

## **МОДЕЛИРАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА САМОЛЕТНА СИСТЕМА**

**Красин Георгиев, Маргарита Андонова**

*Технически университет – София*  
e-mail: gkrasin@aero.tu-sofia.bg, magi@aero.tu-sofia.bg

**Ключови думи:** самолетна система, надеждност, допускания, симулации

**Резюме:** Изследва се влиянието на различни допускания върху оценката на надеждността на самолетна система. За целта е приведена методика за анализ на надеждността и е анализирана примерна самолетна система. Систематизирани са възможните допускания. Показано е, че резултатите от анализите могат да се различават на порядъци при различни допускания за характеристиките на отказите, режимите на ТО и причините за отказ на системата. Препоръчва се уточняването на критичните допускания да стане една от целите на т.нар. програма за надеждност на самолета.

## **MODELLING THE RELIABILITY OF AN AIRCRAFT SYSTEM**

**Krasin Georgiev, Margarita Andonova**

*Technical University of Sofia - Department of Aeronautics*  
e-mail: gkrasin@aero.tu-sofia.bg, magi@o.tu-sofia.bg

**Keywords:** aircraft systems, reliability, modelling assumptions, reliability simulation

**Abstract:** The effect of different assumptions in reliability modelling is studied. For the purpose, a methodology for reliability analysis is provided and an exemplary aircraft system is considered (Boeing 737 rudder control, before design improvements). Possible assumptions are listed and used for calculations of reliability characteristics. The results show that reliability characteristics have different order of magnitude at different assumptions for failure and maintenance characteristics and functional failure prerequisites. Setting clarification of critical assumptions as one of the goals defining aircraft reliability programs is recommended.

### **Въведение**

Резултатите от анализите на надеждността се използват в процеса на проектиране, при анализи на безопасността и риска при сертифициране на самолетите и при формиране на изискванията към техническото обслужване [1, 2]. Това определя важността на коректното изпълнение на надеждностните анализи. Цел на изследването е оценка на влиянието на различни допускания при моделиране на надеждността на самолетна система. Разследването на редица авиационни произшествия по технически причини е показало, че са настъпили събития, оценени като практически невъзможни, поради неотчитане на някои фактори, влияещи върху надеждността на засегнатата система [3, 4]. Познаването на влиянието на различни допускания върху оценката на надеждността ще позволи концентриране на усилията при провеждане на изпитания и анализ на опита от експлоатацията за уточняване на направените допускания.

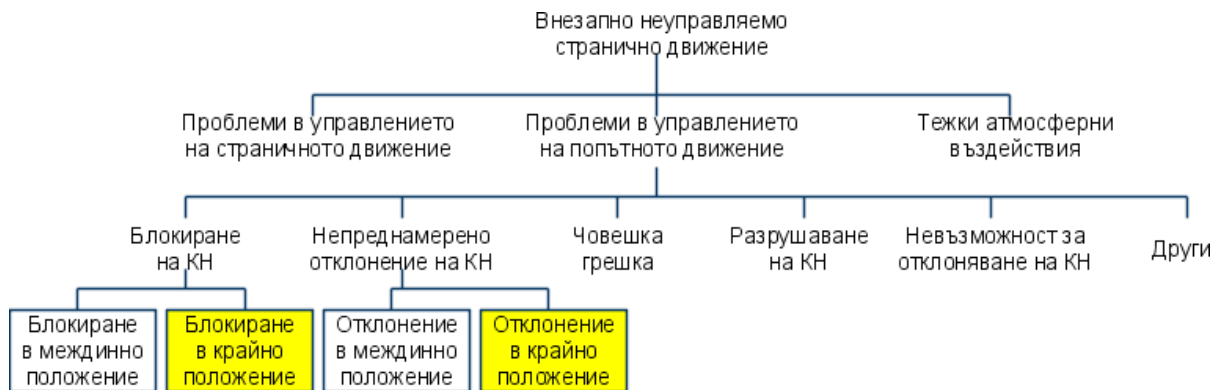
За илюстриране на анализите се използва реална самолетна система - системата за попътно управление на Boeing 737, преди въвеждането на конструктивни доработки. За интензивността на отказите на компонентите, изграждащи системата, се ползват примерни стойности за високонадеждни елементи.

