

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ОБМЕННОМ ФОНДЕ

Abstract: *With the purpose of increase of efficiency of using air courts, decrease of the operational charges, reduction of term payment of an aircraft, the technique of account of optimum number in an exchange collection of functional systems is offered in given clause on an example of the engine Д-436-148. The given technique is universal, as allows to make accounts for definition of optimum number of any functional systems for an any type of air courts.*

Key words: *exchange collection, base airport, transit airport, maintenance service and repair.*

Анотація: *З метою підвищення ефективності використання повітряних суден, зниження експлуатаційних витрат, скорочення строку окупності повітряного судна у даній статті на прикладі двигуна Д-436-148 запропонована методика розрахунку оптимальної чисельності в обмінному фонді функціональних систем. Дана методика є універсальною, тому що дозволяє провадити розрахунки для визначення оптимальної чисельності будь-яких функціональних систем для довільного типу повітряних суден.*

Ключові слова: *обмінний фонд, базовий аеропорт, транзитний аеропорт, технічне обслуговування та ремонт.*

Аннотация: *С целью повышения эффективности использования воздушных судов, снижения эксплуатационных расходов, сокращения срока окупаемости воздушного судна в данной статье на примере двигателя Д-436-148 предложена методика расчета оптимальной численности в обменном фонде функциональных систем. Данная методика является универсальной, так как позволяет производить расчеты для определения оптимальной численности любых функциональных систем для произвольного типа воздушных судов.*

Ключевые слова: *обменный фонд, базовый аэропорт, транзитный аэропорт, техническое обслуживание и ремонт.*

1. Введение

В современных условиях при проектировании воздушных судов (ВС) нового поколения определяющими требованиями являются их высокая продуктивность и надежность, безопасность полетов, невысокие затраты на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) и авиатопливо. Выполнение этих требований обеспечивает низкий уровень прямых эксплуатационных затрат и, следовательно, высокую технико–экономическую эффективность самолетов, что в полной мере компенсирует все растущую цену новых ВС.

Существенное снижение трудозатрат на ТОиР и ремонт авиационной техники (АТ) может быть достигнуто при широком применении встроенных систем контроля (ВСК). Однако внедрение ВСК порождает проблему ложных снятий изделий АТ с борта ВС, что в свою очередь, влечет за собой увеличение числа заявок на запасное изделие и к неоправданному увеличению количества запасных изделий в обменном фонде (ОФ) авиапредприятия.

В современных условиях технологический процесс обслуживания имеет два существенных недостатка:

1. Высокие затраты на ТОиР в связи с большими простоями АТ на земле.
2. Неиспользование ресурсов отдельных функциональных систем в связи с тем, что периодичность и объемы работ по ТОиР определяются, исходя из надежности наиболее современных систем ВС. Кроме того, надежность большинства узлов и агрегатов зависят от срока их работы и только около 15% из них нуждаются в ТОиР. Появление непредвиденных отказов при таком методе замены элементов конструкции требует наличия значительного обменного фонда.

Поэтому задача рационального построения системы технической эксплуатации перспективных ВС, создание системы обеспечения оптимальным обменным фондом в процессе технической эксплуатации ВС представляет важную народнохозяйственную проблему как в отношении экономической эффективности, так и в отношении обеспечения безопасности полетов.

2. Анализ исследований и публикаций по данной проблеме

Снижение затрат на ТОиР авиационной техники требует качественных изменений в системе технической эксплуатации ВС. Организационную основу современной стратегии технологического процесса обслуживания АТ составляют три концепции [1–5]: эксплуатация в пределах назначенного ресурса, эксплуатация по техническому состоянию и эксплуатация до отказа. Использование данных концепций определяется как усовершенствованием конструкции АТ, так и развитием методов получения, анализа и использования информации о техническом состоянии объекта эксплуатации. Целый ряд работ посвящен формализации и математическому описанию систем технического обслуживания АТ как составной части системы эксплуатации. Тем не менее исследованию управлению эффективностью систем технологического процесса обслуживания АТ уделено мало внимания.

