

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА ИНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО ОЦЕНИВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

к. т. н. С. М. Гладкин (ВВИА им. Н.Е. Жуковского),
д. т. н., проф. А. Г. Гузий,
(ВВИА им. Н.Е. Жуковского, ООО «Волга-Днепр-Москва»)

Рассматривается возможность применения интервального анализа в управлении рисками, а именно: при решении задачи количественного оценивания факторов риска авиационного происшествия (АП) в условиях неопределенности и неоднозначности, при учете связей факторов риска АП, обусловленных изменением внешних условий или характеристик воздушного судна в процессе старения (модернизации).

Концепцией предотвращения авиационных происшествий (ПАП) через управление уровнем безопасности полетов (БП) [1] предусматривается априорное количественное оценивание факторов риска авиационного происшествия (АП) и условной вероятности развития авиационных событий под влиянием этих факторов. Решение проблемы предполагает [2] исключение (минимизацию) случайных составляющих, активизацию теоретических исследований с целью определения главных, промежуточных и непосредственных причин АП, установление наличия или отсутствия способствующих и препятствующих факторов (с количественной оценкой их значимости), распространяемости причин и факторов на эксплуатируемые воздушные суда (ВС) и эксплуатирующие и обеспечивающие эксплуатацию органы. При этом предлагается исследовать возможности практического использования основных положений системного анализа, теории случайных процессов, нечетких множеств, нечеткой и парадоксальной логики, причинности, принятия решений, управления, кибернетики, искусственного интеллекта и др. [2, 3].

В основе управления уровнем БП предполагается использование схемы поэтапного многоконтурного управления надежностью функционирования человеко-машинных систем [4]. Такая схема предусматривает:

- три этапа жизненного цикла авиационной системы (проектирование, производство, эксплуатация) и, соответственно, три разновидности испытаний;

- отбор и подготовку персонала с соответствующим контролем его профессионального уровня на этапе эксплуатации ВС.

Под персоналом здесь и далее понимается как летный, так и наземный состав, задействованный в подготовке, выполнении и обеспечении полетов.

Управляющая характеристика уровня БП обозначена через x , а ее входные и выходные значения соответственно $x_{вх}$, $x_{вых}$. Упорядоченные множества входных ($x_{вх1}, x_{вх2}, \dots, x_{вхN}$) и выходных ($x_{вых1}, x_{вых2}, \dots, x_{выхM}$) величин представлены векторами $X_{вх}$, $X_{вых}$ размером N и M соответственно. В

техническом задании (ТЗ) на разработку ВС определяется входной для этапа проектирования вектор заданных характеристик $X_{зад}$. Выходной вектор этапа проектирования – вектор $X_{пр}$ – на этапе изготовления является входным. Выходным на этапе изготовления является вектор $X_{изг}$, который одновременно служит входным для этапа эксплуатации. Выходной вектор на этапе эксплуатации – вектор $X_{экс}$.

Для оценки качества обеспечения требуемого уровня БП на каждом из этапов проводятся испытания (контроль, оценка, прогноз).

Представляется возможным и целесообразным дополнить список возможных вариантов используемых теорий перспективной технологией, основанной на методологии одного из вариантов модификации функций нечеткой логики – интервального анализа. Интервальный анализ и его специфичные методы имеют наивысшую ценность в задачах, где неопределенности и неоднозначности возникают с самого начала, будучи неотъемлемой частью постановки задачи.

Интервальный анализ в настоящее время является стремительно развивающейся отраслью знаний на стыке наук: математики, биологии, физики, информатики, логики и проектирования ЭВМ. Изучение структуры головного мозга и механизмов его работы привело к развитию новых вычислительных моделей, пригодных для решения таких сложных задач, как распознавание образов, моделирование, быстрое преобразование информации, управление и идентификация [5, 6].

