

УДК 519.873

Модель и методика оптимизации объема оборотного фонда запасных частей, обеспечивающего заданные показатели готовности парка воздушных судов

Карасев В. О., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информатика и системы управления»*

*Научный руководитель: Суханов В.А., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информатика и системы управления»*

suhanov@iu1.bmstu.ru

Введение

Обеспечение высокого уровня готовности парка воздушных судов за счет сокращения времени их вынужденных простоев является основной задачей инженерно-технической службы любой авиакомпании. Простои воздушных судов (ВС) могут быть обусловлены выполнением планового технического обслуживания (ТО), непланового ТО (устранением неисправностей), а также являться следствием отсутствия необходимых для выполнения ТОиР запасных частей.

При априорной оценке уровня готовности парка ВС, различные причины простоев учитываются в частных показателях готовности (каждый из которых отражает ту или иную причину простоев), с использованием которых, в свою очередь, рассчитывается уровень готовности в целом. Рассмотрим эти показатели готовности более подробно:

Согласно [1] **Коэффициент готовности** – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Как правило, при вычислении данного показателя не учитываются простои, связанные с ожиданием необходимых запчастей, длительность которых может быть сравнима со временем самого ТО. Для устранения этого недостатка в отечественной учебной литературе [2] дополнительно вводятся следующие коэффициенты:

▪ **Коэффициент готовности изделия при бесконечной системе ЗИП ($K_{Г\infty}$)** - определение этого показателя совпадает с определением коэффициента готовности (далее используется термин « K_G при бесконечном объеме запасов»);

▪ **Коэффициент готовности системы ЗИП ($K_{ГЗИП}$)** - отражает долю времени, в течение которого система ЗИП находится в работоспособном состоянии, то есть все заявки на запасные части удовлетворяются, т.е. данный коэффициент позволяет оценить долю простоев изделия в ожидании запасных частей (далее вместо термина «система ЗИП» используется термин «система материально-технического снабжения (МТО)»).

В современных нормативных документах также введен показатель «коэффициент эксплуатационной готовности», который наилучшим образом характеризует уровень готовности комплекса «воздушное судно – система технической эксплуатации» и учитывает все виды простоев: связанные как с выполнением планового и непланового ТО, так и с ожиданием необходимых запчастей. Приближенную формулу для расчета коэффициента эксплуатационной готовности можно представить как произведение трех показателей:

$$K_{ЭГ} \approx K_{ПП} \times K_{Г\infty} \times K_{ГЗИП}, \quad (1)$$

где

$K_{ПП}$ - коэффициент планируемого применения (отражает долю времени, в течение которого ВС не должно находиться на плановом ТО);

$K_{Г\infty}$ - коэффициент готовности ВС при бесконечной системе МТО (бесконечном объеме запасов);

$K_{ГЗИП}$ - коэффициент готовности системы МТО.

Для обобщенной оценки эффективности пары «изделие- система технической эксплуатации» может быть использован **коэффициент эксплуатационно-экономической эффективности.**

Эксплуатационно-экономическая эффективность - мера совершенства конструкции комплекса (образца) и системы его технической эксплуатации, отражающая взаимовлияние характеристик готовности и стоимости владения.

Приближенную формулу для расчета $K_{ЭЭЭ}$ можно представить в следующем виде:

$$K_{ЭЭЭ} \approx \frac{K_{ЭГ}}{C_{ЭГ}} \approx \frac{K_{ПП} \times K_{Г\infty} \times K_{ГЗИП}}{C_{общ.}}, \quad (2)$$

где

K_{III} - коэффициент планируемого применения (отражает долю времени, в течение которого ВС не должно находиться на плановом ТО);

K_{∞} - коэффициент готовности ВС при бесконечной системе ЗИП (бесконечном объеме запасов);

$K_{ЗИП}$ - коэффициент готовности системы МТО.

