

## **Анализ влияния надежности переключателей при поэлементном резервировании замещением гидравлической системы самолета при наличии неопределенностей функционирования эргатической системы**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

С помощью разработанного программного комплекса Safety\_Manager проанализирована динамика изменения надежности типового участка цепи гидравлической системы высоко-ресурсного пассажирского самолета при различных способах резервирования эргатической системы «самолет-экипаж-окружающая среда», функционирующей в условиях неопределенности.

**Ключевые слова:** гидравлическая система, надежность, резервирование, вероятность безопасной работы,

Гидравлические системы (ГС) широко применяются на современных пассажирских самолетах. Их надежность в значительной степени определяет отказобезопасность самолета в целом. Однако практически все методы повышения надежности и отказобезопасности ГС требуют увеличения его массы. Рассчитать надежность, выбрать наиболее эффективный метод можно, сопоставляя увеличение массы с ростом надежности системы. Такие многократные расчеты рационально выполнять с помощью программного комплекса, дающего достоверные данные при сравнительно небольших затратах времени на подготовку счета. Поэтому весьма *актуальной* становится задача разработки для этого специального программного обеспечения и проведение с его помощью анализа эффективности различных способов повышения надежности системы «самолет-экипаж-окружающая среда», функционирующей в условиях неопределенности.

Определение надежности гидросистемы самолета осуществляется как методом прямого эксперимента на натурной системе или ее физической модели, так и методами математического моделирования. Методические возможности этих способов исследования взаимодополняют друг друга. Основные преимущества компьютерного моделирования — низкая стоимость и малые затраты времени на получение результатов, как следствие — возможность анализа многочисленных альтернативных вариантов и проведения широких параметрических исследований. Достоверность получаемых расчетным путем результатов подтверждается их сопоставлением с результатами выборочных экспериментальных исследований наиболее характерных ситуаций.

Особенностью авиационных систем, значительно усложняющей определение их надежности и разработку методов ее повышения, является ее функционирование в условиях неопределенности как отдельных звеньев эргатической системы (ЭС) «самолет-экипаж-окружающая среда». Эта система относится к нетрадиционным объектам управления, для которых необходимо разрабатывать специфические стратегии принятия решений по обеспечению безопасности их эксплуатации. На сегодня исследования в различных областях человеческой деятельности, которые сталкиваются с проблемами принятия решений, получены значительные результаты, которые в совокупности позволили сформировать теорию неопределенностей. Применительно к процессу эксплуатации ЭС «само-

лет-экипаж-среда» неопределенность – это фундаментальная характеристика недостаточной информационной обеспеченности процесса принятия сложных групповых решений, которые во многих случаях распределены в пространстве и времени.

Анализ данных об авиационных событиях и инцидентах позволяет выделить несколько групп главных факторов, являющихся источниками неопределенности и в значительной степени препятствующих реализации возможностей субъекта риска достичь установленной цели деятельности, создавая внутрисистемный конфликт. Эти факторы, в сущности, являются теми предпосылками (во многих случаях скрытыми), которые приводят к нарушению целесообразного взаимодействия элементов ЭС и, в частности, одной из ее основных частей – гидравлической системы летательного аппарата. Выявление этих предпосылок способствует отысканию закономерностей их проявления, что будет соответствовать реализации принципа «предусматривать и предотвращать».

В процессе эксплуатации ЭС «самолет-экипаж-среда» можно выделить следующие основные источники неопределенностей и их групп:

- взаимодействие пилота (экипажа) с высокотехнологичными средствами автоматизации пилотской кабины;
- взаимодействие пилота (экипажа) со стареющей техникой;
- недостатки профессиональной подготовки летного состава и наземного технического персонала;
- недостатки их информационного обеспечения;
- влияние окружающей среды;
- неоднозначность толкования регламентирующих документов;
- наличие конструкционных недостатков самолета;
- наличие производственных дефектов;
- последствия неправильного ремонта и обслуживания эксплуатируемой техники;
- преследование коммерческих целей;
- энергоинформационные влияния;
- угроза террористических и хулиганских акций на земле и в полете;
- кибертерроризм.

Неопределенность любого типа порождает необходимость увеличения как надежности, так и отказобезопасности и «дуракоустойчивости» бортовых систем, в особенности энергетических систем и, в частности, гидросистем (основной и дублирующих).

Одним из основных методов увеличения надежности гидравлической системы (ГС) самолета являются методы дублирования и резервирования (общего, раздельного, с целой или дробной кратностью, резервирования замещением с нагруженным, облегченным или ненагруженным резервом). Отказ грамотно спроектированной резервированной системы наступает только при отказе всех элементов одного назначения (основного изделия и всех резервных изделий).

