

УДК 629.735.03.062.2:519.248(045)

Енчев С.В., канд. техн. наук

ФОРМИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВИАДВИГАТЕЛЯМИ

Аэрокосмический институт
Национального авиационного университета

Разработана структура статистической модели функционирования и эксплуатации электронной системы управления авиадвигателями, для целей имитационного моделирования статистической модели с помощью логико-статистического метода формализованы процессы ее функционирования

Постановка проблемы

В процессе эксплуатации систем воздушных судов (ВС) накапливается опыт их применения, формируются требования как к их структурному и элементному построению, так и к методам и средствам их эксплуатации. Создание и реализации современных информационных технологий предопределяет возникновение возможностей более полного раскрытия потенциала, повышения эффективности функционирования электронных систем управления авиадвигателями (ЭСУД). В области технической эксплуатации совершенствованию подлежит система технического обслуживания и ремонта (ТОиР), могут быть изменены отдельные показатели этого процесса: периодичность проведения ТОиР, назначенные или межремонтные ресурсы элементов ЭСУД, программы их диагностики, самодиагностики, прогнозирования и др. Кроме того, эти изменения, направленные на повышение эффективности функционирования систем и комплексов ВС должны быть увязаны с установленными уровнями безопасности полета и согласованы со стратегиями ТОиР [1].

Решение совокупности указанных задач является сложной проблемой, которая требует привлечения больших временных, вычислительных и экспериментальных ресурсов. Проведение экспериментов для получения исходной информации на натуральных моделях является очень затратным мероприятием, поэтому для создания базиса для исследований в

области повышения эффективности процесса эксплуатации ЭСУД в работе принят метод логико-статистического моделирования.

Анализ последних исследований и публикаций

В работе [1] рассмотрены методы и модели повышения эффективности функционирования отказоустойчивых систем энергоснабжения, которые напрямую влияют на уровень безопасности полетов, рассмотрена модель неисправности энергосистемы ВС с использованием структурно-логического метода.

Фундаментальные исследования в области статистического моделирования сложных технических систем изложены в [4 – 6]. В работе [2] разработана логико-динамическая модель оценки эффективности функционирования электроэнергетических комплексов ВС, а в [9] сформирован массив информации.

В работах [3, 7] разработана логико-вероятностная модель функционирования ЭСУД системы СУ-77, а также показана возможность оценки технического состояния систем автоматического управления авиадвигателями с помощью обобщенного показателя качества функционирования логико-динамических систем.

Постановка задачи

Задачи настоящего исследования сформулируем и реализуем по направлениям:

– сформулировать методологические основы построения статистических

моделей ЭСУД;

- разработать структурную схему статистической модели ЭСУД;

- формализовать процессы функционирования ЭСУД для целей имитационного моделирования статистической модели.

Принципы построения и исследования статистической модели функционирования и эксплуатации ЭСУД

Выбранный метод статистического моделирования для получения необходимой экспериментальной информации требует соответствующего информационного обеспечения проведения такого эксперимента – необходимо систематизировать и дать характеристику начальным данным эксперимента.

Построение модели функционирования ЭСУД проводится на базе использования логико-вероятностного метода представления сложных систем, а исследование этой модели – путем статистического моделирования процессов, происходящих в системе во взаимодействии с работой экипажа в полете.

На первом этапе построения модели необходимо провести всесторонний анализ объекта моделирования как системы с многокомпонентным входом и выходом. Это могут быть переменные и массивы, характеризующие показатели процессов ее функционирования и технической эксплуатации. Информация входа в основном характеризует исследуемый процесс, а выхода – представляется количественными показателями, которые характеризуют возможные воздействия входной информации на объект моделирования. Множество компонент объекта моделирования находятся в определенных отношениях между собой [8], поэтому необходимо четко представлять каким образом с участием компонент объекта моделирования реакция входа преобразуется в реакцию выхода.

