

## ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСНЫМ ФОНДОМ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ АВИАКОМПАНИИ

### OBJECTIVES OF MANAGEMENT OF THE SPARE FUND IN THE SYSTEM OF TECHNICAL OPERATION OF AIRCRAFT AIRCRAFT

*A. Klepikov*

#### Annotation

The article explores the possibility of applying classical methods of inventory management to the calculation of the optimal level of supply of spare parts for the airline and the calculation of the current and insurance stocks in physical terms at the warehouse of spare parts and components using common statistical methods, as well as evidence supporting documentation of maintenance programs.

**Keywords:** civil aviation, inventory management, technical operation, spare parts, current stock indicators, "critical ratio", current stock standards, optimal (economical) delivery size, customs regime.

*Клепиков Андрей Анатольевич*

*Соискатель, Доцент, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*

#### Аннотация

В статье исследуется возможность применения классических методов управления запасами к расчету оптимального уровня поставок запасных частей для авиакомпании и расчета нормы текущего и страхового запасов в натуральном выражении на складе запасных частей и комплектующих с применением общих статистических методов, а также данных доказательной документации программ технического обслуживания.

#### Ключевые слова:

Гражданская авиация, управление запасами, техническая эксплуатация, запасные части, показатели текущего запаса, "критическое соотношение", нормы текущего запаса, оптимальный (экономичный) размер поставки, таможенный режим.

**З**адачи управления фондом запасных частей и комплектующих совершенно различны в видах авиации. Указанные различия определяются функциями видов авиации, которые формируют разные эксплуатационные технологические процессы, при этом, типы эксплуатируемых воздушных судов могут быть одинаковыми.

Эксплуатация авиатехники государственной авиации может, например, предполагать ее использование в боевых условиях или условиях чрезвычайных ситуаций, с решением задач восстановления авиационной техники вне базы.

Гражданская авиация, авиатранспортный бизнес являются одним из самых высокобюджетных и рискованных видов предпринимательской деятельности, являющегося как фактором, так и следствием глобализации мировой экономики.

Высокий бюджет авиапредприятий определяет экономические риски, при этом в годовом бюджете любой авиакомпании затраты на поддержание летной годности воздушных судов составляют до 25%.

Структура парков воздушных судов практически всех авиакомпаний состоит из воздушных судов, находящихся в лизинге, что предполагает высокую долю постоянных затрат (до 45%) в бюджете доходов и расходов авиакомпании, а это сильный производственный левверидж, который значительно повышает риски неэффективной деятельности.

Таким образом, при сравнении государственной авиации и гражданской, основные различия будут определяться географией и суточной интенсивностью полетов, разнообразием климатических зон, критериями безопасности полетов, критериями эффективности и т.д.

В связи с этим, формируются различия в формах технического обслуживания и подготовки к полетам авиационной техники, отличия эксплуатационной и производственной документации авиации различных видов.

В гражданской авиации технологические карты технического обслуживания сгруппированы по двум видам технического обслуживания: оперативное и периодическое. Преобладание методов эксплуатации по состоянию, выводит из оборота понятие капитального ремонта.

Высокая надежность авиатехники и неремонтопригодность компонентов, девальвируют понятия текущего ремонта, который, как правило, сводится к замене неисправного объекта и диагностики новыми методами встроенного контроля.

Многочисленное резервирование и робастность авиационных систем позволяют осуществлять полеты с отложенными неисправностями и последующим их устранением в авиационно-технической базе авиакомпании.

Высокая интенсивность эксплуатации авиатехники гражданской авиации формирует требования к производственной логистике, структурам авиационных – технических баз, комплексов линейных станций технического обслуживания, видам производственного планирования, организации контроля состояния и допуска авиатехники, порядку хранения документации и инструмента, хранению, транспортировке и учету запасных частей и комплектующих.

Указанные задачи формализованы сертификационными требованиями, существующими в гражданской авиации, но остается выбор решений инженерно-авиационного обеспечения полетов, который в значительной степени определяет экономическую эффективность авиатранспортной системы.

Логистические задачи технической эксплуатации авиатехники усложняются наличием таможенных процедур, стоимость которых имеет значительный удельный вес в расходах на поддержание летной годности и себестоимости летного часа или рейса.

Задачи логистики складирования запасных частей и комплектующих группируются на две группы: управление запасами и логистика складирования [7].

Если говорить о классификации запасов запасных частей (как материальных запасов), то их можно считать производственными запасами (manufacturing inventory), а в случае продаж доступа к складу других эксплуатантов – товарными (merchandise inventory). Одновременно, это страховые, гарантийные и резервные запасы (safety stock; stabilization stock).

Наличие условий сезонности эксплуатации (весенне-летняя и осенне-зимняя), предполагает у фонда запасных частей наличие признака сезонных запасов (seasonal inventory).[7].

Осуществление таможенных процедур, с решением задачи выбора таможенного режима, возможность использования собственных провозных емкостей определяют для запасных частей признак транспортных запасов (in-transit inventory, transportation stock).