### **Методика за анализ на надеждността**

За анализ на надеждността съществуват множество методи и техники, в зависимост от решаваните задачи и разполагаемата информация. Предложената методика позволява

използването на прости и утвърдени техники при определяне на обхвата на анализите и моделиране на системата с използване на разполагаемия експлоатационен опит.

Формулирането на обхвата на анализите се реализира посредством определяне на функционалните откази, които ще се моделират. За целта използваме главна логическа диаграма. При построяване на тази диаграма се започва с нежелано събитие и се привеждат възможните причини на различни иерархични нива. Примерна главна логическа диаграма за нежелано събитие „внезапно неуправляемо странично движение“ е дадена на фиг. 1.



Фиг. 1. Главна логическа диаграма за "внезапно неуправляемо странично движение"

Ограничаваме се до системата за попътно управление. Разглеждаме събития с катастрофални последици - застопоряване на кормилото за направление (КН) в крайно положение (блокиране или самоволно отклонение).

След като са определени функционалните откази, които ще бъдат обект на анализ, следва да се намерят причините на физическо ниво, които могат да ги предизвикат. Обикновено това са комбинации от различни видове откази, за изследването на които се строят дърво на отказите (Fault Tree) или блокова диаграма (Reliability Block Diagram).

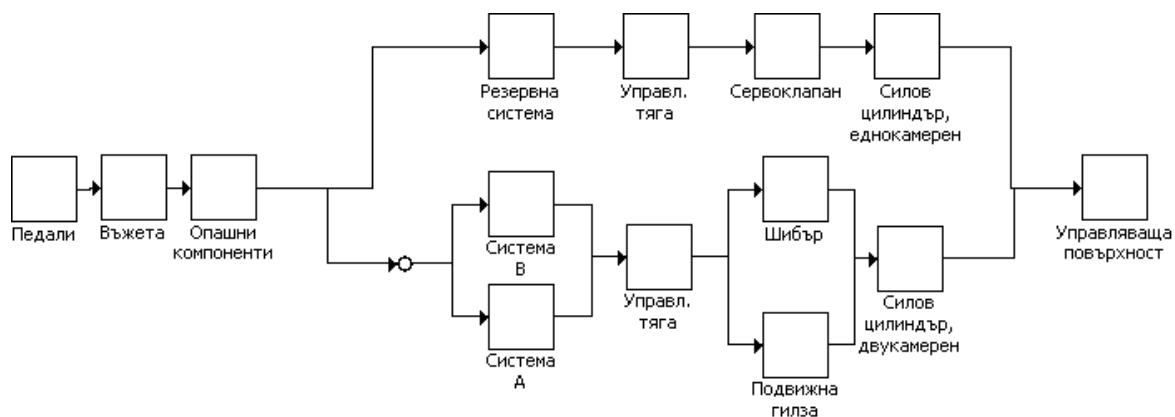
За идентифициране на видовете откази се използва систематична процедура, например анализ на вида и ефекта от отказите (FMEA), изследване на опасностите и работоспособността (HAZOP). При това се използват анализи на производителя, резултати от изпитания, опитът от проблеми при експлоатация и възникнали инциденти. За разглежданата система подобни анализи са правени в [5, 6].

