

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод, что рассмотренная схема построения адаптивной ГЗА позволяет подавлять одну помеху в пределах центрального лепестка ДН и до 3–4 помех в пределах боковых лепестков ДН антенны.

При этом сохраняется уровень сигнала в остальной зоне обслуживания при подавлении четырех помех одновременно.

Алгоритм обладает хорошим быстродействием, что позволит оперативно подавлять помеху в пределах ЗО (синтез АФР до 0,5 с).

Как показывают расчеты, подавление помехи на 30 дБ достигается без существенного искажения ДН антенны, что позволит сохранить уровень сигнала для всей ЗО.

Библиографические ссылки

1. Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н. Антенны УКВ : в 2 ч. Ч. 1. М. : Связь, 1977.
2. Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н. Антенны УКВ : в 2 ч. Ч. 2. М. : Связь, 1977.
3. Richard C. Johnson Antenna Engineering Handbook ; 3 Johnson, 1983.

V. N. Tyapkin, A. S. Pershin, D. D. Dmitriev, T. G. Moshkina

ADAPTIVE MULTIBEAM ANTENNAS

One of the adaptive antenna versions enabling to suppress interference from the set direction on retention of signal level within the greatest area of the footprint is given.

Keywords: space vehicle, adaptive multibeam antennas, cluster.

© Тяпкин В. Н., Першин А. С., Дмитриев Д. Д., Мошкина Т. Г., 2012

УДК 629.735.064

Л. Г. Шаймарданов, О. Г. Бойко, А. В. Любимцев

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД РИСК-АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Разработан метод статистического анализа безопасности полетов, основанный на использовании положений теории выбросов случайных процессов.

Ключевые слова: безопасность, риск-анализ, эксплуатация, надежность, катастрофа.

События, связанные с безопасностью, принято подразделять на нарушения, происшествия, аварии и катастрофы. В соответствии со статистикой Международной организации гражданской авиации (ИКАО): число аварий и катастроф примерно одинаково, на одну катастрофу приходится 200–300 инцидентов, требующих изменения плана полетов, 300–400 инцидентов, не требующих изменения плана полетов. Изменение плана полета – вынужденная посадка с возвратом на свой аэродром либо вынужденная посадка на один из запасных аэродромов предусмотренных в плане полета.

Методы риск-анализа реализуются чаще всего статистическими моделями [1; 2]. Статистика аварий и катастроф в пределах одного государства крайне незначительна. В большинстве авиакомпаний их вообще не было. В связи с этим методы риск-анализа, направленные на использование в авиакомпаниях, целесообразно разрабатывать ориентируясь на статистику нарушений нормальной эксплуатации (ННЭ), приводящих к инцидентам. Вместе с этим, следует иметь в виду, что степень возможной близости ННЭ

к катастрофе является важной характеристикой нарушения.

Нарушения нормальной эксплуатации связаны не только со снижением надежности. Это могут ошибки персонала, допущенные при техническом обслуживании, ошибки летной и технической эксплуатации самолета в полете, ошибки метеослужбы, службы управления воздушным движением и ошибки, допускаемые в работе других звеньев авиатранспортной системы.

В гражданской авиации тяжесть любого ННЭ, проявившегося в полете, зависит от этапа и условий полета. Они имеют известные статистические оценки в виде статистических вероятностей реализации ННЭ на различных этапах полета либо при различных условиях полета. Кроме того, исследования ННЭ зависят от дальнейших сопутствующих событий, к которым можно отнести реакцию экипажа на ННЭ, возможность реализации других ННЭ совместно с первым. В работе [2] для анализа развития событий последующих за ННЭ, предложено использовать метод построения «дерева событий». Для каждого произ-

вольного нарушения можно выделить ряд последовательностей развития событий и для каждого из них рассчитать вероятность перехода ННЭ в катастрофу. Тогда сумма этих вероятностей определит тяжесть (рейтинг) нарушения в виде вероятности перехода нарушения в катастрофу.