В связи с этим в работе [6] была разработана методика по моделированию процессов системы обеспечения запасными функциональными системами ВС, позволяющая определить механизм определения численности и состава запасов, обеспечивающих непрерывность использования авиационной техники по назначению при минимальных удельных средних затратах. На основании данной методики можно разработать основные рекомендации по расчету оптимальной численности двигателей для воздушных судов нового поколения в обменном фонде, что является основной целью данной статьи.

3. Расчет оптимальной численности двигателей для воздушных судов нового поколения в ОФ на примере двигателя Д–436–148 для ВС типа Ан–148

Определив необходимое количество воздушных судов для обеспечения внутренними пассажирскими перевозками (35 бортов, [7]), на примере двигателя Д–436–148 ВС типа Ан–148 рассчитаем для них оптимальную численность обменного фонда двигателей по следующей схеме.

1. Количество ВС, вылетевших из i -го базового аэропорта (БАП) в j -й транзитный аэропорт (ТАП) в течение суток.

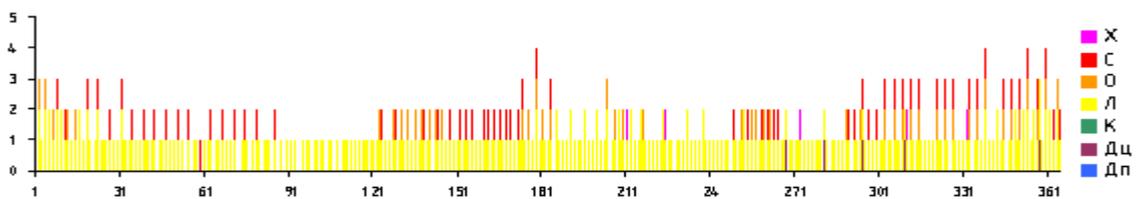
Все расчеты и соответствующие к ним графики выполнены с помощью программных операторов системы символьной математики *MathCAD v.11*.

Количество ВС, которые вылетают с i -го БАП за время t в j -й ТАП (в данном случае также имеется в виду общее количество осуществляемых с i -го БАП рейсов на протяжении времени), можно найти по алгоритму

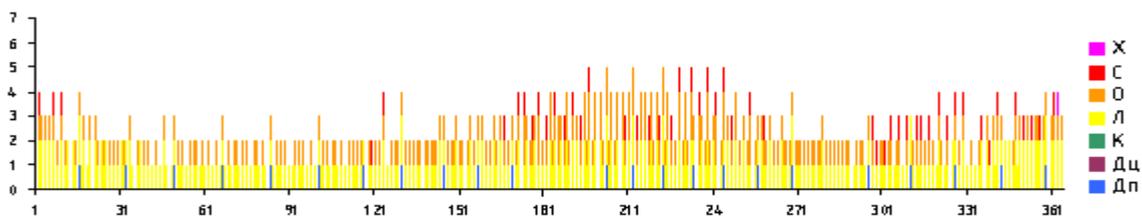
$$N_{BC}^T(t) = \left\{ \begin{array}{l} \mathfrak{R} = \mathfrak{R}(t) \\ \text{for } g \in 1, 2 \dots N \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in 1, 2 \dots N \\ \quad v = i \text{ if } G_i = g \\ \text{for } j \in 1, 2 \dots N \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} N_{BC_{v,j}}^T = \mathfrak{R}_{v,j} \\ \mathfrak{R}_{j,v} = 0 \text{ if } \mathfrak{R}_{v,j} > 0 \end{array} \right. \end{array} \right. \\ N_{BC}^T \end{array} \right.$$

Элементы строк матрицы $N_{BC}^T(t)$ содержат информацию относительно количества рейсов с определенного БАП к каждому из ТАП.