### Основни допускания при анализите

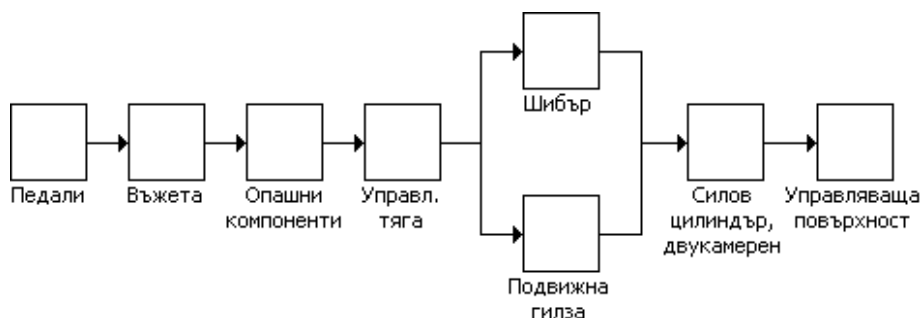
За илюстриране на влиянието на приетите допускания върху модела на системата използваме системата за попътно управление на Boeing 737 преди въвеждането на конструктивни доработки. Системата включва механизъм на педалите, въжета, компоненти в опашката, хидравлично задвижване и управляваща плоскост (кормило за направление - КН). Хидравличното задвижване се състои от две основни и една резервна хидравлични системи, двукамерен основен и резервен силови цилиндри, задвижващи връзки, управляващи сервоклапани, като за основната система сервоклапанът е с резервиране (подвижна гилза и шибър) [5]. Механичните елементи от системата могат да се разединят, разрушат или заклинят. Управляващата тяга или елементите на сервоклапана (гилза и шибър) могат да блокират, с което предизвикват самоволно отклонение на кормилото и блокиране на управлението. Може да има загуба на хидравлична енергия. При блокиране на подвижната гилза на сервоклапана и прекомерно преместване на шибъра може да се наблюдава реверс на кормилото (самоволно отклонение в посока, обратна на зададената, и застопоряване).

#### ◆ Влияние на избора на функционални откази

Функционалните откази, които ще се анализират, влияят директно върху структурата на модела на системата. Променя се степента на резервиране. На фиг. 2 и на фиг. 3 е показана блокова диаграма на разглежданата система при два функционални отказа – „Невъзможност за отклоняване на КН“ и „Застопоряване на КН в крайно положение“, като вторият отказ има по-тежки последици.



Фиг. 2. Модел при "Невъзможност за отклоняване на КН"



Фиг. 3. Модел при "Застопоряване на КН в крайно положение"

Ако за всички компоненти от системата се приеме интензивност на отказите  $\lambda_i = 1.10^{-9}$ , тогава се получава  $\lambda_{\text{фиг. 2}} = 4.10^{-9}$ ,  $\lambda_{\text{фиг. 3}} = 6.10^{-9}$  за време  $T = 30000$  h, т.е. за по-критичния отказ имаме по-голяма интензивност на отказите.

- ♦ Влияние на характеристиките на отказите и режимите на техническо обслужване (ТО)

За простота разглеждаме система от два паралелно свързани елемента. В примерната система това е сервоклапанът за управление на основния силов цилиндър. Клапанът се състои от корпус, в който са разположени подвижна гилза и шибър (фиг. 4).



Фиг. 4. Блокова диаграма и принципна схема на сервоклапан

**Интензивност на отказите** - постоянна или променлива във времето

Влияе върху сложността и времето за пресмятанията, върху възможността за използване на аналитични пресмятания или симулации.

**Откриваемост на отказите**

Явните откази се отстраняват веднага след приключване на полета. Скрытите откази действат до възникване на отказ на системата или до провеждане на ТО със съответна дълбочина. Категоризирането на отказите като скрити или явни често изисква задълбочено познаване на системата или експерименти, с каквито не се разполага. Често категоризацията е затруднена.

Разглеждаме три варианта: скрит отказ и на двата компонента, само на единия и два явни отказа.

**Режими на техническо обслужване (ТО)**

При скритите откази периодичността на ТО определя вероятността за множествен отказ. При явните откази ТО определя вероятността за отказ и зависимостта ѝ от времето.

Разглеждаме три варианта: без коригиращо ТО, с коригиращо ТО при явен отказ и периодични проверки за скрит отказ с коригиращо ТО при необходимост. Ако за извършване на

пресмятанията се използва симулация, може да се отчете допълнително наличието или липсата на коригиране на скрит отказ при функционален отказ на системата.

### Механизъм на отказите

В модела могат да бъдат отчетени различни явления, действителният ефект от които не е известен - въздействие на силно смущение в страничното движение, температурно въздействие върху шибъра при рязка промяна на височината или прегряване в хидравличната система и т.н. При това се променя структурата на модела и видовете откази, които го изграждат. Може да възникне отказ по обща причина или да има определена последователност от събития за възникване на отказ.