Первоначально возникшие как средство автоматического учета ошибок округлений при счете на ЭВМ, методы интервального анализа оказались весьма конструктивными и полезными в прикладном аспекте. В результате появились интервальная арифметика, интервальный анализ, интервальная алгебра, интервальная топология, интервальные методы решения задач вычислительной математики, оптимального управления, биологии и т.д., и за рубежом стали использовать предложенный в 1974 г. термин «интервальная математика». Это, возможно, небезупречно звучащее название, достаточно точно отражает общий характер исследований в данном направлении. Впрочем, в советской, а теперь российской научной литературе чаще придерживаются термина «интервальный анализ».

Интенсивное развитие и проникновение в различные области математики интервальных методов привело к проведению в 1975 г. Первого Международного симпозиума по интервальной математике. Второй симпозиум был проведен в 1980 г. В Советском Союзе первая небольшая по объему монография, посвященная интервальным методам [5], вышла в свет в 1981 году. На первом в нашей стране совещании по интервальной математике (Красноярск, 1984 г.) отмечалась необходимость издания монографии, в которой бы систематически излагались основы и методы интервального анализа. Результатом этого стала вышедшая в 1986 г. книга Калмыкова С. А., Шокина Ю. И., Юлдашева З. Х. «Методы интервального анализа» [6]. За прошедший с тех лет период времени вышли в свет сотни

изданий, посвященных данной проблеме, как за рубежом, так и в нашей стране.

Суть классической интервальной арифметики состоит в следующем.

Пусть R – множество всех вещественных чисел. Под интервалом $[a, b]$, $a \leq b$, всюду ниже, если не оговорено противное, понимается замкнутое ограниченное подмножество R вида:

$$[a, b] = \{x \mid x \in R \wedge a \leq x \leq b\}.$$

Множество всех интервалов обозначается через $I(R)$. Элементы $I(R)$ будут записываться прописными буквами. Если A – элемент $I(R)$, $A \in I(R)$, то его левый и правый концы обозначаются как \underline{a}, \bar{a} : $A = [\underline{a}, \bar{a}]$.

Арифметические операции над интервальными числами определяются следующим образом.

Пусть $*$ $\in \{+, -, \cdot, /\}$, $A, B \in I(R)$. Тогда:

$$A * B = \{a * b \mid a \in A, b \in B\},$$

причем в случае деления $0 \notin B$.

Однако некоторые, присущие интервальной арифметике, свойства такие, как $A - A \neq 0$, $A / A \neq 1$ и т.п. в ряде случаев приводят к возрастанию ширины получаемых в результате вычислений интервалов. Поэтому в дальнейшем целесообразно перейти и использовать обобщенную интервальную арифметику, предложенную Хансеном, которая позволяет во многих случаях уменьшить влияние упомянутых выше отрицательных свойств обычной интервальной арифметики.

В дальнейшем удобно представить интервал $X = [\underline{x}, \bar{x}]$ в виде $X = y + [-c, c]$,

где $y = m(X)$, $c = (1/2)\omega(X) \geq 0$.

Таким образом, произвольная точка $x \in X$ записывается в виде:

$$x = y + \xi, \xi \in [-c, c].$$

Допустим, требуется найти интервал, содержащий множество значений рационального выражения, зависящего от n переменных, изменяющихся в исходных интервалах X_1, X_2, \dots, X_n . Представим каждую переменную $x_i \in X_i$ в виде $x_i = y_i + \xi_i, \xi_i \in [-c, c]$. Как будет показано ниже, каждый интервал \tilde{X}_i , полученный из X_1, X_2, \dots, X_n в процессе вычислений, можно выразить следующим образом:

$$\tilde{X}_i = Y_i + \sum_{r=1}^n \xi_r Z_{ir},$$

где $Y_i, Z_{ir}, i = 1, 2, \dots, n; r = \overline{1, n}$ – некоторые интервалы, а $\xi_r \in [-c_r, c_r]$.

Интервал \tilde{X}_i записан в виде представленной выше суммы и называется обобщенным интервалом.

Полагая $Y_i = [y_i, y_i]$, $Z_{ii} = [1,1]$, $Z_{ir} = [0,0]$, $r \neq i$, $\xi_r = [-c_r, c_r]$,
имеем $\tilde{X}_i = X_i$.