На втором этапе построения модели проводится анализ отказов элементов ЭСУД и их последствия, изменения усло-

вий эксплуатации и возможных ошибок эксплуатирующего персонала. На его основании определяются функционально-логические состояния ЭСУД с разработкой формализованного математического описания процессов изменения ее технического состояния в процессе эксплуатации, а также проводится выбор переменных и массивов используемых для имитации на ЭВМ процесса эксплуатации. После этого можно провести предварительный анализ этапа получения и оценки ожидаемых результатов моделирования и областей применения модели.

Результатом проведения указанных выше работ является создание логической блок-схемы структуры ЭСУД, по которой составляется алгоритм программы имитационного моделирования процессов ее функционирования и эксплуатации, которые используются для оценки функциональной значимости структурных элементов системы, определения степени влияния отказов элементов ЭСУД и ее в целом на показатели надежности и эффективности функционирования ВС, рациональной периодичности проведения проверок состояния элементов ЭСУДЛ.

Структура статистической модели процесса функционирования и эксплуатации ЭСУД приведена на рис.

Информационное обеспечение модели составляется на основе проведения инженерно-логического анализа принципов построения и функционирования ЭСУД и ряда эксплуатационных показателей, характеризующих основные режимы ее ТОиР.

Составляющие информационного обеспечения модели можно подразделить на четыре группы:

- формальное представление принципов построения и функционирования объекта моделирования;

- начальные константы моделирования – данные, характеризующие технико-экономические параметры ЭСУД и процесса ее эксплуатации, являющиеся постоянными для всего периода моделирования в данной итерации;

– массивы-аккумуляторы промежуточных результатов моделирования для данной итерации;

– массивы результатов моделирования.



Рис. Структура статистической модели ЭСУД

Формализация процессов функционирования ЭСУД

Исследование процесса функционирования ЭСУД методом статистического моделирования требует специального представления объекта – его математического описания. В статистических моделях используется логико-статистический метод, который выражает условия работоспособных состояний системы с помощью математического аппарата формальной алгебры логики [5].

Аппарат формальной алгебры логики (ФАЛ) позволяет описать структуру ЭСУД и особенности ее функционирования средствами алгебры логики, а задачи оценки показателей эффективности и надежности осуществить статистическими методами. Представление аппаратом ФАЛ исследуемой системы использует

понятие – пути успешного функционирования, который адекватен некоторому работоспособному состоянию системы.

Состояние системы из n элементов, можно характеризовать n -мерным вектором:

$$E = (e_1, e_2, \dots, e_n),$$

где e_i – булева переменная, которая характеризует состояние i -го элемента: 1 – работоспособен; 0 – в состоянии отказа.

Функцию работоспособности можно записать с помощью так называемых кратчайших путей успешного функционирования и минимальных сечений отказов системы [1, 4].

Кратчайший путь успешного функционирования системы представляет собой такую конъюнкцию ее элементов, ни

одну из компонент которой нельзя изъять, не нарушив функционирования системы. Такую конъюнкцию можно записать в виде следующей ФАЛ:

$$Z_j = \bigcap_{i \in K_{pj}} e_i,$$

где K_{pj} – множество номеров элементов системы, соответствующих данному пути, Z_j – элемент множества Z кратчайших путей успешного функционирования.

Минимальное сечение отказов системы [1, 4] представляет собой такую конъюнкцию из отрицаний ее элементов, ни одну из компонент которой нельзя изъять, не нарушив условия работоспособности системы, что в виде ФАЛ можно записать:

$$S_r = \bigcap_{i \in K_{Sr}} \bar{e}_i,$$

где K_{Sr} – множество номеров, соответствующих данному сечению, S_r – элемент множества S минимальных сечений отказов системы.