$C_{общ.}$ - Отношение общих затрат на обеспечение заданного $K_{ЭГ}$ к стоимости финального изделия. Составляющими частями общих затрат являются затраты на обеспечение заданных K_{III} , K_{∞} и $K_{ЗИП}$;

Таким образом, $K_{ЭЭ}$ – это отношение коэффициента эксплуатационной готовности к величине затрат на обеспечение технической эксплуатации.

Далее более подробно будет рассмотрена задача оптимизации одной из составляющих приведенной выше формулы: $\frac{K_{ЗИП}}{C_{ЗИП}}$, т.е. обеспечение необходимого

$K_{ЗИП}$ при минимальном $C_{ЗИП}$.

Теоретические основы для решения задачи оптимизации объема оборотного фонда запасных частей

Одним из условий обеспечения заданного уровня готовности изделия является поддержание оптимального объема оборотного фонда запасных частей. При этом особый интерес представляет установление зависимости между достигаемым значением $K_{Г}$ (в данном случае - $K_{Г_{ЗИП}}$) и объемом фонда, т.е. его стоимостью.

Исходными данными для расчета значения $K_{Г_{ЗИП}}$ являются:

- данные о составе ВС,
- данные о надежности СЧ (интенсивности отказов),
- данные о среднем времени поставки (ремонта) СЧ,
- данные о начальном объеме запасных частей каждого типа
- данные о модели (стратегии) управления запасами.

Теоретические основы оптимизации объема запасов достаточно подробно рассмотрены в [2],[3],[4],[5]. Так, в [5] подробно рассмотрены вопросы расчета коэффициента готовности системы МТО. В соответствии с приведенной в [5] методикой $K_{Г_{ЗИП}}$ рассчитывается как произведение коэффициентов готовности для каждого типа изделий:

$$K_{гзип} = \prod_{i=1}^M K_{гзип_i}, \quad (3)$$

где

M - число видов (номенклатура) запасных частей),

$K_{гзип_i}$ - коэффициент готовности системы МТО для изделий i -го типа ($i = 1..M$).

Расчетные формулы для оценки коэффициента готовности системы МТО для изделий i -го типа $K_{гзип_i}$ зависят от принятой для данного типа изделий модели управления запасами. Параметром любой модели управления запасами является начальный объем запасов $A_{нач.-непл} = (A_1, \dots, A_M)$ (A_i - величина начального запаса изделий i -го типа, $i = 1..M$).

Существует множество вариантов организации системы МТО. Среди них можно выделить следующие типовые случаи:

- **одиночный запас (О)** – предназначен для восстановления одного образца изделия и размещается вблизи места его эксплуатации
- **групповой запас (Г)** – обслуживает несколько образцов изделия, эксплуатируемых в одном месте или территориально распределённых на незначительное расстояние, так что время доставки запасных частей к каждому из образцов остается приемлемым;
- **двухуровневая система управления запасами (-2У)** – на первом (нижнем) уровне размещаются комплекты одиночного запаса (О), на втором (верхнем) уровне находятся групповые запасы, пополняемые из «условно неиссякаемого внешнего источника» (далее **НИП**). Одиночные запасы могут пополняться либо из за счет групповых запасов либо из внешнего источника .
- **многоуровневая система управления запасами (МУ)** – является развитием двухуровневой системы.

При этом, на каждом уровне могут быть использованы следующие стратегии пополнения запасов:

- **стратегия Периодического пополнения**– запасы восстанавливаются до начального уровня через фиксированные, заранее заданные промежутки времени
- **стратегия Периодического пополнения с экстренными доставками** - запасы восстанавливаются до начального уровня через фиксированные, заранее заданные промежутки времени, кроме того могут проводиться экстренные доставки по определенному признаку при возникновении особых событий

- **стратегия Непрерывного пополнения** – после каждого уменьшения уровня запасов формируется заявка на пополнение

- **стратегия Пополнения по уровню** – заявка на пополнение запасов формируется при уменьшении количества запасных частей заданного типа до заданного уровня.