Эксплуатация любого объекта, в том числе и самолета, всегда сопровождается ННЭ. Каждое из этих ННЭ можно охарактеризовать определенным значением рейтинга, изменяющимся в определенных пределах. В нормальной эксплуатации такие колебания рейтинга носят случайный характер. Избежать ННЭ и колебаний рейтинга практически невозможно. Верхний предел таких естественных колебаний рейтинга необходимо определить как допустимую границу изменений рейтинга. Тогда выход за эту границу (выброс случайного процесса) будет означать, что рассматриваемое нарушение не относится к категории ННЭ и требуется незамедлительный анализ и устранение причин нарушения.

Определение верхней границы рейтинга ННЭ представляет определенные трудности. Так, в работе [2] верхняя граница ННЭ определена из предположения о том, что рейтинги распределены по нормальному закону. Каких-либо подтверждений и обоснований этого предположения в [2] не приведено. Характер изменения плотности распределения вероятности нормального закона предполагает наличие центра распределения случайной величины и ее отклонений от центра, вызванных воздействием многих случайных факторов.

Примеров тому множество: распределение отклонений при стрельбе от центра прицеливания, распределение отклонений размеров детали от заданного номинального размера и т. п. Для рейтингов ННЭ такого центра нет, как нет и оснований для его определения.

Потоки ННЭ являются потоками редких событий. Это утверждение справедливо по крайней мере для потоков ННЭ самолетов гражданской авиации. Распределения потоков редких событий, во всех случаях, с достаточным для критических целей приближением допустимо моделировать распределением Пуассона. Для потоков отказов агрегатов, систем самолетов гражданской авиации и самих самолетов это подтверждено практикой их эксплуатации. В связи с изложенным, есть все основания предполагать, что потоки рейтингов также являются Пуассоновскими. В работе [3] показано, что для Пуассоновского потока событий случайной величины математической моделью ее распределения является распределение с равномерной плотностью вероятности.

С учетом предложенных допущений предлагаемый метод риск-анализа безопасности содержит следующие этапы. На первом этапе определяется перечень возможных исходных событий (ИС) ННЭ и вероятности их реализации Q_{ij} с учетом этапа полета. Вероятность исходного события на определенном

этапе полета определится как произведение вероятности Q_{ij} на вероятность этапа полета Q_3 :

$$Q_{uj3} = Q_{ij} \cdot Q_3. \quad (1)$$

Затем выполняется анализ возможных путей развития последующих событий для каждого этапа полета с использованием «дерева событий». Для каждого из путей «дерева событий» определяется вероятность отказа системы, как вероятность совместной реализации событий по рассматриваемому пути и в соответствии с теоремой умножения вероятности определится следующим образом:

$$Q_{uji} = Q_{ij} \cdot Q_3 \cdot Q_1 \dots Q_k, \quad (2)$$

где $Q_1 \dots Q_k$ – вероятность возможной реализации событий по i -му пути «дерева событий».

Рассмотрим пример построения дерева событий для ИС разрушения корпуса гидронасоса на самолете Ту-154М. На самолете установлены три параллельно работающие гидросистемы. Но только 2 гидробака, т. е. две системы, обеспечиваются гидрожидкостью из одного гидробака. Разрушение корпуса гидронасоса приводит к вытеканию гидрожидкости из гидросистемы, и она становится неработоспособной.

Первый путь развития событий следует положить состоящим только из одиночного отказа рассматриваемого гидронасоса. Гидронасосы НП-89, установленные в гидросистеме Ту-154, отказывают с разрушением корпуса с вероятностью $Q_{и.н} = 2,15 \cdot 10^{-5}$ за 1 час полета. Поскольку в гидросистеме только два гидробака, то вероятность отказа насоса в двух гидросистемах, запитанных из одного гидробака, равна $2/3 Q_{и.н}$ и в гидросистеме, запитанной из отдельного гидробака – $1/3 Q_{и.н}$. Полагаем, что в течение рассматриваемого часа полета другие отказы в гидросистеме не реализуются. Поскольку хотя бы одна ветвь гидросистемы остается работоспособной, то она обеспечивает питание всех потребителей и вероятность катастрофической ситуации равна нулю.

