \tau$ можно принять $\tau_s = 0$. Для наглядности дальнейших рассуждений будем считать, что время

подготовки элемента $t_1 \leq \tau_3$ отлично от нуля, а после получения расчетных формул для P_1^i, P_2^i положим в них $t_1 = 0$.

Рассмотрим алгоритм назначения приоритетов по случайному закону с вероятностью 0,5 больший приоритет присваивается элементу №1. Тогда рекуррентные зависимости для P_1^j, P_2^j примут вид:

$$P_1^j = (1 - P_1^{j-1}) \cdot [P(l_j = l_{j-1}) \cdot P_2^{j-1} + (1 - e^{-\lambda\tau}) + (1 - P(l_j = l_{j-1})) \cdot (P_2^{j-1} + (1 - P_2^{j-1}) \cdot (1 - e^{-\lambda(\tau-t_1)}))] + P_1^{j-1} (1 - e^{-\lambda(\tau-t_1)}), P_1^1 = P_{n1} \quad (6)$$

$$P_2^j = (1 - P_1^{j-1}) \cdot [(1 - P(l_j = l_{j-1})) \cdot (1 - e^{-\lambda(\tau+t_1)}) + P(1 - P(l_j = l_{j-1})) \cdot (P_2^{j-1} + (1 - P_2^{j-1}) \cdot (1 - e^{-\lambda\tau}))] + P_1^{j-1} (1 - e^{-\lambda\tau}), P_2^1 = P_{n2} \quad (7)$$

где $-P(l_j = l_{j-1})$ - вероятность того, что на j -ом и на $j-1$ -ом шаге распределения приоритетов по элементам совпаду.

Можно показать, что $P(l_j = l_{j-1}) = 0,5$. После этой подстановки формулы примут вид:

$$P_1^j = 1 - e^{-\lambda\tau} [(1 - P_1^{j-1}) \cdot 0,5 \cdot (1 - e^{-\lambda t_1} (1 - P_2^{j-1})) + P_1^{j-1} e^{\lambda t_1}], P_1^1 = P_{n1} \quad (8)$$

$$P_2^j = 1 - e^{-\lambda(\tau+t_1)} [(1 - P_1^{j-1}) \cdot 0,5 \cdot (1 + e^{-\lambda t_1} (1 - P_2^{j-1})) + P_1^{j-1} e^{\lambda t_1}], P_2^1 = P_{n2} \quad (9)$$

Подставляя в формулы (3) - (5) вместо P_1^i и P_2^i их выражения для каждой из стратегий, получим значения критериев эффективности T_{cp}^j, N_n^j, N_p^j в виде суммы рекуррентно заданных величин.

Полученные выражения удобно использовать для имеет точных расчетов, когда число заявок невелико. Однако чаще встречается ситуация, в которой за время эксплуатации групповому объекту приходится участвовать в обслуживании большого количества заявок. В этом случае имеет смысл говорить об установившемся режиме функционирования группового объекта.

Заменим в формулах (7) и (8) - вероятности P_1^i и P_2^i на P_1 и P_2 , $P_1 = \lim_{j \rightarrow \infty} P_1^j$, $P_2 = \lim_{j \rightarrow \infty} P_2^j$ и положим, в соответствии со сказанным выше, $t_1 = 0$. При этом рекуррентные зависимости (7) и (8) превращаются в системы двух уравнений с двумя неизвестными P_1, P_2 . Разрешая эти

системы, получим формулы для вероятностей отказов $P_1 = P_1(S_m, \lambda\tau)$ и $P_2 = P_2(S_m, \lambda\tau)$, где S_m - алгоритм выбора, $m = \overline{1, 3}$.

В установившемся режиме в качестве показателей эффективности стратегий можно рассматривать их среднее значения, приходящиеся на одну заявку. При этом показатель N_n можно также интерпретировать как вероятность отказа от обслуживания произвольной заявки [1].

Таким образом, для установившегося режима показатели эффективности примут следующий вид:

$$P_1 = 0,5 - e^{-\lambda\tau} + \sqrt{e^{2\lambda\tau} + e^{\lambda\tau} - 1,75} \quad (10)$$

$$P_2 = P_1 \quad (11)$$

$$T_{cp} = t_1(1,5 - e^{\lambda\tau} + \sqrt{e^{2\lambda\tau} + e^{\lambda\tau} - 1,75}) \quad (12)$$

$$N_n = -1,5 + 2e^{2\lambda\tau} + (1 - 2e^{\lambda\tau})\sqrt{e^{2\lambda\tau} + e^{\lambda\tau} - 1,75} \quad (13)$$

$$N_p = 2(1 - e^{\lambda\tau})\sqrt{e^{2\lambda\tau} + e^{\lambda\tau} - 1,75} + 2e^{2\lambda\tau} - e^{\lambda\tau} - 1 \quad (14)$$

Кроме представленного правила к присвоению приоритетов могут применяться следующие подходы:

- подход, при котором больший приоритет, участия в выполнении заявки присваивается элементу, участвовавшему в выполнении заявки;
- подход, при котором больший приоритет присваивается элементу вероятностью работоспособного состояния, которого меньше.