Рассмотрим более подробно систему групповых запасов со смешанной стратегией пополнения запасов:

- периодическое пополнение запасов для неремонтопригодных изделий
- непрерывное пополнение для ремонтпригодных изделий.

С теми или иными оговорками, именно эта модель используется в большинстве российских авиакомпаний.

Модель с непрерывным пополнением запасов. Эта модель подразумевает, что при отказе установленного на ВС изделия восстановление производится путем замены отказавшего изделия на работоспособное из оборотного фонда, после чего сразу же формируется заявка на пополнение комплекта. Модель чаще всего применяется для ремонтпригодных изделий в ситуации, когда у эксплуатирующей организации есть возможность сразу же отправлять неисправные изделия в ремонт и получать их обратно (исправными) через известное среднее время ремонта.

Для этой модели формула расчета коэффициента готовности системы МТО для изделий i -го типа ($Kz_{зип_i}$) выглядит следующим образом [2]:

$$Kz_{зип_i} = 1 - \frac{(m_i \lambda_i T_i)^{A_i+1}}{(A_i+1)! \sum_{j=1}^{A_i+1} \frac{(m_i \lambda_i T)^j}{j!}}, \quad (4)$$

где

m_i - количество эксплуатируемых изделий i -го типа,

λ_i - интенсивность отказов изделий i -го типа, выраженная в календарном времени,

T_i - среднее время от момента формирования заявки на пополнение запасов до момента доставки, то есть среднее время ремонта (для ремонтируемых изделий) или среднее время поставки (для неремонтируемых изделий),

A_i - начальный запас изделий i -го типа.

Модель с периодическим пополнением запасов. Эта модель подразумевает, что пополнение запасов производится через фиксированные промежутки времени. При этом

пополнение осуществляется до начального (A_i) уровня. Данная модель применяется в случаях, когда парк техники эксплуатируется в удаленном регионе, и транспортировка запасных частей осуществляется через заданные периоды времени (например, транспортный самолет осуществляет перевозки только раз в полгода).

Для этой модели формула расчета $K_{г\text{ЗИП}_i}$ выглядит следующим образом [2]:

$$K_{г\text{ЗИП}_i} = \frac{1}{m_i \lambda_i T_i} \sum_{j=0}^{A_i} \left(1 - \sum_{k=0}^j \frac{(m_i \lambda_i T_i)^k}{k!} e^{-m_i \lambda_i T_i} \right), \quad (5)$$

где

T_i - периодичность пополнения запасов.

Приведенные методики оценки уровня готовности можно использовать для расчета величины начальных запасов при заданных требованиях к готовности (обратная задача).

Для ее решения коэффициент готовности системы МТО запишем как функцию от величины начальных запасов $A_{\text{нач.}-\text{непл}} = (A_1, \dots, A_M)$. Предположим, что требуется обеспечить значение коэффициента эксплуатационной готовности не менее μ , то есть:

$$K_{г\text{ЭГ}} \approx K_{\text{ПП}} \times K_{г\infty} \times K_{г\text{ЗИП}}(A_{\text{нач.}-\text{непл}}) \geq \mu, \quad (6)$$

Предположив, что коэффициент планируемого применения $K_{\text{ПП}}$ и коэффициент готовности при бесконечном объеме запасов $K_{г\infty}$ известны, это выражение можно записать в следующем виде:

$$K_{г\text{ЗИП}}(A_{\text{нач.}-\text{непл}}) \geq \frac{\mu}{K_{\text{ПП}} \times K_{г\infty}} = \gamma, \quad (7)$$

То есть требуется сформировать такой начальный запас, чтобы обеспечить значение коэффициента готовности системы МТО не меньшее, чем известная величина γ . Поскольку эта задача имеет бесконечное число решений, так как обеспечить данный уровень готовности можно бесконечной комбинацией достаточно больших объемов запасов, в качестве дополнительного условия примем, что начальный запас должен иметь минимальную стоимость приобретения. Тогда задачу определения количества начальных запасов можно представить как оптимизационную:

$$\sum_{i=1}^M A_i \cdot C_i \rightarrow \min, \quad (8)$$

$$K_{г\text{ЗИП}}(A_{\text{нач.}-\text{непл}}) \geq \gamma,$$

где

C_i - стоимость изделия i -го типа.