Если говорить о выборе стратегий управления запасами, то он должен осуществляться в результате расчета показателей запасов с применением экономико-вероятностных (статистических) методов. В результате, как правило, применяются периодические стратегии.

Попробуем применить классические методики управления запасами к задаче управления фондом запасных частей авиатехники.

Для расчета показателей текущего запаса в днях на основе статистических данных, как правило, используют следующие формулы, известные каждому специалисту:

$$T_{T1} = \frac{\sum_{j=1}^N t_i}{N} \quad (1)$$

$$T_{T2} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i Q_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (2)$$

$t_i$  – интервал между двумя смежными поставками в днях;

$Q_i$  – величина  $i$ -й поставки, ед.;

$N$  – количество поставок за рассматриваемый период.

Указанные формулы есть не что иное, как расчет среднего арифметического значения периода поставки (1) и средневзвешенного периода поставки (2).

Кроме расчета средних периодов поставок могут применяться формулы среднеквадратичного отклонения сроков поставок:

$$T_{c1} = x_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{T1})^2}{N}} \quad (3)$$

А также формулы с введенными среднеквадратичными отклонениями среднего срока поставок, рассчитанного по средней арифметической или по средневзвешенной и повторно взвешенной по величине  $i$ -ой поставки:

$$T_{c2} = x_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{T1})^2 Q_i}{N Q_i}} \quad (4)$$

$$T_{c3} = x_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{T2})^2 Q_i}{N Q_i}} \quad (5)$$

Нельзя не отметить расчет страховых запасов по "опоздавшим" партиям:

$$T_{c4} = x_p \frac{\sum_{j=1}^M (t_j - T_{T1}) q_j}{\sum_{j=1}^M Q_j} = x_p \left( \frac{\sum_{j=1}^M t_j Q_j}{\sum_{j=1}^M Q_j} - T_{T1} \right) \quad (6)$$

или

$$T_{c5} = x_p \left( \frac{\sum_{j=1}^M t_j Q_j}{\sum_{j=1}^M Q_j} - T_{T2} \right) \quad (7)$$

$t_i$  – величина интервала, большая или равная среднему значению ТТ, дн.;

$M$  – количество значений  $t_j$  в общем объеме данных (количество "опоздавших" поставок)

Для расчета нормы текущего и страхового запасов в натуральном выражении используются формулы

$$S_T = \lambda T_T \quad (8)$$

$$S_C = \lambda T_C \quad (9)$$

В классической трактовке оптимальный размер запаса должен обеспечить минимум суммы затрат, связанных с закупками ( $C_3$ ) или производством, хранением ( $C_x$ ), потерями из-за возникновения избытка ( $C_{и}$ ) и дефицита ( $C_{д}$ ):

$$C_{\Sigma} = C_3 + C_x + C_{и} + C_{д} \rightarrow \min \quad (10)$$

Затраты на приобретение номенклатурной единицы зависят от наличия начального запаса:

$$C_3 = c(S - S_{НАЧ}) \quad (11)$$

$c$  – стоимость закупки;

$S_{НАЧ}$  – запас номенклатурной единицы перед размещением заказа (обычно равен нулю).

Затраты, связанные с наличием избытка единиц хранения из-за того, что часть его оказывается неиспользуемой, включают в себя затраты на хранение оставшегося запаса, возвратную транспортировку и т.д.:

$$C_{и} = p \int_0^S (S - D) f(D) dD \quad (12)$$

$h$  – удельные затраты, связанные, с содержанием излишков (избыточные расходы на хранение единицы в течение рассматриваемого периода);

$D$  – случайная величина спроса на запчасть с плотностью распределения  $f(D)$ .

Потери из-за возникновения дефицита определяются по формуле:

$$C_{д} = p \int_S^{\infty} (D - S) f(D) dD \quad (13)$$

$p$  – удельные потери от неудовлетворенного спроса на запчасть.

Данные потери для авиакомпании состоят из следующих: постоянные затраты на содержание воздушного судна, лизинговые и страховые платежи, оплата сверх-

нормативной стоянки и сборов по авиационной безопасности, затраты на размещение и питание пассажиров и экипажа, штрафы за невыполненную перевозку и возвраты денежных средств, затраты на устранение неисправностей, экономические потери в виде неполученного дохода и т.д.

Подставив зависимости 11, 12, 13 в 10, получим:

$$C_{\Sigma} = c(S - S_{НАЧ}) + h \int_0^S (S - D) f(D) d(D) + p \int_S^{\infty} (D - S) f(D) dD \quad (14)$$

Для определения оптимальной величины заказа нужно найти экстремум функции:

$$C + h \int_0^S (S - D) dD - p \int_S^{\infty} f(D) dD = 0$$

$$c + hP\{D \leq S\} - p(1 - P\{D \leq S\}) = 0$$

В полученных формулах выражение

$$P\{D \leq S\}$$

– это вероятность того, что  $S$  единиц хранения не будут использованы:

$$P\{D \leq S^*\} = \frac{p - c}{p + h} \quad (15)$$

Полученная формула носит наименование "критическое соотношение", а значение  $S^*$  – значения оптимального количества единиц хранения, которое определяется при  $p < c$ , т.к. предполагается, что потери от отсутствия комплектующей больше затрат на ее приобретение, что соответствует реальной модели, т.е.:

$$\frac{p - c}{p + h} \geq 0$$

Таким образом, приведенный алгоритм можно использовать при оказании провайдерских услуг по техническому обслуживанию и платному доступе контрагента к складу комплектующих и запасных частей.