Вероятность безопасной работы системы при общем резервировании с постоянно включенным резервом и целой кратностью определяется как

$$P_{ИЗД}(t) = 1 - \left[ 1 - \prod_{i=1}^n p_i(t) \right]^{m+1}.$$

Вероятность безопасной работы системы при общем резервировании с замещением с целой кратностью (принимая экспоненциальный закон надежности) определяется по разным формулам в зависимости от состояния резерва:

при ненагруженном состоянии резерва

$$P_{ИЗД}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!};$$

при недогруженном (облегченном) состоянии резерва

$$P_{ИЗД}(t) = e^{-\lambda_0 t} \left[ 1 + \sum_{i=1}^m \frac{b_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_i t})^i \right];$$

при нагруженном состоянии резерва

$$P_{ИЗД}(t) = 1 - \left[ 1 - \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} \right]^{m_i + 1},$$

где  $P_{изд}(t)$  - вероятность безотказной работы изделия;

$t$  – промежуток времени;

$n$  – количество элементов основной или любой резервной системы;

$m$  – кратность резервирования;

$\lambda_0$  - интенсивность отказов основного устройства;

$\lambda_i$  - интенсивность отказов резервного устройства до замещения.

Рассмотрим для конкретности сравнительно простой начальный участок гидравлической системы от гидробака до автомата разгрузки (рис. 1), установленный на одном из высокоресурсных пассажирских самолетов. Перечень составляющих ее элементов и их надежность (ВБР — вероятности безотказной работы) приведены в табл. 1. Значения ВБР существенно занижены по отношению к реальным с целью получения наглядных результатов, удобства их анализа и получения правильных выводов.

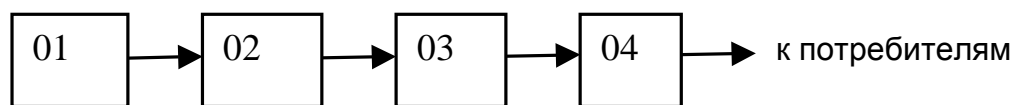


Рис. 1. Расчетная схема участка гидросистемы (без резервирования)

Таблица 1

Номер на рис. 1	Агрегат	Надежность (ВБР)	Масса, кг	Стоимость, грн
01	Гидробак	0,99	8	270
02	Фильтр	0,99	1,3	80
03	Насос	0,97	9	560
04	Автомат разгрузки	0,98	0,7	110

Расчет надежности основного варианта системы и вариантов ее модификации осуществлен с помощью разработанного на кафедрах № 103 и 105 «ХАИ» программного комплекса Safety\_Manager по приведенным выше формулам.

Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 2. При этом обнаружено, что большое значение имеет системный подход к решению задачи - полный комплексный учет всех влияющих на надежность элементов, факторов и вариантов отказов, а именно:

а) дублирование ветвей подачи давления существенно увеличивает надежность ГС;

б) поэлементное дублирование повышает надежность больше, чем дублирование всей ветви;

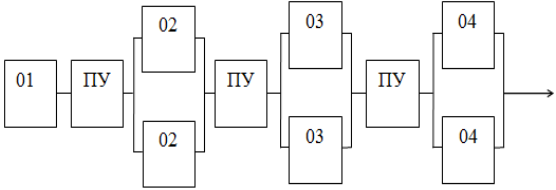
в) учет надежности элементов переключения основных элементов на дублирующие приводит к некоторому снижению надежности системы не в физическом отношении, а за счет более точного учета особенностей работы системы;

г) при невысокой надежности устройств переключения основных элементов на дублирующие надежность системы может существенно уменьшиться, несмотря на увеличение массы.

Таблица 2

Способ резервирования	Схема включения резерва	ВБР участка системы
Отсутствие резервирования		0,93168
Резервирование всей цепи с постоянно включенным резервом		0,9898
Поэлементное резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью		0,98996
Поэлементное резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью при надежности переключающих элементов 0,999		0,98699

Окончание табл. 2

Способ резервирования	Схема включения резерва	ВБР участка системы
Поэлементное резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью при надежности переключающих элементов 0,8		0,50686

Таким образом, проведенное математическое моделирование показало следующее:

$$P_3 > P_2 > P_4 > P_1 \gg P_5 \quad (0,98996 > 0,9898 > 0,98699 > 0,93168 \gg 0,50686).$$

На рис. 2 представлена рассчитанная таким образом зависимость надежности рассматриваемого участка системы от надежности (ВБР) переключающих элементов. Пересечение полученной зависимости с горизонтальной линией уровня надежности недублированной системы (в рассматриваемом случае 0,93168) показывает, начиная с какого уровня надежности переключающих элементов резервирование имеет смысл. Не представляется возможным дать действительное для всех случаев значение надежности переключающих элементов – оно зависит как от расчетной схемы системы, так и от надежности составляющих ее элементов. Однако расчет по рассмотренному выше методу позволяет в любом случае определить это значение.

