

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ С БОРТА ВОЗДУШНОГО СУДНА В РЕЖИМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Д. А. Затучный

Навигационная информация в режиме автоматического зависимого наблюдения передается по линии передачи данных с борта воздушного судна. Соответственно, возникает проблема оценки достоверности передачи информации такой системой [1].

Предположим, что на основе одного и того же набора элементов, составляющих линию передачи данных с параметрами надежности $p = (p_1, p_2, p_3)$, построены две различные системы с функциями надежности $R(p)$ и $R'(p)$, которые будем называть соответственно основной и опорной.

В качестве опорной сети будем использовать последовательную в смысле надежности систему, т.е. систему, состоящую из элементов, соединенных последовательно, без наличия любого вида резерва (нагруженного или ненагруженного) по любому из этих элементов. Функция надежности такой системы имеет вид

$$R'(p) = \prod_{i=1}^3 p_i^{l_i}, \quad (1)$$

где l_i – это количество элементов i -го типа в системе.

Предположим, что имеется следующая информация о линии передачи данных, используемой во время полета ВС [2]:

1) каждый i -й элемент, входящий в систему, использовался N_i раз или имеется информация по его использованию на других ВС;

2) d_i раз из этого числа происходил отказ. В качестве оценки с вероятностью γ для надежности всей сети берется оценка надежности для одного отдельно взятого типа элемента с минимальным объемом использования во время полета ВС в предположении, что для него получено так называемое «приведенное» число отказов, вычисляемое по формуле

$$D_i = N_i(1 - P), \quad i = 1, \dots, 3, \quad (2)$$

где P – это точечная оценка надежности опорной сети, вычисляемая по формуле

$$P = \prod_{i=1}^m \left(1 - \frac{d_i}{N_i} \right). \quad (3)$$

Нахождение оценки надежности основной системы сводится к задаче нахождения минимума $\underline{R} = \min R(p)$ при ограничениях

$$\prod_{i=1}^3 p_i^{l_i} \geq \underline{R}. \quad (4)$$

Как показывают экспериментальные данные [3], переменную p_i следует представить в виде $p_i = e^{-z_i}$. Далее задача заключается в нахождении максимума функции $f(z)$ при ограничении

$$l_1 z_1 + l_2 z_2 + l_3 z_3 \leq -\ln \underline{R}. \quad (5)$$

Максимум достигается в одной из точек вида

$$z^{(i)} = \{(0, z_i, 0), (z_i, 0, 0), (0, 0, z_i)\},$$

где

$$z_i = -\left(\frac{1}{l_i}\right) \ln R'. \quad (6)$$

В этом легче всего убедиться из геометрических соображений, решая задачу нахождения максимума выпуклой функции на выпуклом множестве.

В случае данной задачи в качестве основной рассматривается сеть связи, представляющая из себя последовательно-параллельную систему. При этом один из ее «элементов» (среда распространения сигнала) не имеет резерва. В этом случае оценка надежности находится по формуле

$$\underline{R} = 1 - \left(1 - \left(\underline{R}'\right)^{\frac{1}{l_i}}\right)^{n_i}. \quad (7)$$

Это следует из того, что функция надежности любой последовательно-параллельной структуры вычисляется по формуле

$$R(p) = \prod_{i=1}^m (1 - q_i^{n_i}). \quad (8)$$

Произведем улучшение метода вспомогательной структуры для получения максимальной оценки надежности линии передачи данных путем введения не одной, а нескольких вспомогательных сетей. В дальнейшем этот метод будет называться МВС II. Для этого необходимо рассмотреть все возможные виды областей, основанных на соотношениях $>$ и $<$ между величинами z_i .

Таких областей для системы, состоящей из трех элементов, насчитывается $3! = 6$. Критических точек в общем случае по всем таким областям будет $2^3 = 8$.

На каждой из таких областей мы подбираем для нашей основной системы свою вспомогательную сеть, по каждой из них находим минимум способом, описанным выше, и далее из этих минимумов находим минимальное значение, которое и будет являться оценкой надежности линии передачи данных с борта ВС.

Рассмотрим пример. Пусть на борту ВС используется линия передачи данных, данные об объеме использования по каждому типу элемента и количестве элементов по каждому типу мы занесем в табл. 1.

Таблица 1

Информационные данные о линии передачи данных

i	1	2	3
N_i	N_1	N_2	N_3
d_i	d_1	d_2	d_3
n_i	n_1	n_2	n_3

В табл. 1 приняты следующие обозначения:

N_i – объем использования каждого типа элемента; d_i – количество отказов по каждому типу элемента; n_i – количество элементов i -го типа.