Определим теперь арифметические операции над обобщенными интервалами.

$$\text{Пусть } X_i = Y_i + \sum_{r=1}^n \xi_r Z_{ir}, \quad X_j = Y_j + \sum_{r=1}^n \xi_r Z_{jr}.$$

Положим $X_i * Y_j = Y_k + \sum_{r=1}^n \xi_r Z_{kr}$, где $*$ $\in \{+, -, \cdot, / \}$. Для каждой из этих

операций в отдельности правила вычисления интервалов Y_k, Z_{kr} следующие:

$$\text{сложение } Y_k = Y_i - Y_j,$$

$$Z_{kr} = Z_{ir} - Z_{jr}, \quad r = \overline{1, n};$$

$$\text{вычитание } Y_k = Y_i + Y_j,$$

$$Z_{kr} = Z_{ir} + Z_{jr}, \quad r = \overline{1, n};$$

$$\text{умножение } Y_k = Y_i Y_j + \sum_{r=1}^n [0, c_r^2] Z_{ir} Z_{jr},$$

$$\begin{aligned} Z_{kr} &= Y_i Z_{jr} + Y_j Z_{ir} + Z_{ir} \sum_{s=1}^n [-c_s, c_s] Z_{js} = \\ &= Y_i Z_{jr} + Y_j Z_{ir} + [-1, 1] \cdot |Z_{ir}| \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq r}}^n c_s |Z_{is}|; \end{aligned}$$

Привлекательность использования интервальной арифметики состоит в отсутствии необходимости заранее точно определять детализированную математическую модель для физической системы, достаточно вводить нечеткость в задании входных данных и в виде интервалов обрабатывать дальше данные нечеткие измерения, получая на выходе интервальные же оценки важных для нас параметров.

Как уже отмечалось ранее, интервальные методы возникли как средство автоматического учета ошибок округления в вычислительных процессах.

Применение интервальных методов позволяет заключить в интервалы решения задач, о входных данных которых известно лишь то, что они заданы не точно, с некоторой погрешностью. При этом в полученные интервалы включаются и встречающиеся в процессе вычислений ошибки округлений. Основным элементом в интервальном исчислении является интервал. Используя для решения некоторой поставленной задачи интервальный алгоритм, можно получить интервальную функцию, содержащую ее точное решение. При этом достигается автоматический учет точности полученного решения и возможный априорный анализ влияния ошибок округления.

Таким образом, при помощи интервального анализа можно успешно учитывать связи факторов риска АП, обусловленных изменением

окружающей среды или изменением характеристик, связанных со старением (износом) ВС, которые подвержены отклонениям от первоначальных (первоначально заданных). Кроме того, интервальные архитектуры обладают отказоустойчивостью в смысле монотонного, а не катастрофического изменения качества решения задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №06-08-01518

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гузий А. Г., Онуфриенко В. В.* Методология предотвращения авиационных происшествий через активное управление уровнем безопасности предстоящих полетов.// Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. –М.: ВИНТИ, 2006, № 3.
2. *Гузий А. Г., Малевинский Ю. А.* Концепция предотвращения авиационных происшествий и управление уровнем безопасности полетов./ Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий (Выпуск 16). – М.: Полиграф, 2004.
3. *Гладкин С. М., Гузий А. Г., Онуфриенко В. В.* Нейросетевой подход к разработке интеллектуальной информационно-аналитической системы управления уровнем безопасности полетов.// Проблемы безопасности полетов. – М.: ВИНТИ. – 2007, № 9.
4. *Гузий А. Г.* Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронной аппаратуры. - М.: ФВА РВСН, 1999.
5. *Шокин Ю. И.* Интервальный анализ. – Новосибирск.: Наука, 1981.
6. *Калмыков С. А., Шокин Ю. И., Юлдашев З. Х.* Методы интервального анализа. – Новосибирск.: Наука, 1986.