Каждая избыточная система имеет конечное число кратчайших путей ($j = \overline{1, d}$) и минимальных сечений ($r = \overline{1, m}$). Тогда условия работоспособности систем можно записать:

1. В виде дизъюнкции всех имеющихся кратчайших путей успешного функционирования

$$z(e_1, e_2, \dots, e_n) = \bigcup_{j=1}^d \left[\bigcap_{i \in K_{pj}} e_i \right].$$

2. В виде конъюнкции отрицаний всех минимальных сечений отказов

$$z(e_1, e_2, \dots, e_n) = \bigcap_{r=1}^m \left[\bigcup_{i \in K_{Sr}} \bar{e}_i \right].$$

Таким образом, совокупность технических состояний ЭСУД, обусловленное различными режимами ее работы, может быть представлено функциональ-

но-логической моделью работоспособности в виде матрицы:

$$M = \begin{pmatrix} \bar{e}_1 & e_2 & \dots & \bar{e}_m \\ e_1 & \bar{e}_2 & \dots & e_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \dots & e_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \dots \\ H_n \end{pmatrix},$$

где H_j – техническое состояние, которое характеризует j -й режим функционирования системы; m – количество функциональных элементов, выделенных при декомпозиции ЭСУД.

Набор таких состояний системы удобно представлять в виде логической матрицы, строками которой являются возможные пути успешного функционирования ЭСУД, а столбцами – состояния каждого элемента системы.

$$P\{z(e_1, e_2, \dots, e_n) = 1\} = \sum_{j=1}^d P(H_j),$$

где $P(H_j)$ – вероятность нахождения системы в H_j -ом состоянии, обеспечивающей j -ый путь ее успешного функционирования.

Структура указанной матрицы позволяет дополнить ее оценкой эффективности функционирования ЭСУД для каждого выделенной в ней пути. Для этого каждую строку матрицы следует дополнить нормированным значением выходного эффекта Φ_j , который соответствует данному пути успешного функционирования.

Тогда эффективность функционирования системы в j -м состоянии в выражениях ФАЛ имеет вид:

$$E_j[z(e_1, e_2, \dots, e_n) = 1] = \begin{pmatrix} P_1(H_j) \cdot \Phi_{1j} \\ P_2(H_j) \cdot \Phi_{2j} \\ \dots \\ P_i(H_j) \cdot \Phi_{ij} \\ \dots \\ P_p(H_j) \cdot \Phi_{pj} \end{pmatrix},$$

где Φ_{ij} – нормированный выходной эффект системы в ее j -ом работоспособном состоянии ($j = \overline{1, d}$) для i -го канала (задачи); $i = \overline{1, p}$ – номер канала системы; $P_i(H_j)$ – вероятность выполнения i -ой задачи в H_j -ом режиме функционирования.

Выражение для оценки эффективности ЭСУД можно представить в виде:

$$E(t) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^d \Phi_{ij} \cdot P_i(H_j).$$

Следующим шагом в формализации процесса функционирования ЭСУД для целей ее моделирования является создание матрицы соединений F ее функцио-

нальных элементов (ФЭ). Наличие таких состояний анализируется для различных режимов $\{H_j\} \in M$. Базой для создания такой матрицы F является ее принципиальная схема, а также описание функционирования в возможных режимах. Для составления указанной матрицы в принципиальной схеме ЭСУД выбирается совокупность функционально-взаимосвязанных элементов. При этом устанавливается, что эта совокупность ФЭ обеспечивает нормальное функционирование ЭСУД. Матрица F соединений элементов имеет m строк и $m+2$ столбца. Табличный вид такой матрицы представлен табл. 1.

Таблица 1. Табличный вид матрицы соединений элементов ЭСУД

Условный номер элемента системы	1	2	...	j	...	m	Обозначение режима работы ЭСУД
1	2	3	...	$j+1$...	$m+1$	$m+2$
1	1	1	...	0	...	0	H_1
2	0	1	...	1	...	0	H_2
...
i	0	0	...	1	...	1	H_i
...
m	0	0	...	0	...	1	H_m

В табл. 1 «1» обозначает взаимосвязанные между собой элементы, таким образом, условно, все элементы, находящиеся на главной диагонали матрицы F будут «1».

