

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЁВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Примеры  
выполнения лабораторных работ  
по дисциплине «Надёжность и  
эксплуатация самолётов»**

*Электронные методические указания*

САМАРА  
2010

УДК СГАУ: 629.7.015(075)

Составитель: **Мрыкин Сергей Викторович**

Примеры выполнения лабораторных работ предназначены для преподавателей, ведущих лабораторные работы со студентами, изучающими дисциплины «Надёжность и эксплуатация самолётов», «Диагностика и надёжность автоматизированных систем».

Примеры разработаны на основе использования новых образовательных технологий, ресурсов и систем электронного и дистанционного обучения для магистерской программы «Проектирование, конструкция и CALS-технологии в авиационной технике» по направлению 160100.68 «Авиастроение».

Электронные методические указания выполнены на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов.

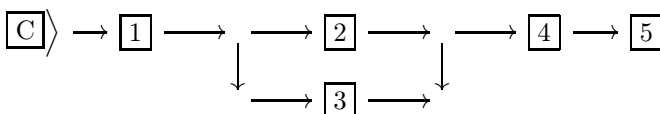
# 1 Метод структурных схем

Выдано задание по источнику [1, вариант номер 1].

## 1.1 Задание

1. Составить уравнение надёжности, оценить величины вероятности безотказной работы  $P_\tau(C)$  и наработки на отказ  $T_{OTK}(C)$  для заданного варианта структурной схемы при длительности рабочего цикла:  $\tau = 1$  час.

Вариант структурной схемы:



Интенсивности отказов элементов приведены в таблице.

NN элемента	Интенсивность отказа $\lambda_i(t)$ , час <sup>-1</sup>
1	0,04
2	0,05
3	0,06
4	0,07
5	0,08
6	0,09

2. Письменно ответить на следующие вопросы:

- Можно ли повысить наработку системы на отказ вдвое за счёт повышения надёжности элемента номер 1? Если можно, то какой при этом станет безотказность системы?
- Какой (в пределе) безотказности системы можно добиться таким путём, если возможности совершенствования элемента номер 1 не ограничены?

## 1.2 Выполнение задания

1. Уравнение надёжности системы, выраженное через интенсивности потока отказов элементов:

$$\lambda_C = \lambda_1 + \tau \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5.$$

Подставляем заданные числовые значения:

$$\lambda_C = 0,04 + 1 \times 0,05 \times 0,06 + 0,07 + 0,08 = 0,193\text{ч}^{-1}.$$

Вероятность безотказной работы вычисляем по формуле:

$$P_\tau(C) = 1 - \tau\lambda_C = 1 - 1 \times 0,193 = 0,807$$

Наработка на отказ:

$$T_{\text{ОТК}}(C) = \frac{1}{\lambda_C} = \frac{1}{0,193} = 5,18\text{ч}.$$

2. Вторая часть задания включает два взаимосвязанных вопроса. Целесообразно начать со второго вопроса.

2.2. В пределе элемент номер 1 безотказный, т. е.  $\lambda_1 = 0$ .

Подставляем это значение в уравнение надёжности системы, выраженное через интенсивности потока отказов элементов:

$$\lambda_C = 1 \times 0,05 \times 0,06 + 0,07 + 0,08 = 0,153\text{ч}^{-1}.$$

Вероятность безотказной работы вычисляем по формуле:

$$P_\tau(C) = 1 - \tau\lambda_C = 1 - 1 \times 0,153 = 0,847$$

Наработка на отказ:

$$T_{\text{ОТК}}(C) = \frac{1}{\lambda_C} = \frac{1}{0,153} = 6,54\text{ч}.$$

2.1. Вероятность безотказной работы и наработка на отказ увеличились, но не в два раза, следовательно, увеличить наработку на отказ вдвое за счёт доработки элемента номер 1 нельзя.