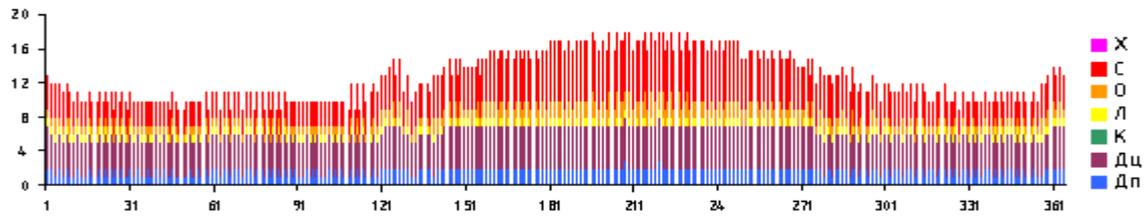
В данном блоке с помощью внешнего цикла изменения g задается прирост величины приоритета. Внутренним циклом переменной i ищется индекс БАП, чей приоритет отвечает текущему значению g . Значение i , при котором $G_i = g$, присваивается переменной v . С помощью цикла переменной j любому с N элементов v -го столбца матрицы N_{BC}^T присваивается значение соответствующего элемента матрицы \mathfrak{R} . В случае ненулевого элемента последней ($\mathfrak{R}_{v,j} > 0$) проводится обнуление j -го элемента v -й строки. Таким образом, алгоритм возвращает для времени t соответствующую матрицу $N \times N$, каждая строка которой содержит информацию о количестве рейсов из базовых аэропортов, которым, в свою очередь, отвечают столбцы с указанными в начале раздела индексами. Результат вычисления алгоритма представлен на рис. 1.



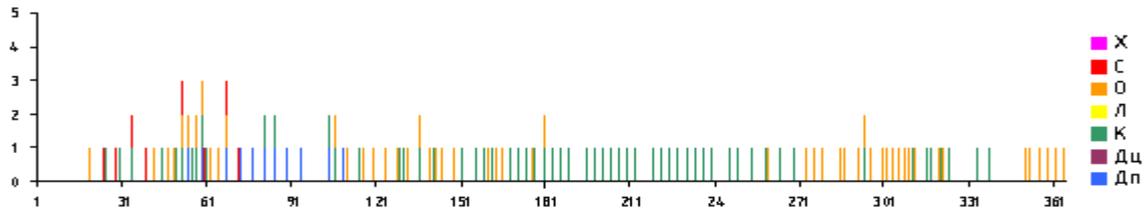
а) вылет из БАП Днепропетровска (рейсов/день)



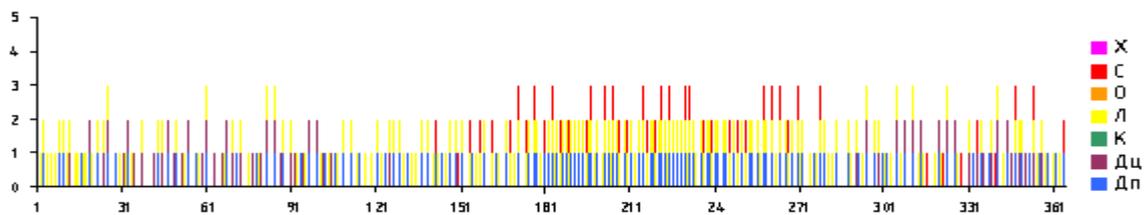
б) вылет из БАП Донецка (рейсов/день)



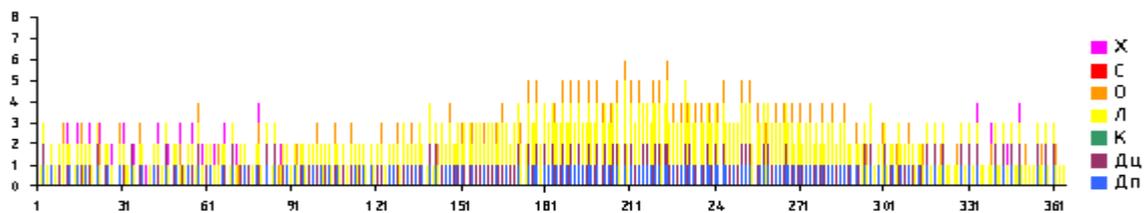
в) вылет из БАП Киева (рейсов/день)