Эта задача решается с использованием метода покоординатного спуска и состоит из следующих шагов:

Шаг 0. Устанавливается начальный вектор параметров $A_{нач.-непл}^{(0)}$, в котором запасы изделий всех типов равны нулю: $A_{нач.-непл}^{(0)} = (0, \dots, 0)$. Рассчитывается величина $Kz_{ЗИП}(A_{нач.-непл}^{(0)})$.

Шаг $i+1$. На $i+1$ шаге рассматриваются вектора $A_{нач.-непл}^{(i)(+j)}$, полученные путем увеличения величины запасов j -го типа на единицу. Количество таких векторов будет равно количеству типов изделий M .

Для каждого j -го типа рассчитывается значение:

$$\Delta N_j = \frac{\ln Kz_{ЗИП}(A_{нач.-непл}^{(i)(+j)}) - \ln Kz_{ЗИП}(A_{нач.-непл}^{(i)})}{C_j}, \quad (9)$$

Значение вектора $A_{нач.-непл}^{(i+1)}$ устанавливается равным значению вектора $A_{нач.-непл}^{(i)(+j)}$ с таким индексом j , для которого величина ΔN_j максимальна.

После этого выполняется проверка условия $Kz_{ЗИП}(A_{нач.-непл}^{(i+1)}) \geq \gamma$. Если это условие выполняется, искомый вектор равен $A_{нач.-непл}^{(i+1)}$ и алгоритм прекращает работу. В противном случае осуществляется переход на шаг $i+2$.

Реализация алгоритма расчета оборотного фонда

Алгоритм расчета $Kz_{ЗИП}$ для группового запаса со смешанной моделью пополнения запасов после оптимизации может быть представлен в виде следующей блок-схемы (рисунок 1). Наиболее ресурсоемким шагом данного алгоритма является расчет отдельных $Kz_{ЗИП}$ для изделий (3). Во первых, на данном шаге присутствует несколько возведений в степень и вычисление факториала достаточно больших чисел. Во вторых, при использовании классического метода покоординатного спуска «в лоб», без оптимизации, необходимо на каждом шаге заново вычислять все частные значения $Kz_{ЗИП}$, что еще более усугубляет проблемы производительности данного алгоритма. В чистом виде оптимизация $Kz_{ЗИП}$ по условию достаточности с помощью данного алгоритма заняла около 12 часов на современной рабочей станции, что является абсолютно неприемлемым.