Функция надежности такой системы имеет вид

$$R(p) = \prod_{i=1}^3 (1 - (1 - p_i)^{n_i}). \quad (9)$$

Будем находить минимум этой функции по области, заданной ограничениями

$$\sum_{i=1}^3 l_i z_i \leq -\ln R',$$

$$z_1 \leq z_2 \leq z_3.$$
(10)

Область $z_1 \leq z_2 \leq z_3$ обозначим как G_m .

Оценка вероятности безотказной работы такой системы при заданной дополнительной информации такого рода будет находиться как минимальная из величин [4]:

$$\left[1 - \left(1 - \left(R' \right)^{\frac{1}{l_3}} \right) \right], \left[\left(1 - \left(R' \right)^{\frac{1}{l_2 + l_3}} \right)^{n_2} * \left(1 - \left(R' \right)^{\frac{1}{l_2 + l_3}} \right)^{n_3} \right],$$

$$\left[\left(1 - \left(R' \right)^{\frac{1}{l_1 + l_2 + l_3}} \right)^{n_1} * \left(1 - \left(R' \right)^{\frac{1}{l_1 + l_2 + l_3}} \right)^{n_2} * \dots * \left(1 - \left(R' \right)^{\frac{1}{l_1 + l_2 + l_3}} \right)^{n_3} \right].$$
(11)

Очевидно, что оценка вероятности безотказной работы системы, полученная методом вспомогательной структуры, улучшается по мере увеличения разбиения области и использования вспомогательной структуры по каждому элементу разбиения. Этот факт следует из того, что точки $z^{(i)}$, по которым ищется оценка вероятности безотказной работы в случае меньшего разбиения области, входят как составная часть в состав точек для большего разбиения, т.е.

$$G_m \in G_{m+1}$$
(12)

и, следовательно,

$$\underline{R}_{MBC(m)} \leq \underline{R}_{MBC(m+1)}.$$
(13)

Преимущества, которые дают методы вспомогательной структуры по сравнению с методами плоскости и прямоугольника, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение методов вспомогательной структуры с методами плоскости и прямоугольника
 $N_1 = 50 \ N_2 = 20 \ N_3 = 10 \ n_1 = 2 \ n_2 = 1 \ n_3 = 3$

Количество отказов по каждому типу канала связи	МВС II	МВС I	Метод прямоугольника	Метод плоскости
$d1 = 0 \ d2 = 0 \ d3 = 0$	0,9550	0,9550	0,8911	0,9550
$d1 = 0 \ d2 = 0 \ d3 = 1$	0,9375	0,9314	0,8437	0,9242
$d1 = 0 \ d2 = 0 \ d3 = 2$	0,8832	0,8706	0,7733	0,8970
$d1 = 0 \ d2 = 1 \ d3 = 0$	0,9242	0,9242	0,8580	0,9242
$d1 = 0 \ d2 = 2 \ d3 = 0$	0,8970	0,8900	0,8294	0,8970
$d1 = 1 \ d2 = 0 \ d3 = 0$	0,9403	0,9245	0,8630	0,9242
$d1 = 2 \ d2 = 0 \ d3 = 0$	0,9144	0,9042	0,8301	0,8970
$d1 = 1 \ d2 = 1 \ d3 = 1$	0,8898	0,8612	0,7868	0,8320
$d1 = 2 \ d2 = 8 \ d3 = 1$	0,6599	0,5492	0,6038	0,5004

Из сравнения 2-го и 3-го столбца табл. 2 можно сделать следующие выводы:

1) оценка вероятности передачи достоверной информации линией передачи данных, полученная методом, основанным на введении опорных систем, тем выше, чем больше мы используем опорных систем, т.е. чем сильнее разбиение области, по которой ищется максимум;

2) в случае отсутствия отказов по каждому элементу (эта информация может быть получена из информации о полетах других ВС или в случае использования систем, структура которых в чем-то аналогична исходной) оценка вероятности передачи достоверной информации линией пе-

редачи данных, полученная методом вспомогательной структуры, не улучшается с увеличением числа опорных систем.

Список литературы

1. Юрков, Н. К. Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Н. К. Юрков, П. Г. Андреев, А. С. Жумабаева // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т.1. – С. 201–203.
2. Исследование программных пакетов моделирования влияния электромагнитных воздействий на изделия радиоэлектронных средств / С. А. Бростилов, Т. Ю. Бростилова, Н. К. Юрков, Н. В. Горячев, В. А. Трусов, В. Я. Баннов, А. О. Бекбаулиев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 206–209.
3. Акиншин, Р. Н. Методика оценки эффективности автоматизированных радиолокационных систем контроля в зоне ответственности / Р. Н. Акиншин, В. А. Ушаков, Д. В. Морозов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2011. – № 168 (6). – С. 66–76.
4. Затучный, Д. А. Оценка вероятности безотказной работы при передаче информации / Д. А. Затучный // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2013. – № 198. – С. 88–90.