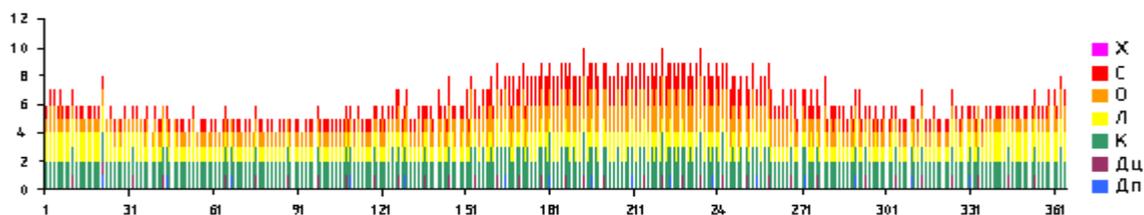
г) вылет из БАП Львова (рейсов/день)



д) вылет из БАП Одессы (рейсов/день)



е) вылет из БАП Симферополя (рейсов/день)



ж) вылет из БАП Харькова (рейсов/день)

Рис. 1. Количество осуществляемых из i -го БАП рейсов в течение суток к другим аэропортам

2. Выбираем пару БАП—ТАП, авиасообщения между которыми исследуются (по умолчанию принимается следующая пара: БАП Киев—ТАП Симферополь); завод-изготовитель (ЗИ) считаем Запорожский Авиаремонтный Комплекс.

3. Входные данные для расчетов:

- плановый налет ВС за год: $T_{ПН} = 2600$ ч.;
- среднесуточный налет ВС: $t_{cp.cym} = 7$ ч.;
- количество однотипных изделий на одном борту ВС: $m = 2$ ед.;
- интенсивность внезапных отказов двигателя: $\lambda_g = T_{cp}^{-1}$, $\lambda_g = 1,429 \times 10^{-3}$ 1/ч.;
- условная вероятность «ложного отказа» при контроле (КР) двигателя с помощью ВСК: $\alpha_1 = 0,1$; $\alpha_2 = 0,05$; $\alpha_3 = 0,01$;
- условная вероятность «невьявленного отказа» при КР двигателя с помощью ВСК: $\beta = 0$;
- среднее время КР двигателя с помощью ВСК: $t_{КР} = 0,06$ ч.;
- средняя продолжительность демонтажа двигателя с борта ВС: $t_{Д} = 1$ ч.;
- средняя продолжительность монтажа двигателя на борт ВС: $t_{М} = 1$ ч.;
- средние затраты на оперативное ТО двигателя в БАП: $C_{OTO_Б} = 200$ грн.;
- средние затраты на оперативное ТО двигателя в ТАП: $C_{OTO_Т} = 150$ грн.;
- средняя продолжительность стоянки ВС в БАП: $t_{cm_Б} = 1$ ч.;
- средняя продолжительность стоянки ВС в ТАП: $t_{cm_Б} = 0,75$ ч.;
- УСЗ на демонтаж двигателя: $C_{Д} = 10$ грн./ч.;
- УСЗ на монтаж двигателя: $C_{М} = 10$ грн./ч.;
- средние затраты за единицу времени в связи простоями ВС в аэропорту по причине неудовлетворения требования на запасной двигатель: $C_{np} = 2000$ грн./ч.;
- транспортные затраты, связанные с доставкой двигателя на ЗИ: $C_{mp} = 6$ грн./ч.;
- расстояние между аэропортом фиксирования отказа двигателя и ЗИ, на который отправляется на восстановление двигатель: $L_{mp_Б} = L_{mp_Х}$, $L_{mp_Б} = 660$ км; $L_{mp_Т} = L_{mp_У}$, $L_{mp_Т} = 390$ км;
- среднее время полета между выбранными аэропортами: $\tau = \tau_{x,y}$, $\tau = 1,02$ ч.
- максимально возможное количество рейсов, которое способно выполнить одно ВС между выбранными аэропортами в течение летного дня: $n = \mathfrak{Z}_{x,y}$, $n = 3$;

– количество посадок в ТАП в интервале между взлетом и посадкой в БАП в течение летного дня: $(n-1) = 2$;