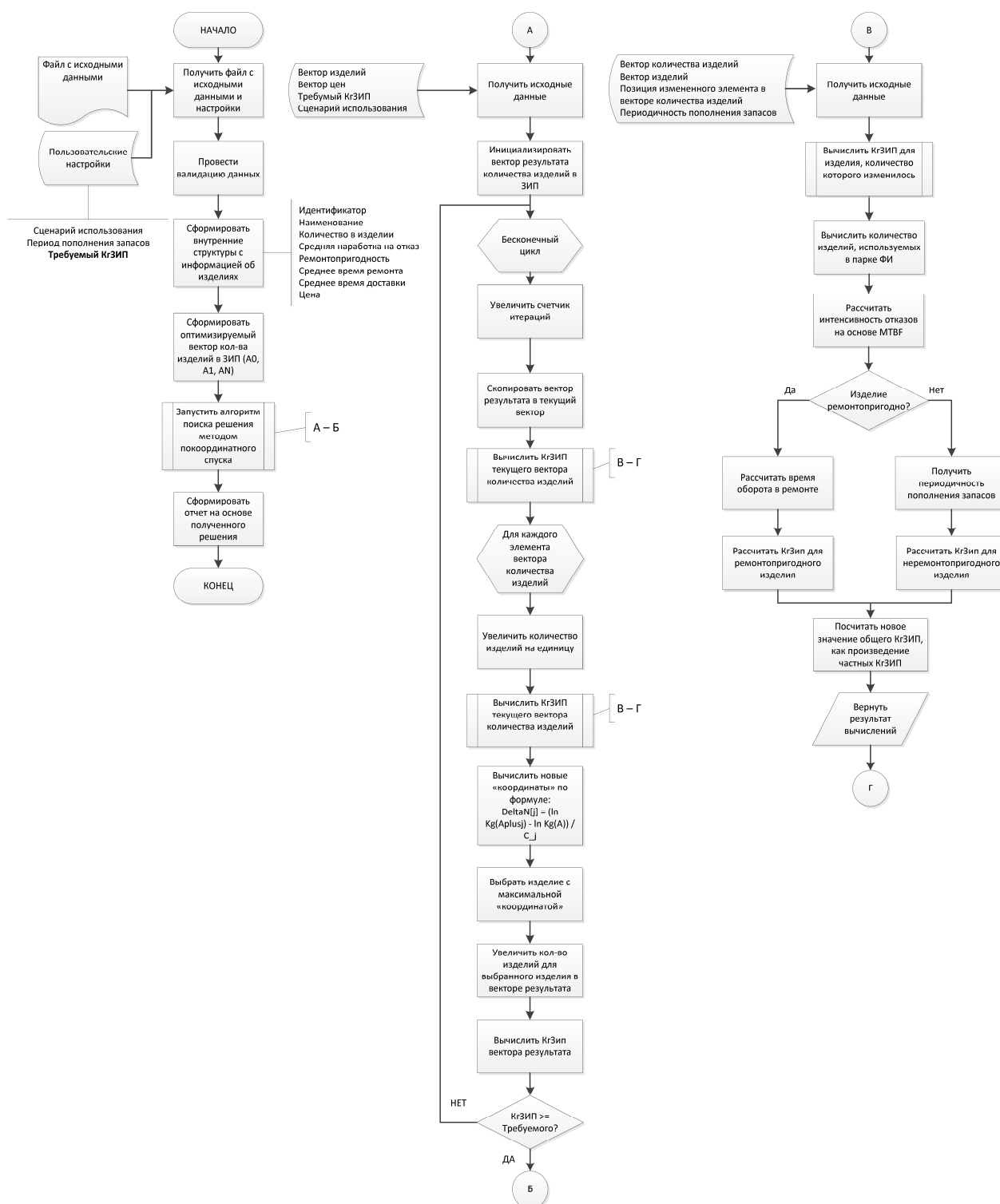


Рис. 1. Алгоритм расчета КгЗИП

Однако, быстродействие алгоритма удалось значительно увеличить, применив два несложных метода оптимизации.

Во первых, если обратиться к формулам, то можно заметить, что одним из самых «тяжелых» этапов вычисления является вычисления неполной гамма-функции [2]:

$$1 - \sum_{k=0}^j \frac{(m_i \lambda_i T_i)^k}{k!} e^{-m_i \lambda_i T_i} \quad (10)$$

Для упрощения расчёта примем $m_i \lambda_i T_i$ за “x” и обратимся к общеизвестной формуле $a = e^{\ln a}$:

$$1 - \sum_{k=0}^j \frac{(x)^k}{k!} e^{-x} = 1 - \sum_{k=0}^j e^{\frac{\ln(x)^k}{k!} e^{-x}} = 1 - \sum_{k=0}^j e^{(\ln(x^k) + \ln(e^{-x}) - \ln(k))} = 1 - \sum_{k=0}^j e^{(k \ln(x) - \ln(k!) - x)} \quad (11)$$

Учитывая, что сумма логарифмов равна логарифму произведения можно записать:

$$1 - \sum_{k=0}^j e^{(k \ln(x) - \ln(k!) - x)} = 1 - \sum_{k=0}^j e^{(k \ln(x) - \sum_{l=1}^k \ln(l) - x)}$$

С использованием циклов формулу 10 можно записать в следующем виде (рисунок 2)

```
Result := 0;
PartResult := 0;
for k := 0 to j do
begin
  if k <> 0 then
    PartResult := PartResult + Ln(x) - Ln(k);
    Result := Result + Exp(PartResult - x);
end;
Result := 1 - Result;
```

Рис. 2. Цикл расчета значения неполной гамма-функции

С помощью приведенных выше преобразований удалось значительно снизить сложность исходного алгоритма расчета частных $K_{2_зип}$.