Последующие i -е пути рассматриваемого j -го ИС существенно более опасны. Это могут быть разрушение гидронасоса в работоспособной гидросистеме, разрушение гидрошланга в ней, отказ электрогидрокрена кольцевания гидросистем и т. п. Поскольку вероятности отказов имеют порядок 10^{-5} – 10^{-6} , то вероятность i -й катастрофической ситуации будет иметь порядок 10^{-10} – 10^{-11} , что вполне удовлетворяет Нормам летной годности [4], в соответствии с которыми вероятность катастрофической ситуации должна быть не более 10^{-9} на 1 час полета.

Сумма вероятностей i -х путей j -го ИС в [2] определена как рейтинг j -го ННЭ:

$$Q_{uj} = \sum_{i=1}^k Q_{uji}. \quad (3)$$

Поскольку эксплуатация осуществляется во времени, то опасности Q_{uj} строятся в виде временного ряда.

В процессе эксплуатации любых технических объектов и самолетов в частности ННЭ реализуется всегда.

При нормальной (безопасной) эксплуатации ННЭ не приводят к опасным последствиям. В связи с этим необходимо определить границы безопасности нормальной эксплуатации, превышение которых, выбросы за их пределы будем классифицировать как предвестники катастроф.

При приведенных допущениях можно определить верхнюю UCL и нижнюю LCL границы нормальной эксплуатации. Для этого найдем среднюю линию (средний уровень) рейтингов:

$$\bar{Q}_u = \frac{\sum_{j=1}^m Q_{ij}}{m}, \quad (4)$$

где m – число исходных событий за рассматриваемый период времени.

Для определения границ нормальной эксплуатации воспользуемся безразмерным коэффициентом вариации

$$v = \frac{\sigma}{M}, \quad (5)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение случайной величины; M – математическое ожидание случайной величины.

Поскольку Пуассоновский поток событий предполагает распределение вероятностей событий с равномерной плотностью [5], коэффициент вариации определится как $v = 0,577$.

Тогда

$$UCL = \bar{Q}_u + 0,577 \bar{Q}_u = 1,577 \bar{Q}_u \quad (6)$$

и

$$LCL = \bar{Q}_u - 0,577 \bar{Q}_u = 0,423 \bar{Q}_u. \quad (7)$$

Превышение значения UCL каким-либо Q_{ij} (выброс) означает ННЭ и неотложную необходимость оценки обстоятельств возникновения j -го исходного события и принятия мер по их устранению. Нахождение всех значений Q_{ij} -х в пределах установленных границ говорит о том, что процесс управляем и не требует вмешательства. При этом улучшение выполняемых работ в пределах установленных норм и правил не увеличит безопасность. Для ее увеличения необходима коренная перестройка всего процесса.

Разработанный метод прост в применении и может быть использован во всех службах авиатранспортной системы для увеличения безопасности полетов.

Библиографические ссылки

1. Вероятностный риск-анализ конструкций технических систем / А. М. Лепихин, Н. А. Махутов, В. В. Москвичев и др. Новосибирск : Наука, 2003.
2. Александровская Л. Н., Аронов Н. З. Безопасность и надежность технических систем. М. : Универ. книга : Логос. 2008.
3. Венцель Е. С. Теория вероятностей / Государственное изд. ф.-м. литературы. М., 1962.
4. АП-26. Авиационные правила. Нормы летной годности. М. : МАК, 1994.
5. Сугак Е. В., Василенко Н. В., Назаров Г. Г. Надежность технических систем. Красноярск : МПГ «Раско», 2001.

L. G. Shaymardanov, O. G. Boyko, A. V. Lyubimcev

FLIGHT SAFETY RISK ANALYSIS STATISTICAL METHOD

A method of statistical analysis of flight safety based upon usage of random processes outliers theory statements is developed.

Keywords: safety, risk-analysis, exploitation, reliability, catastrophe.

© Шаймарданов Л. Г., Бойко О. Г., Любимцев А. В., 2012