Разглеждаме два варианта: независимо блокиране на подвижната гилза и блокиране на шибъра с експоненциално разпределение с интензивност  $\lambda$ ; блокиране на подвижната гилза с интензивност  $\lambda$  и последващо пренатягане на шибъра с постоянна вероятност  $P$ .

### Числен експеримент и резултати

Изследва се влиянието на разгледаните допускания. Разглеждаме различни комбинации на скрити и явни откази с и без периодично обслужване при два различни механизма за възникване на функционален отказ. Механизъм А – два независими отказа с експоненциално разпределение (блокирала подвижна гилза и блокирал шибър) (табл. 1). Механизъм Б – след отказ на единия компонент със зададено разпределение (блокиране на гилзата) е възможен отказ на втория компонент със зададена фиксирана вероятност (пренатягане на шибъра) (табл. 2). При механизъм Б разглеждаме случаи на експоненциално разпределение и разпределение на Вейбул (съответно табл. 2а и табл. 2б).

При пресмятанията са използвани следните параметри:

$\lambda_1=1e-5$  1/h, интензивност на отказите при експоненциално разпределение

$\eta=1e+5$ ,  $\beta=3$ ; 1,5, параметри, използвани при разпределение на Вейбул

$\mu=1$  1/h, интензивност на възстановяване при явни откази (отчита времето за завършване на полета)

$t=3000$  h, периодичност на проверките при скрити откази и периодични проверки

$P_{\text{пренат.}}=1e-2$ , фиксирана вероятност за отказ (пренатягане) на единия компонент (шибъра) при механизъм Б за отказ

$T=30000$  h, време на работа (живот) на системата

Пресмятанията са изпълнени с използване на специализиран софтуер, позволяващ аналитични пресмятания за невъзстановяеми изделия [7, 8], симулации за възстановяеми [7] и някои аналитични пресмятания при възстановяеми изделия [8]. Формулите за изчисленията са дадени в [7, 8]. Резултатите от проведени симулации са отбелязани с ~. Използването на аналитични пресмятания при практически невероятни събития е с голямо предимство спрямо провеждането на симулации.

Таблица 1. Блокиране на подвижна гилза и блокиране на шибър с интензивности  $\lambda_1=1e-5$  1/h

Неготовност Вероятност за отказ Интензивност на отказите	Явни откази	Скрити откази	Явен и скрит отказ
Без ТО	1e-10 6,0e-6 2e-10	6,7e-2 6,7e-2 4,1e-6	2,6e-6 4,0e-2 2,6e-6
Периодична проверка		2,2e-4 8,7e-3 2,9e-7	1,5e-7 4,4e-3 1,5e-7

Таблица 2. Блокиране на подвижна гилза и пренатягане на шибър с вероятност  $P_{\text{пренат.}}=1e-2$ . За гилзата:

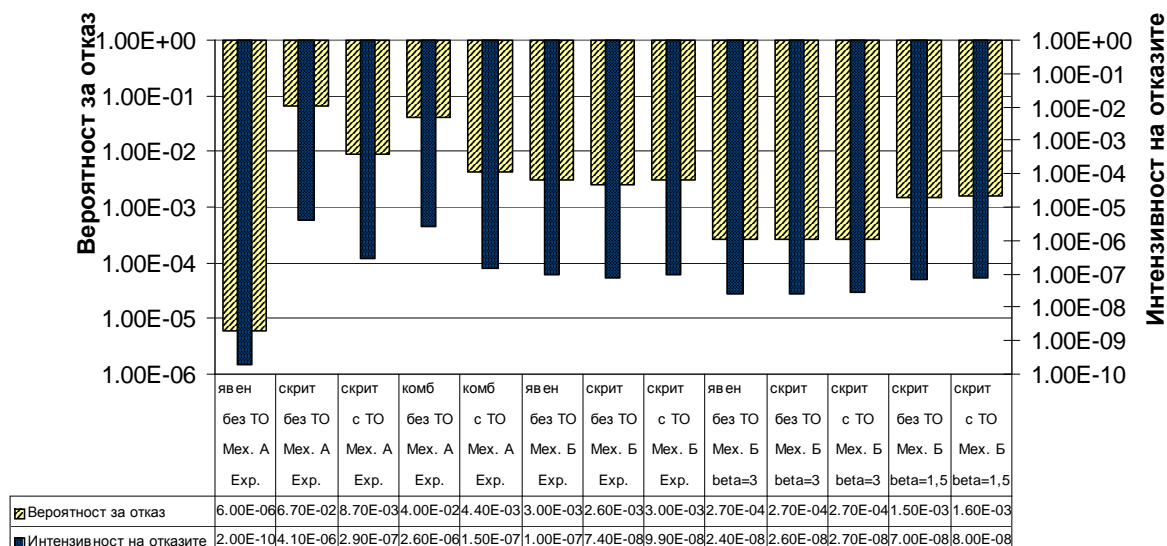
а) Експоненциално разпределение,  $\lambda=1e-5$  1/h

Неготовност Вероятност за отказ Интензивност на отказите	Явни откази	Скрити откази
Без ТО	1e-7 3,0e-3 1e-7	2,6e-3 2,6e-3 7,4e-8
Периодична проверка		1,5e-4 3,0e-3 9,9e-8

б) Разпределение на Вейбул,  $\eta=1e+5$  h

Неготовност Вероятност за отказ Интензивност на отказите	Явни откази $\beta=3$	Скрити откази $\beta=3$	Скрити откази $\beta=1,5$
Без ТО	~4,3e-8 ~2,7e-4 ~2,4e-8	2,7e-4 2,7e-4 2,6e-8	1,5e-3 1,5e-3 7,0e-8
Периодична проверка		7,3e-5 2,7e-4 2,7e-8	2,4e-4 1,6e-3 8,0e-8

Резултатите са представени графично на фиг. 5.



Фиг. 5. Вероятност за отказ и интензивност на отказите при различни характеристики на отказите и режими на ТО

### Заклучение

Опитът от изследването на реална самолетна система позволява да се направят изводи за влиянието на различни допускания върху резултатите от пресмятания на характеристиките на надеждността:

- Точното дефиниране на анализирани функционални откази е от първостепенно значение, защото влияе върху структурата на модела.
- Резултатите от анализите могат да се различават на порядъци при различни допускания за характеристиките на отказите, режимите на ТО и причините за отказ на системата

Следователно при получаване на висока вероятност за отказ при определени допускания е необходимо да се направят допълнителни анализи или експерименти за отхвърлянето им или за установяване на конструктивен проблем. При невъзможност за обосновка на избора на определени допускания може да се направи вероятностна оценка на различните варианти и допусканията да се уточнят в процеса на експлоатация с натрупване на данни.

Уточняването на критичните допускания може да стане една от целите на т.нар. програма за надеждност на самолета.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по договор №091ни022-04 от вътрешния конкурс за НИ в ТУ, София, за 2009 г.

### Литература:

1. S t a m a t e l a t o s M. Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners, NASA, 2002.
2. AMJ 25.1309 System Design and Analysis, Advisory Material Joint, 1994.
3. NTSB/AAR-99/01, Uncontrolled Descent and Collision With Terrain, USAir Flight 427, Boeing 737-300, 1999.
4. NTSB/AAR-00/03, In-flight Breakup Over the Atlantic Ocean, TWA Flight 800, Boeing 747-131, 2000.
5. FAA, B737 Flight Control System Critical Design Review Report, NTSB, Washington, D.C., 1995.
6. Г е о р г и е в К., М. А н д о н о в а. Изследване на характеристики на авиационни събития на базата на вероятностен анализ на риска, BulTrans-2009.
7. ReliaSoft, BlockSim 7, System Reliability and Maintainability Analysis Software Tool, ©1999-2008.
8. Isograph, FaultTree+ v11.2, Fault Tree Analysis, Event Tree Analysis, Markov Analysis, ©1986-2008.