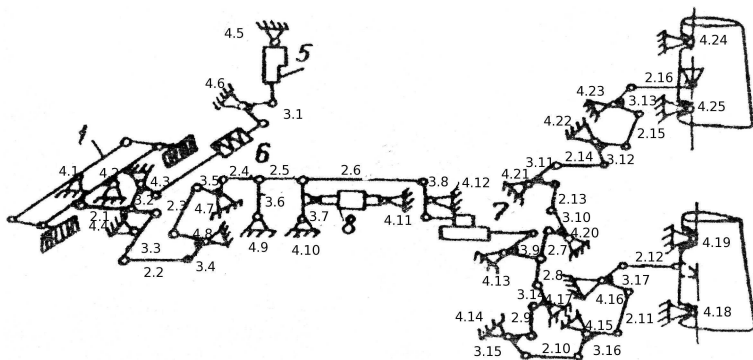
## 2 Анализ надёжности системы

Выдано задание по источнику [2, рис. 4].

### 2.1 Исследование принципиальной схемы

#### 2.1.1 Анализ и дополнение исходных данных

Принципиальная схема системы управления по курсу (рис.1).



1 — ножной пост управления; 2 — тяга; 3 — качалка; 4 — кронштейн; 5 — механизм триммерного эффекта; 6 — грузочный механизм; 7 — бустер; 8 — рулевая машина автопилота.

Рисунок 1— Схема канала управления рулями направления

В составе системы управления кронштейнов 4 — 25 шт., качалок 3 — 17 шт., тяг 2 — 16 шт.

Назначение системы [3]: обеспечение необходимой эффективности путевого управления.

Возможные функциональные отказы [3]:

- уменьшение эффективности управления по курсу;
- увеличение эффективности управления по курсу;
- самопроизвольное перемещение одного или обоих рулей направления;
- изменение управляющих усилий;
- возникновение колебаний одного или обоих рулей направления.

Принимаем тип самолёта МиГ-29.

Профиль полёта: полёт по замкнутому маршруту, выполнение фигуры «бочка» на одном из участков маршрута.

Ожидаемые условия эксплуатации: полёт над безлюдной местностью в простых метеоусловиях в дневное время. Высота полёта 5 км, протяжённость маршрута 600 км, продолжительность полёта  $\tau = 1$  ч.

### 2.1.2 Анализ отказов элементов

Эл-т	Наименование элемента	$\omega \times 10^6, \text{ час}^{-1}$	Отказ элемента	Отказ системы
1	2	3	4	5
1	Ножной пост управления	0,3	Заедание в шарнире	Увеличение управл. усилия
2	Тяга	0,05	Заедание в шарнире	Увеличение управл. усилия
3	Качалка	0,05	Заедание в шарнире	Увеличение управл. усилия
4	Кронштейн	0,04	Заедание в шарнире	Увеличение управл. усилия
5	Механизм триммерного эффекта	1,0	Уход электро-механизма в крайнее положение	Увеличение управл. усилия
6	Загрузочное устройство	0,5	Заедание в шарнире	Увеличение управл. усилия
7	Гидро-усилитель	5,0	Обрыв гидро-питания	Увеличение управл. усилия
8	Рулевая машина автопилота	3,0	Обрыв цепи электро-питания или управления	Отказ автопилота

При анализе отказов элементов системы управления по курсу приняты следующие допущения по отказам и ожидаемым условиям эксплуатации:

1. Заклинивание и рассоединение в шарнирах, для принятой системы технического обслуживания и ремонта, события практически невероят-

ные.

2. Рулевая машина автопилота 8 представляет собой электропривод, присоединённый к поддерживающей качалке 3.7. При отказе автопилота проводка системы управления блокируется.

3. Гидроусилитель 7 (бустер) подключен по обратимой схеме и при отказе работает как качалка.

4. Увеличение управляющего усилия оцениваем как:

$$[P_n]_п < P_n \leq [P_n]_к,$$

где  $P_n$  — усилие пилота, приложенное к педалям для отклонения рулей направления;  $[P_n]_п = 9,0$  даН — допускаемое продолжительное усилие на педали;  $[P_n]_к = 70,0$  даН — допускаемое кратковременное усилие на педали.

5. Усилие на педалях не может быть снято координированным отклонением других рулевых поверхностей.

6. Для выполнения полётного задания необходима исправная работа канала путевого управления.