Однако данная оптимизация явно недостаточна, т.к. все равно на каждом шаге алгоритма по координатного спуска вычисляются частные $K_{2_зип}$ для каждого элемента в оптимизируемом векторе количества изделий. Чтобы избавиться от этой проблемы достаточно незначительно модифицировать алгоритм:

- добавить функцию сохранения вектор всех частных значений $K_{2_зип}$ предыдущего шага алгоритма;
- в функцию расчета значения общего $K_{2_зип}$ текущего шага алгоритма в качестве дополнительных параметров передавать вектор значений частных $K_{2_зип}$ предыдущего шага алгоритма и изделие, количество которых было увеличено на данном шаге алгоритма;
- вместо полного пересчета всех частных $K_{2_зип}$, выполнить расчет только для изделий, количество которых изменилось;

- вычислить новое значение общего $Kz_{зип}$ на основе известных, не изменившихся с прошлого шага значений частных $Kz_{зип}$ и одного нового, вычисленного на данном шаге значения.

После оптимизации алгоритма скорость расчета объема запасов для обеспечения требуемого $Kz_{зип}$ увеличилась в разы, и расчет стал занимать вполне приемлемые несколько минут.

Практический расчет объема запасов, необходимого для обеспечения заданного уровня готовности

В предыдущих разделах были рассмотрены актуальность данной задачи, её теоретические основы, и возможная реализация алгоритма решения. Логичным продолжением всего выше сказанного является практическое применение алгоритма.

Как уже было отмечено выше, исходными данными для данной задачи являются:

- данные о составе ВС,
- данные о надежности СЧ (интенсивности отказов),
- данные о среднем времени поставки (ремонта) СЧ,

Возникает вопрос, где взять данные, необходимые для расчета и оптимизации состава запасов?

Необходимые данные могут отсутствовать, существовать в виде первичных бумажных документов или храниться в разных слабо интегрированных информационных системах предприятия.

Удобным вариантом представления исходных данных является БД АЛП [6], сформированная специализированным программным средством.

Для приведенного ниже расчета были использованы данные из БД АЛП одного из предприятий российской авиационной промышленности, сформированная с использованием программного комплекса LSS.

Расчеты произведены для сценария эксплуатации, указанного в таблице.

Количество воздушных судов	20
Наработка одного воздушного судна за год	1800 часов
Продолжительность вылета	2,5 часа
Количество полетов в день	2 полета
Период восполнения запасов	12 месяцев

Было выполнено четыре расчета для $K_{г\text{ЗИП}} = 0,8$, $K_{г\text{ЗИП}} = 0,85$, $K_{г\text{ЗИП}} = 0,9$, $K_{г\text{ЗИП}} = 0,95$.

Результатом расчета оптимального по цене и достаточного для обеспечения заданного $K_{г\text{ЗИП}}$ является отчет вида, представленного на рисунке 3. В полном отчете представлено более 800 наименований различных составных частей, вошедших в оборотный фонд запчастей, необходимый для обеспечения заданного $K_{г\text{ЗИП}}$.