Затучный Дмитрий Александрович

кандидат технических наук, профессор,
кафедра вычислительных машин, комплексов,
систем и сетей,
Московский государственный технический
университет гражданской авиации
(125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, 20)
E-mail: zatuch@mail.ru

Zatuchnyy Dmitriy Aleksandrovich

candidate of technical sciences, professor,
sub-department of calculable machines, complexes,
systems and networks,
Moscow State Technical University of Civil Aviation
(125993, 20 Kronshtadtskiy boulevard,
Moscow, Russia)

Аннотация. *Актуальность и цели.* Автоматическое зависимое наблюдение (АЗН) является перспективным режимом в управлении воздушным движением. Суть АЗН заключается в том, что навигационная информация, полученная от спутниковых радионавигационных систем (СРНС) на борту воздушного судна, передается по линии передачи данных с борта воздушного судна в наземные службы УВД в цифровой форме. Таким образом, безотказная работа линии передачи данных является необходимым условием для функционирования АЗН и обеспечения безопасности полетов за счет качественного обмена информацией. Соответственно, возникает проблема оценки достоверности передачи информации такой системой. *Материалы и методы.* Перспективным методом для решения этой задачи является использование статистической информации по эксплуатации систем, состав которых аналогичен исходной. В качестве вспомогательной системы предлагается использовать систему, состоящую из элементов, соединенных последовательно, без наличия любого вида резерва (нагруженного или ненагруженного) по любому из этих элементов. Основным используемым математическим методом является метод линейного программирования, т.е. для данного случая нахождение минимума функции надежности линии передачи данных с борта воздушного судна, представляющей собой последовательно-параллельную структуру с ограничением параметров на вспомогательную систему. *Результаты.* Получена формула оценки достовер-

Abstract. *Background.* An automatic dependent supervision (ADS) is the perspective mode in air traffic control. Essence of ADS consists in that the navigation information got from the satellite radionavigation systems (SRNS) aboard an air ship is passed on DTL from an aircraft side in the surface servings as ATM in a digital form. Thus, faultless work of DTL is a necessary condition for functioning of ADS and providing of safety of flights due to a quality exchange information. Accordingly, there is a problem of estimation of authenticity of information transfer such system. *Materials and methods.* A perspective method for the decision of this task is the use of statistical information on exploitation of the systems composition of that is analogical to initial. As an auxiliary system it is suggested to use the system, consisting of the elements united consistently, without the presence of any type of reserve (loaded or unloaded) on any of these elements. The basic used mathematical method is a method of the linear programming, id est for this case being of a minimum of function of reliability of DTL from an aircraft side, being a consistently-parallel structure with the limit of parameters on auxiliary. *Results.* The formula of estimation of authenticity of information transfer is got on DTL. Modernisation of the offered method is produced due to the use not alone, and a few ancillariess. Results over of comparison of method are brought with the known methods of estimation of reliability of the systems – methods of plane and rectangle. Drawn conclusion, in what cases the offered method gives more exact estimation. *Conclusions.* An estimation of probability of reliable information transfer

ности передачи информации по линии передачи данных. Произведена модернизация предложенного метода за счет использования не одной, а нескольких вспомогательных систем. Приведены результаты сравнения метода с известными методами оценки надежности систем – методами плоскости и прямоугольника. Сделан вывод, в каких случаях предложенный метод дает более точную оценку. *Выводы.* Оценка вероятности передачи достоверной информации по линии передачи данных предложенным методом является более точной, чем у известных методов решения данной задачи. Оценка вероятности передачи достоверной информации линией передачи данных, полученная методом, основанным на введении опорных систем, тем выше, чем больше мы используем опорных систем.

Ключевые слова: автоматическое зависимое наблюдение, основная и опорная система, максимум функции, отказ системы.

on DTL by the offered method is more exact, than at the known methods of decision of this task. Estimation of probability of reliable information transfer DTL, got the method, based on introduction of the supporting systems the higher, than anymore we use supporting systems.

Key words: automatic dependent supervision, main and basic system, function maximum, system failure.

УДК 621.396.98.004.1

Затучный, Д. А.

Статистическая оценка достоверности навигационной информации, передаваемой с борта воздушного судна в режиме автоматического зависимого наблюдения / Д. А. Затучный // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4 (16). – С. 46–50. DOI 10.21685/2307-4205-2016-4-7.