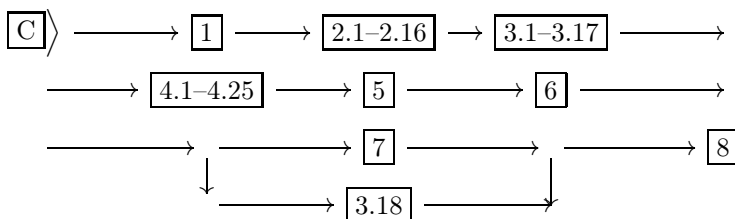
Для принятых допущений нарушены предельные ограничения, следовательно особая ситуация может быть классифицирована как аварийная.

### 2.1.3 Контрольный уровень наработки на отказ

По [2, табл. 1] наработка на отказ для аварийной ситуации:

$$[T_{\text{ОТК}}] = 0,3 \cdot 10^7 \text{ ч.}$$

## 2.2 Структурная схема



Уравнение надёжности:

$$\begin{aligned} \omega_C &= \omega_1 + 16\omega_2 + 17\omega_3 + 25\omega_4 + \omega_5 + \omega_6 + \tau\omega_7\omega_{3.18} + \omega_8 = \\ &= 10^{-6} \cdot (0,3 + 16 \cdot 0,05 + 17 \cdot 0,05 + 25 \cdot 0,04 + 1,0 + 0,5 + \\ &+ 1,0 \cdot 5,0 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6} + 3,0) = 6,45 \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч.} \end{aligned}$$

Наработка на отказ

$$T_{\text{ОТК}} = \frac{1}{\omega_C} = \frac{1}{6,45 \cdot 10^{-6}} = 0,155 \cdot 10^6 \text{ ч}$$

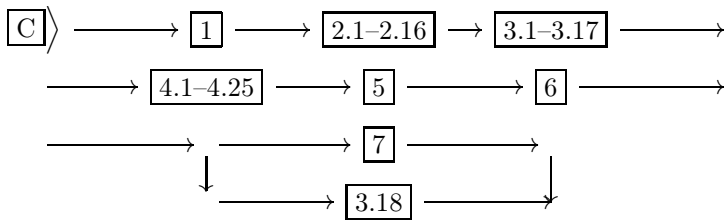
### 2.3 Оценка результатов анализа

Условие надёжности:

$$T_{\text{ОТК}} (= 0,0155 \cdot 10^7 \text{ ч}) \geq [T_{\text{ОТК}}] (= 0,3 \cdot 10^7 \text{ ч}),$$

не выполняется, следовательно необходима доработка системы.

1. Заменяем качалку 3.7 с обычной поддерживающей на суммирующую, тогда рулевая машина автопилота при отказе не будет блокировать проводку системы управления. Структурная схема в этом случае будет выглядеть следующим образом:



Уравнение надёжности:

$$\begin{aligned} \omega_C &= \omega_1 + 16\omega_2 + 17\omega_3 + 25\omega_4 + \omega_5 + \omega_6 + \tau\omega_7\omega_{3.18} = \\ &= 10^{-6} \cdot (0,3 + 16 \cdot 0,05 + 17 \cdot 0,05 + 25 \cdot 0,04 + 1,0 + 0,5 + \\ &+ 1,0 \cdot 5,0 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6}) = 3,45 \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}. \end{aligned}$$

Наработка на отказ

$$T_{\text{ОТК}} = \frac{1}{\omega_C} = \frac{1}{3,45 \cdot 10^{-6}} = 0,29 \cdot 10^6 \text{ ч}$$

2. Доработаем механизм триммерного эффекта таким образом, чтобы  $\lambda_5 = 0,2 \cdot 10^{-6} 1/\text{ч}$ , тогда  $\omega_C = 3,15 \cdot 10^{-6} 1/\text{ч}$ , а наработка на отказ  $T_{\text{ОТК}} = 0,32 \cdot 10^6 \text{ ч}$ , условие надёжности выполняется.



## Список литературы

- [1] Метод структурных схем и оценка безотказности системы: метод. указания/ сост. *С. В. Мрыкин, М. И. Вильчек*. — Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. — 27 с.
- [2] Анализ надёжности системы самолёта на этапе проектирования: метод. указания/ сост. *К. А. Нападов*. — Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. — 17 с.
- [3] Мрыкин, С. В. Последствия функциональных отказов самолётных систем [Текст]: учеб. пособие. — Самара, 2009. — 49 с.