При длительном хранении произведенные затраты нужно увеличивать на показатель инфляции для учета падения стоимости затраченных денежных средств.

Если склад организуется для поддержания летной годности собственного парка, то оптимальный запас единиц хранения нужно считать отдельно, т.к. для собственного парка данный показатель более прогнозируем.

Для определения оптимального запаса  $S^*$  комплектующих на складе, следует задать или определить закон

распределения вероятности замены оборудования на воздушном судне и параметры этого распределения.

Указанные данные существуют в доказательной документации производителя, на основании которой формируются программа технического обслуживания, либо в материалах контроля изделий инженерно – авиационной службой авиакомпании.

Можно предложить такой вариант расчета  $S^*$ :

Пусть:

- $\lambda$  – интенсивность или параметр отклонений по данным контроля технического состояния изделия;
- $\alpha_{\text{э}}$  – интенсивность эксплуатационных повреждений;
- $k$  – число событий замен при математическом ожидании  $m$ ;
- $n$  – действительное число необходимых замен;
- $S^*$  – число единиц (устройств) в запасном фонде.

При  $\lambda = \text{const}$ ;  $\alpha_{\text{э}} = \text{const}$  вероятность появления ровно  $k$  событий замен при математическом ожидании  $m$  (среднее число блоков подлежащих замене) определяется формулой Пуассона:

$$P_{k,m} = \frac{m^k}{k!} e^{-m}$$

$$\beta = \text{Вер} (S^* > n) = \sum_{k=0}^{S^*} P_{k,m}$$

Задаваясь значением  $\beta$  из доказательной документации программ технического обслуживания или статистического и инженерного анализа, проводимого инженер-

но-авиационной службой авиакомпании, можно рассчитать  $S^*$ .

Для определения в декларации таможенной процедуры необходимо знать следующие сведения о продукции:

- ◆ особенности перемещения товара (ввоз-вывоз);
- ◆ статус товара для таможенных целей (иностран- ный или товар Таможенного союза);
- ◆ условия, на которых он закупается;
- ◆ срок ввоза или вывоза;
- ◆ предназначение и характер товара (цель пере- мещения);
- ◆ перспективы дальнейшего использования това- ра.

Для оценки перспектив использования единиц хране- ния, можно использовать вероятностную характеристику, полученную из формулы 15:

$$P\{D \leq S^*\} = 1 - P\{D \geq S^*\}$$

Полученные соотношения возможно использовать для выбора таможенного режима. Левая часть – вероят- ность длительного хранения, правая – вероятность уста- новки на воздушное судно.

Следующая задача: выбор места расположения и типа склада определяется удаленностью транзитного аэро- порта от базового, частотами рейсов авиакомпании в данный аэропорт, возможностями багажных емкостей воздушных судов авиакомпании, длительностью тамо- женных процедур, базой договоров о провайдерских ус- лугах и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Логистика и управление цепями поставок. Под ред. В.В. Щербачева. Юрайт. 2015 г. УДК 658(075.8)
2. Проектирование логистических систем. Ю.М. Неруш, С.А. Панов, А.Ю. Неруш. Юрайт. 2016.
3. Автоматизация бизнес – процессов в логистике. В.В. Щербачев, А.В. Мерзляк, Е.О. Коскур-Оглы, Питер, 2016
4. Логистика. Теория и практика. Управление цепями поставок. Под. Ред. Проф. Б.А. Аникина, Т.А. Родкиной. Проспект.2014 г.
5. Управление запасами в цепях поставок. А.Н. Стерлигова. ИНФРА-М, 2016 г.
6. Операционный (производственный) менеджмент. А.Н. Стерлигова, А.В.Фель. ИНФРА-М 2012 г
7. Логистика и управление цепями поставок. В.С. Лукинский, В.В. Лукинский, Н.Г. Плетнева. Юрайт. 2016 г.
8. Моделирование систем и процессов. Е.А. Куклев, М.Ю.Смуров, А.Б. Байрамов. Санкт – Петербург. 2015 г.
9. Хозяйственный механизм авиатранспортных предприятий. Под редакцией д.т.н. В.П. Маслакова. Питер. 2015.
10. Надежность и эффективность авиационного оборудования. В.Д. Константинов, В.Г. Воробьев. Москва. Транспорт. 1995 УДК 629.735.017-1 (075-8)
11. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации. Самара. 2011. УДК629.7.05.
12. Инженерные методы вероятностного анализа авиационных и космических систем. Под ред. Д.т.н. К.А.Карла. 2010 г.
13. Выявление причин отказов авиационного оборудования. А.В. Майоров. Транспорт. 1996 г. ISSN 5-277-0565-5
14. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. Машиностроение. 1995. ELR 6297-083