– время между взлетом и посадкой ВС в БАП: $t_n = n\tau$, $t_n = 3,06$ ч.;

– договорное время восстановления двигателя на ЗИ: $t_g = 72$ ч.;

– максимально возможное количество одновременно восстанавливаемых двигателей: $\xi = 10$ ед.;

– нормативный коэффициент капитальных вложений: $E_H = 0,12$;

– норма отчислений на реновацию ОФ: $E_{OF} = 0,1$;

– УСЗ ложного и правильного восстановления на ЗИ демонтированного в аэропорту двигателя, соответственно: $C_{g"-" } = 150$ грн./г., $C_{g"+" } = 250$ грн./г.;

– покупная цена двигателя Д-436-148: $C = 3 \times 10^6$ грн.

4. Проводим вычисления целевой функции оптимизации ОФ ЗИ двигателей [5].

1) Среднее время пребывания двигателя в состоянии E_1 рассчитываем по следующей формуле:

$$MS_1 = \frac{1 - e^{-\lambda t_n/n}}{\lambda[1 - (1 - \alpha)e^{-\lambda t_n/n}]}, MS_1 = \begin{bmatrix} 10,050 \\ 19,794 \\ 88,225 \end{bmatrix} \text{ ч.}$$

2) Среднее время пребывания двигателя в состоянии E_1 рассчитываем согласно формуле

$$MS_2 = \frac{1}{1 - (1 - \alpha)e^{-\lambda t_n/n}} \left[\frac{t_n(1 - \beta e^{-\lambda t_n/n})}{n(1 - \beta)} - \frac{1 - e^{-\lambda t_n/n}}{\lambda} \right], MS_2 = \begin{bmatrix} 7,888 \times 10^{-3} \\ 15,535 \times 10^{-3} \\ 69,241 \times 10^{-3} \end{bmatrix} \text{ ч.}$$

3) Средний цикл регенерации, как среднее время между двумя последовательными снятиями двигателя с борта ВС:

$$MS_0 = MS_1 + MS_2, MS_0 = \begin{bmatrix} 10,058 \\ 19,810 \\ 88,294 \end{bmatrix} \text{ ч.}$$

4) Интенсивность снятия двигателя с борта ВС:

$$\lambda_{сн} = \frac{1}{MS_0}, \lambda_{сн} = \begin{bmatrix} 99,423 \times 10^{-3} \\ 50,480 \times 10^{-3} \\ 11,326 \times 10^{-3} \end{bmatrix} 1/\text{ч.}$$

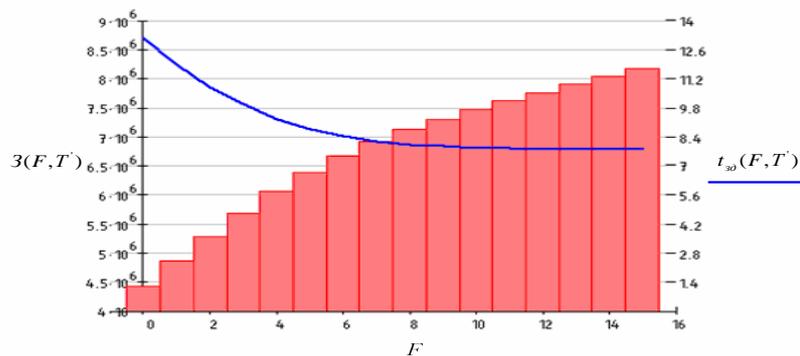
5) Время обслуживания двигателя, связанное с КР параметров, монтажом и демонтажом:

$$t_{обсл} = t_{KP} + t_M + t_D, t_{обсл} = 2,06 \text{ ч.}$$

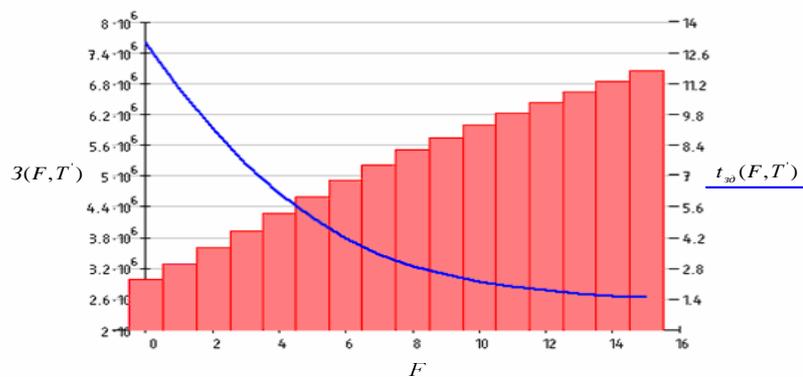
б) Среднее время задержки ВС в аэропорту фиксирования факта отказа двигателя (БАП или ТАП) из-за неудовлетворения требования на запасной двигатель и годовые приведенные затраты на эксплуатацию совокупности q двигателей в приписном парке ВС.

На основании проведенных расчетов получен график зависимости годовых приведенных затрат (3) на эксплуатацию совокупности однотипных двигателей в приписном парке ВС (в грн. на год) и среднего времени задержки ВС в аэропорту фиксирования факта отказа (t_{30} , в часах) от количества запасных двигателей в ОФ на ЗИ (F) на день $T' = 180$ (рис. 2, где α – условная вероятность «ложного отказа» при КР двигателя с помощью ВСК, T_{cp} – средняя наработка на отказ).

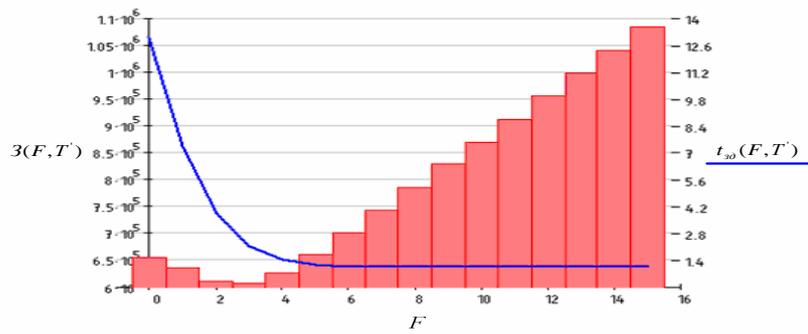
Первые три графика (рис. 2, а–в) представляют собой зависимость годовых приведенных затрат на эксплуатацию двигателей и среднего времени задержки ВС в аэропорту фиксирования факта отказа от количества запасных двигателей в ОФ на ЗИ при средней наработке на отказ двигателя $T_{cp} = 700$ ч. и условных вероятностях «ложного отказа» $\alpha_1 = 0,1$; $\alpha_2 = 0,05$ и $\alpha_3 = 0,01$ соответственно. Остальные три графика (рис. 2, г–е) представляют собой аналогичную зависимость только при условии, что средняя наработка на отказ двигателя $T_{cp} = 150$ ч.



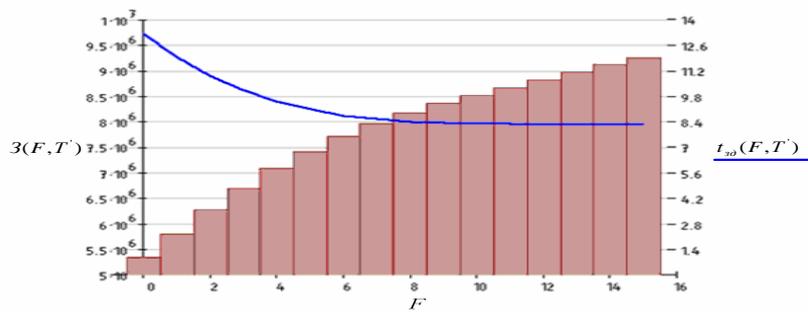
а) $\alpha_1 = 0,1$; $T_{cp} = 700$ ч.