Результаты сравнения свидетельствуют о том, что ни одно из рассматриваемых правил присвоения приоритетов не доминирует над остальными по всем, трем показателям одновременно, однако для любого показателя существует приоритет, более предпочтительный по сравнению с применяемым в настоящее время приоритет случайного выбора элементов для обслуживания заявки.

Заключение

Таким образом с целью повышения эффективности системы управления техническим обслуживанием групповых объектов, рассмотрены две задачи. В первой определены показатели качества функционирования групповых объектов, во второй определены подходы к назначению приоритетов очередности обслуживания элементов группового

объекта. Полученные результаты позволяют создать алгоритмы функционирования автоматизированных систем управления техническим обслуживанием авиационной техники, при эксплуатации групповых объектов, учитывающие показатели качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боевые авиационные комплексы и их эффективность: учебник для слушателей и курсантов инженерных ВУЗов ВВС / И.В. Арбузов, О.В. Болховитинов, О.В. Волочаев, И.И. Вольнов, А.В. Гостев, Л.В. Мышкин, Р.Н. Хабиров, В.Л. Шеховцов. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008.
2. Эксплуатация и ремонт авиационной техники. Научно-методические материалы. Под редакцией В.И. Богданова., М.: ВВИА. им. Н.Е. Жуковского, 1990 г.
3. Применение теории массового обслуживания в задачах инженерно-авиационного обеспечения. Писарев В.Н.,: ВВИА. им. Н.Е. Жуковского, 1965 г.
4. Организация автоматизированных систем подготовки авиационного производства. Попов П.М.,: Ульяновск: УлГТУ, 2000 г.
5. Автоматизация диспетчерского управления электроэнергетикой. Руденко Ю.Н.,: М: Издательство МЭИ, 2000 г.

M.I. Yatsechko, S.V. Ippolitov, R.V. Repin, V.A. Malyshev
**AUTOMATION OF CONTROL SYSTEM OF GROUP OBJECT
TECHNICAL SERVICE**

*MESC AF «Military air force academy named after professor
N.E. Zukovskiy and Y.A. Gagarin», Voronezh, Russia*

The article considers the algorithm of organization of engineering and aviation support on the example of the system of group object technical service. The essence of this algorithm is the priority assignment rule. Three priority assignment rules are identified. The first priority assignment rule is for an element that participated in the execution of a previous requisition. The second priority assignment rule is for the element that was last serviced or repaired. The third priority assignment rule is chosen at random. The performance indicators of the group object service system are determined, such as: the average time of preparation of the group object, the average number of unserved requests and the average number of recoveries made in the group object. On the basis of the selected indicators, the comparison of the efficiency of the system of preparation of maintenance systems of group objects with different priority assignment rules is made. It is shown that each priority assignment rule has its advantages. If for a group object there is the value of preparation time, then we apply the first priority

assignment rule, but if in the preparation of the group object there is the value of the probability of failure, it is advisable to apply the second rule. At the moment, the third rule is applied in the preparation, which does not require the cost of creating automated control systems.

Keywords: technical service, aviation equipment, group object, priority.

REFERENCE

1. Combat aircraft systems and their effectiveness: textbook for students and cadets of engineering Universities of the air force / I. V. Arbuzov, O. V. Bolkhovitinov, O. V. Volochaev, I. I. Volnov, A.V. Gostev, L. V. Myshkin, R. N. Khabirov, V. L. Shekhovtsov. M.: Izd. Vvia im. Professor N. E. Zhukovsky, 2008.
2. Operation and repair of aircraft. Scientific and methodical materials. Edited by V. I. Bogdanov. M.: vvia. they. N. E. Zhukovsky, 1990
3. Application of the theory of Queuing in the problems of engineering and aviation support. Pisarev, V. N.: VVIA. they. N. E. Zhukovsky, 1965
4. Organization of the automated systems of training of aviation production. Popov P. M.,: Ulyanovsk:UISTU, 2000
5. Automation of dispatching control of electric power industry.
6. Rudenko Y. N.: M: Publishing house MEI, 2000