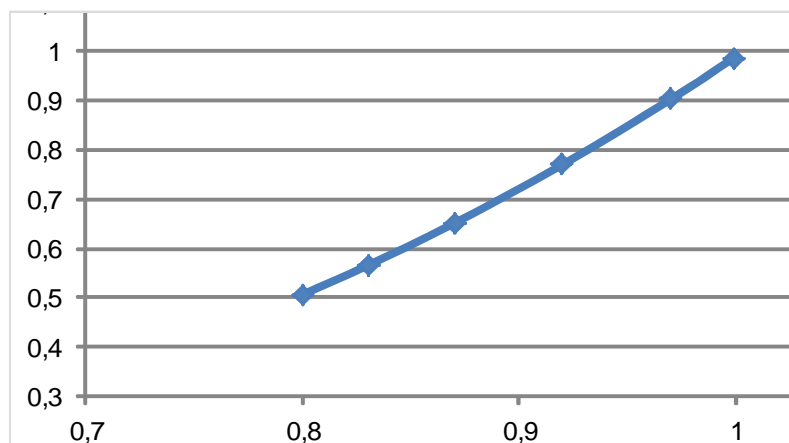


Рис. 2. Зависимость ВБР рассматриваемого участка системы от ВБР переключающих элементов

В целом проведенные исследования методом компьютерного моделирования показало следующее.

Анализируя особенности функционирования системы «самолет-экипаж-среда», методы повышения надежности можно сгруппировать в четыре больших класса: а) оптимизация схемы создаваемой ГС; б) мероприятия по

снижению неблагоприятного влияния условий работы агрегатов ГС; в) проектно-конструкторские решения по увеличению надежности агрегатов и элементов, составляющих ГС; г) обеспечение удобства работы летного состава и наземного обслуживающего персонала, снижение негативного влияния «человеческого фактора».

Эффективность схемных решений по увеличению надежности ГС в наибольшей степени поддается расчету. В качестве примера выполнения численного эксперимента выбран начальный участок гидросистемы от гидробака до автомата разгрузки.

Тестируемое программное обеспечение рационально для проведения многократных оценочных расчетов этапа формирования схемы ГС самолета. Оно характеризуется дружественным пользователю интерфейсом, удобством эксплуатации и наглядным способом представления как исходных данных, так и результатов расчетов.

Предложенные методы могут обеспечить существенное увеличение надежности ГС и в целом системы «самолет-среда-экипаж» в разнообразных условиях эксплуатации.

При выполнении расчетов необходим тщательный учет всех влияющих на надежность факторов, иначе получаемый эффект может быть противоположным ожидаемому.

В дальнейшем рационально проведение аналогичных исследований для всей системы при различных вариантах ее работы и условиях окружающей среды.

### **Выводы**

1. Разработанное программное обеспечение эффективно для проведения многократных оценочных расчетов этапа формирования схемы ГС самолета.

2. Предложенные методы могут обеспечить существенное увеличение надежности ГС и в целом системы «самолет-среда-экипаж» в разнообразных условиях эксплуатации.

3. При выполнении расчетов необходим тщательный учет всех влияющих на надежность факторов, иначе получаемый эффект может быть противоположен ожидаемому.

### **Список литературы**

1. Живучесть авиационных силовых установок [Текст]: учеб. для студентов вузов / В.С. Кривцов, А.И. Рыженко. -Х.:Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "Харьк. авиац. ин-т", 2004 .-659 с.
2. Сборник задач по теории надежности [Текст]. / Под ред А.М. Половко и И.М. Маликова. -М.: «Сов. радио», 1972. – 408 с.
3. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов [Текст]: Учебник для вузов / А.М. Матвеев, И.И. Зверев. – М.: Машиностроение, 1982. – 296 с.

**Рецензент:** д.т.н., проф. А.В. Бетин, Научно-исследовательский институт проблем физического моделирования режимов полета самолета,

Поступила в редакцию 03.06.13

**Аналіз впливу надійності перемикачів  
при поелементному резервуванні заміщенням  
гідравлічної системи літака за наявності невизначеності  
функціонування ергатичної системи**

За допомогою розробленого програмного комплексу Safety\_Manager проаналізовано динаміку зміни надійності типової ділянки кола гідравлічної системи високоресурсного пасажирського літака при різних способах резервування ергатичної системи «літак-екіпаж-навколишнє середовище», що функціонує в умовах невизначеності.

**Ключові слова:** гідравлічна система, надійність, резервування, імовірність безпечної роботи

**Analysis of the impact of reliability switches  
with elementwise reserve replacement  
the hydraulic system of the aircraft in the presence of  
uncertainty in the system ergatic**

With the help of developed software Safety\_Manager analyzed the dynamics of change in the reliability of the model of the branch circuit hydraulic system of high-resource passenger aircraft with different methods of backup ergatic of the "plane-crew environment", operating in an uncertain environment.

**Keywords:** hydraulics, reliability, redundancy, the probability of a safe work.