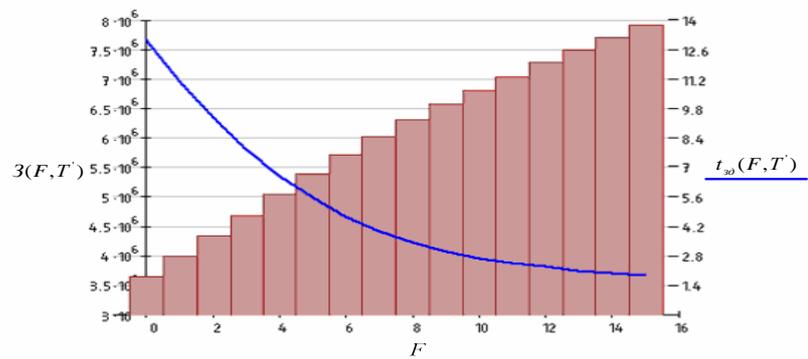
б) $\alpha_2 = 0,05$; $T_{cp} = 700$ ч.



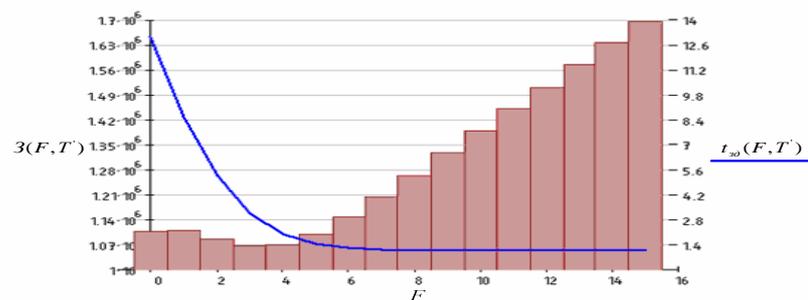
в) $\alpha_3 = 0,01; T_{cp} = 700$ ч.



г) $\alpha_1 = 0,1; T_{cp} = 150$ ч.



д) $\alpha_2 = 0,05; T_{cp} = 150$ ч.



е) $\alpha_3 = 0,01; T_{cp} = 150$ ч.

Рис. 2. График зависимости годовых приведенных затрат на эксплуатацию двигателей и среднего времени задержки ВС в аэропорту фиксирования факта отказа от количества запасных двигателей в ОФ на ЗИ

4. Выводы

Анализируя представленные на рис. 2 графики, можно сделать следующие основные выводы.

Во-первых, большее количество запасных изделий в обменном фонде обеспечивает меньшее время задержки ВС в аэропорту фиксирования факта отказа двигателя.

Во-вторых, уменьшение условной вероятности «ложного отказа» и увеличение средней наработки на отказ двигателя приводит к уменьшению годовых приведенных затрат на эксплуатацию совокупности однотипных двигателей в приписном парке ВС и уменьшению среднего времени задержки ВС в аэропорту фиксирования факта отказа двигателя.

В-третьих, при исследовании полученных графиков между любой парой аэропортов определено, что общее количество запасных двигателей, которое обеспечит непрерывное обслуживание всего прогнозируемого парка ВС без задержки рейса, – 8 шт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамаргазін О.А. Формування складу робіт з технічного обслуговування і ремонту функціональної системи // Проблеми системного підходу в економіці: Сб.науч.тр. – К.: КМУЦА, 1999. – С.74–77.
2. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. / Під ред. В.П. Бабака. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
3. Волков Л.И. Надежность летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1975. – 294 с.
4. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1988. – 232 с.
5. Babak V., Shibitskaja N. Identification of dynamic objects parameters in the technical diagnostics systems // Of the World Congres «Aviation in the XXI–st Century». – К.: NAU. – 2004. – September 14–16. – P. 2.1–2.5.
6. Козлюк И.А. Разработка математических моделей прогрессивных технологий обслуживания и ремонта функциональных систем для воздушных судов // Вісник ТАУ. – 2006. – № 2. – С. 50–57.
7. Козлюк И.А. Определение необходимого количества пассажирских воздушных судов на внутренних линиях по основным аэропортам Украины в прогнозируемом периоде // Математичні машини і системи. – 2005. – № 4. – С.96–110.