№ п/п	Обозначение	Наименование	Используется в системах	Кол-во в системе	Результат расчета	Наработка на отказ (млн. ч.)	Исходные данные о надежности	Среднее кол-во отказов в год	Необходимый запас при $K_{г\text{ЗИП}}=0,8$	Необходимый запас при $K_{г\text{ЗИП}}=0,85$	Необходимый запас при $K_{г\text{ЗИП}}=0,9$	Необходимый запас при $K_{г\text{ЗИП}}=0,95$	Цена за 1 шт.	Стоимость запаса (1 год, $K_{г\text{ЗИП}}=0,8$)	Стоимость запаса (1 год, $K_{г\text{ЗИП}}=0,85$)	Стоимость запаса (1 год, $K_{г\text{ЗИП}}=0,9$)	Стоимость запаса (1 год, $K_{г\text{ЗИП}}=0,95$)
1		ГАЗОТУРБИНЫ ДВИГАТЕЛЬ		72	Д	64520	Фактический МТБФ	1,8	1	1	1	2					
2		Приводы сцепления отечественного (ОМВ)		34	1	Нет	4500	МТБФ	8,0	13	14	14					
3		Вычислитель системы самонаведения		34	2	Д	8005,2	Фактический МТБФ	8,1	4	5	5					
4		УСТАНОВКА ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗДУХА		21	2	Д	8839	Назначенный МТБФ	8,1	4	5	5					
5		Усилитель мощности КВ связи		23	2	Д	8800	МТБФ	8,2	5	5	8					
6		Приводы сцепления системы спутниковой связи		23	1	Нет	200000	МТБФ	8,2	1	1	2					
7		Привод сцепления		34	2	Д	44520	Фактический МТБФ	1,8	2	2	2					
8		Пульт управления полетом		22	1	Д	5500	Фактический МТБФ	6,5	4	5	5					
9		Вычислитель ТАСАД		34	1	Д	7421	Фактический МТБФ	4,9	4	4	4					
10		Датчик скорости		21	5	Д	28701	Назначенный МТБФ	6,3	4	5	5					
11		Установка приема коротковолнового		23	3	Д	3100	МТБФ	34,3	13	14	14					
12		Вспомогательная силовая установка (ВСУ)		49	1	Д	9800	МТБФ	3,8	3	4	4					
13		Вычислитель воздушных данных		34	3	Д	2472,87	Фактический МТБФ	42,7	13	16	17					
14		Вычислитель инерциальный		34	3	Д	33394,5	Фактический МТБФ	3,2	3	3	4					
15		Механизм перестановки стабилизатора		27	1	Д	1131,5	Фактический МТБФ	3,2	3	3	4					
16		Аварийный ветродвигатель		24	1	Д	22283	Фактический МТБФ	1,8	2	2	2					
17		Система управления полетом		27	1	Д	5505	Фактический МТБФ	6,5	4	5	5					
18		Блок Правильного Контроля Вибрации		77	1	Д	6300	МТБФ	5,7	4	5	5					
19		Приводы сцепления		21	1	Д	18000	МТБФ	2,0	2	3	3					

Рис. 3. Фрагмент результатов расчета объема запасов

На основе результатов анализа был построен график, наглядно демонстрирующий удорожание оборотного фонда при увеличении требований к $K_{г\text{ЗИП}}$ (рисунок 4).