Для проведения анализа последствий возможных отказов отдельных элементов ЭСУД на результат ее функционирования необходимо составить матрицу взаимовлияния B ФЭ, которая является производной от матрицы соединений F . В матрице взаимовлияния выделены влияющие и подчиненные области элементов ЭСУД, что обеспечивает полное использование информации о признаках нормального функционирования и отказов элементов ЭСУД. Элементы матрицы B можно получить из элементов $\{f_{ij}\}$

матрицы F с помощью рекуррентных преобразований:

$$b_{i,j}^{(k)} = \begin{cases} 1, & \text{при } \sum_{l=1}^N b_{i,j}^{(k-1)} f_{lj} \neq 0 \\ 0, & \text{при } \sum_{l=1}^N b_{i,j}^{(k-1)} f_{lj} = 0 \end{cases}, \quad k, i, j = \overline{1, m}.$$

Формально вид матрицы B взаимовлияния ФЭ системы представлен табл.2.

После выполнения преобразований матрица B сформирована таким образом, что кодом «1» обозначены элементы в строке, входящие в подчиненную область и элементы в графе, образующие влияющую область. Таким образом, в строках матрицы B «1» обозначена совокупность элементов ЭСУ, оказывающих влияние на k -ый элемент, включая его самого, а в

столбцах - совокупность элементов системы, испытывающих влияние k -го эле-

мента, включая его самого.

Таблица 2. Табличный вид матрицы B взаимовлияний элементов ЭСУД

Условный номер элемента системы	1	2	...	j	...	m	Обозначение режима работы ЭСУД
1	1	1	...	1	...	1	H_1
2	0	1	...	1	...	1	H_2
...
i	0	0	...	1	...	1	H_i
...
m	0	0	...	0	...	1	H_m

Выводы

Применение метода статистического моделирования позволяет автоматизировать процесс множества переборных возможных сочетаний по жребию. Перебор технических состояний системы при наложении нормированных (ранжированных) выходных эффектов, задаваемых в частности, требованиями нормативно-технической документации по производству полетов, ТООР позволяет проанализировать полную картину влияния отказов системы и ее блоков (в том числе и оператора) на выходные эффекты (реакцию системы).

Список литературы

1. Воробьев В.М., Енчев С.В., Ищенко И.М., Захарченко В.А. Обоснование степени отказоустойчивости энергосистем в задачах повышения уровня безопасности полетов и эффективности функционирования воздушных судов // Проблемы информатизации та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 13. – С. 26–34.

2. Воробйов В.М., Захарченко В.П., Кічигін А.А., Єнчев С.В. Формування логіко-динамічної моделі оцінки ефективності функціонування електроенергетичних комплексів // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – 2006. – №3. – С. 34–39.

3. Єнчев С.В., Сильнягін А.О. Формування логіко-імовірнісної моделі функціонування електронної системи управ-

ління авіадвигунами // Електроніка та системи управління. – 2007. – №1(13). – С. 200–205.

4. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.

5. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. – К.: Техніка, 1975. – 312 с.

6. Горский Л.К. Статистические алгоритмы исследования надежности. – М.: Наука, 1970. – 400 с.

7. Єнчев С.В. Прямий метод оцінки якості в задачах оцінки технічного стану систем автоматичного керування авіадвигунами // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2007. – Вип. 2(20). – С. 67–72.

8. Мартин Ф. Моделирование на вычислительных машинах. – М.: Сов. радио, 1987. – 285 с.

9. Воробйов В.М., Кічигін А.А., Захарченко В.П., Єнчев С.В. Формування масиву інформації статистичної моделі управління ефективністю функціонування електроенергетичних комплексів повітряних суден // Матеріали V МНТК «АВІА-2003». – К.: НАУ, 2003. – Т.ІІ. – С. 179–185.