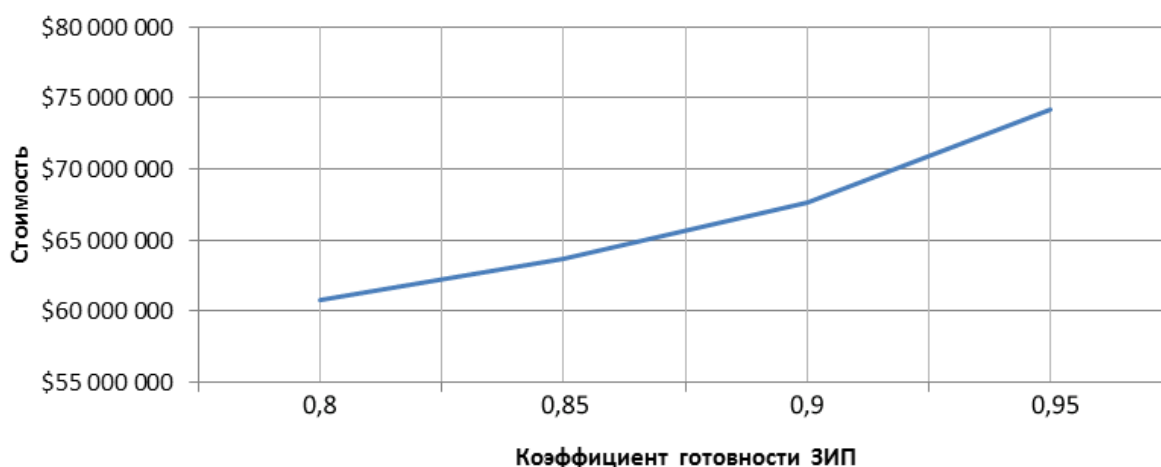


Рис. 4. Зависимость стоимости запаса от $K_{г\text{ЗИП}}$

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

1. Для обеспечения приемлемых показателей $K_{г\text{ЗИП}}$ при использовании смешанной модели пополнения запасов и системы групповых запасов для отдельных образцов авиационной техники при заданных условиях показателей эксплуатации может быть необходима достаточно широкая номенклатура запасных частей.

2. Стоимость оборотного фонда запчастей по результатам расчета (рисунок 4) для парка из 20 самолетов при сценарии использования, описанном в таблице, может быть сопоставима с каталожной стоимостью нового самолета.
3. Эксплуатационно-экономическая эффективность и обоснованность затрат на оборотные фонды, обеспечивающие высокий $K_{г\text{зип}}$ напрямую зависят от показателей $K_{\text{ип}}$, $K_{г\infty}$ и затрат на них, а так же, возможности влияния на них в конкретной ситуации. Так как именно вместе с этими показателями $K_{г\text{зип}}$ и его стоимость влияют на коэффициент эксплуатационной готовности и эксплуатационно-экономическую эффективность, как парка ВС, так и отдельных бортов.

Направления исследований

Дальнейшими направлениями развития рассмотренных в статье вопросов может быть:

1. Реализация методик расчета оборотных фондов для стратегий периодического пополнения с экстренными поставками и пополнения запасов по уровню.
2. Разработка алгоритмов расчета величины оборотных фондов для многоуровневых систем управления запасами.
3. Разработка методов и алгоритмов расчета потребностей в запасных частях для изделий, у которых время между отказами является случайной величиной с распределением, отличным от экспоненциального.
4. Подробное исследование и сравнение результатов представленного алгоритма расчета оборотных фондов с результатами альтернативных программных продуктов для расчета и формирования оборотных фондов (АСОНИКА-К-РЭС, ИНТЕЛЛЕКТ-ЗИП и другие).
5. Более глубокое исследование влияния $K_{г\text{зип}}$ на $K_{г\infty}$ в различных условиях.

Выводы

В данной статье были рассмотрены теоретические основы формирования и оптимизации оборотных фондов, их формализация, возможные реализации, конкретный пример расчета объема оборотного фонда запасных частей для изделий гражданской авиационной техники. Показано, как применение предложенной методики позволяет авиакомпаниям получить значительное конкурентное преимущество: сократить издержки и окупить вложенные в исследования и разработку ПО инвестиции.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 1990-07-01. М.: Из-во стандартов, 2002. 32 с.
2. Черкесов Г.Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП, СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 480с.
3. Craig C. Sherbrooke “Optimal inventory modeling of systems Multi-Echelon Techniques. Second Edition”, Boston/Dortrecht/London: Kluwer Academic Publishers Group, 2004. 332p.
4. Шура-Бура А.Э., Топольский М.В, «Методы организации расчета и оптимизации комплектов запасных элементов сложных технических систем». – М.: Знание, 1981. 187с.
5. Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.Н., Петров А.В., Бороздин Д.Н. Анализ логистической поддержки. Теория и практика, М.: ООО Издательство «Информ-Бюро», 2014. 260с.
6. ГОСТ Р 53392-2009. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Введ. 2009-14-09. М.: Стандартинформ, 2010. 23 с.