

Критериальная база ранжирования альтернативных методов исследования проблем безопасности полетов в условиях неопределенности проектирования самолетов гражданского назначения

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Рассмотрена специфика процессов и явлений, развивающихся на гражданском самолете при эксплуатационных повреждениях элементов его планера и отказах бортовых систем, а также система неопределенностей, характерная для проведения экспериментальных исследований проблем надежности и эксплуатационной живучести проектируемых самолетов. Именно ими определяются эффективность и сама возможность применения для таких исследований того или иного метода. Степень соответствия каждого метода совокупности критериев оценивается весовыми коэффициентами, назначаемыми группой экспертов, включающей в себя специалистов разного профиля. Для обработки результатов их работы предложено использовать нечетко-множественный подход.

Ключевые слова: проектирование воздушных судов гражданского назначения, многокритериальный подход, методы исследования безопасности полетов, метод экспертных оценок, нечетко-множественный подход.

Повышение надежности и безопасности полетов — одна из основных, наиболее актуальных проблем развития как авиационной, так и ракетно-космической техники [1]. Решают ее комплексно, охватывая практически все этапы жизненного цикла [2] летательного аппарата (ЛА) от его концептуального и эскизного проектирования до эксплуатации, ремонта и продления ресурса. Характерно, что практически одну и ту же базу знаний используют в весьма далеких, казалось бы, областях, а именно:

- проектирование, испытание, производство и эксплуатация гражданских воздушных судов (ВС), как пилотируемых, так и беспилотных, включая поиск методов продления их ресурса и анализ остаточных функциональных возможностей;
- проектирование самолетов и вертолетов военного назначения (пилотируемых и беспилотных);
- анализ эффективности как отечественных, так и зарубежных комплексов противовоздушной обороны (ПВО);
- расследование причин авиационных происшествий (АП) и разработка мероприятий по их предотвращению;
- проектирование научно-исследовательских беспилотных летательных аппаратов (НИБЛА).

И применяемые при этом проектно-конструкторские решения, и методы экспериментального исследования их эффективности и компьютерного моделирования происходящих при этом процессов фактически аналогичны. Однако любой процесс разработки интеллектуальной продукции осуществляется в условиях неопределенности, и именно совокупности неопределенностей, сопровождающих решение проблем в указанных областях, определяют значительные отличия в методах их решения.

Традиционный подход к проблеме принятия решений основан на использовании классических методов многокритериального анализа и предполагает разработку и создание сложных, зачастую многоуровневых, систем поддержки принятия решений. Однако задачи принятия решений в условиях неопределенности являются либо слабоструктурированными, либо неструктурированными. Поэтому использование классических «жестких» алгоритмов моделирования сложных систем, предполагающих регламентированную постановку задачи и пошаговый процесс получения результатов, в этих случаях может оказаться малоэффективным, так как предполагает обработку точных, полных и непротиворечивых числовых исходных данных, что может не соответствовать высокому уровню неопределенности решаемой задачи.

Применение теории нечетких множеств [3, 4] совместно с методами алгебры логики обеспечивает решение проблемы принятия решений в условиях неопределенности. Принципиальной особенностью задач поддержки принятия решений в условиях неопределенности [5] является то, что измерения входных и выходных данных выполняют на уровне «мягких измерений». Использование понятия «лингвистическая переменная» позволяет адекватно отразить приблизительное словесное описание параметров и состояний объекта или процесса в тех случаях, когда точное описание либо отсутствует, либо является слишком сложным, либо требует больших временных и финансовых затрат. Многокритериальное ранжирование в таких условиях существенно усложняется, но в конечном итоге дает результат, намного более соответствующий реальной ситуации проектирования перспективного ЛА.

Проектирование гражданского самолета (пилотируемого или беспилотного) должно быть осуществлено в кратчайшие сроки и гарантировать высокую степень обеспечиваемой безопасности полетов. Для этого необходимо на разных этапах жизненного цикла использовать соответствующие методы как экспериментального, так и расчетно-теоретического исследования процессов отказов и повреждений конструкции и бортовых систем и возникающих из-за этого явлений. Теоретической основой их выбора может стать экспертная оценка, для проведения которой в первую очередь необходимо проанализировать специфику информационного обеспечения решаемой проблемы, связанных с ее решением неопределенностей и выработать обоснованные критерии оценки методов, что и составляет **цель данной работы**.

Информативность получаемых тем или иным методом данных и сама возможность его применения определяются в первую очередь сопоставлением комплекса факторов, учет которых он обеспечивает, с факторами, действующими на самолет в реальной аварийной ситуации, вызванной той или иной причиной авиационного происшествия [6]:

1. Экспериментальному исследованию и компьютерному моделированию в наибольшей степени поддаются причины АП, связанные с повреждениями конструкции планера, которые могут быть вызваны столкновением с птицами или другими ЛА, ударом молнии, усталостью материалов и т.п. Утрата участка несущей или управляющей поверхности приводит к энергичному маневрированию самолета, на которое гражданский самолет, как правило, не рассчитан, а также к выходу на закритические режимы полета, сваливанию и штопору. Кроме того, вызванное этим снижение жесткости агрегата может привести к развитию опасных явлений аэроупругости.

2. Отказы бортовых систем также представляют значительную опасность. Самолет является единым комплексом, и отказ практически любой системы (например, гидро- или пневмосистемы) так или иначе, вызывает нарушения в работе системы управления. Отказы силовой установки приводят к полету с эксцентриситетом и асимметрией тяги и недостаточной тяговооруженностью. В конечном итоге самолет также совершает сложное пространственное движение и может выйти на закритические режимы. Низкая жесткость агрегатов большого удлинения, характерных для современных ЛА гражданского назначения, может привести к развитию опасных явлений аэроупругости и автоаэроупругости.

3. Большинство авиационных происшествий случаются при взлете и посадке. При их изучении необходимо не только обеспечить адекватное воспроизведение сложного пространственного движения ЛА, но и учесть влияние экрана (поверхности земли).

4. По статистике около 70% летных происшествий вызвано «человеческим фактором». Поэтому при проведении исследований необходимо воспроизводить не только сложное пространственное движение ЛА и явления аэроупругости, но и многочисленные возможные варианты ошибок пилотирования.

5. В современных условиях причинами особых полетных ситуаций могут также служить террористические акты, незаконные вмешательства, а также несанкционированное применение средств поражения по гражданским самолетам.

6. Безопасность авиации общего назначения (general aviation) должна быть обеспечена в условиях пилотирования неквалифицированными летчиками и обслуживания техническим составом невысокой квалификации.

7. Одной из задач обеспечения безаварийной эксплуатации нового самолета является разработка четких апробированных рекомендаций летному составу по пилотированию самолета при возникновении в полете особых ситуаций. Такие рекомендации обязательно должны быть *проверены и отработаны* при экспериментальных исследованиях, проведение которых на натурном самолете в большинстве случаев сопряжено с недопустимыми затратами и значительной опасностью для экипажа.

8. Вынужденные посадки в ближайшем аэропорту самолетов при отказах и повреждениях существенно снижают экономическую эффективность использования самолетного парка внутри страны и, особенно, на международных линиях. Они приводят к срыву сроков выполнения договорных коммерческих обязательств, к значительным трудностям при выполнении ремонтно-восстановительных работ в иностранных аэропортах, а в целом — к снижению престижа и конкурентоспособности, техническим издержкам и валютным затратам. Современные пассажирские и транспортные самолеты характеризуются многократным резервированием жизненно важных агрегатов и избыточностью органов управления, что позволяет им сохранять достаточно высокую безопасность полетов с отдельными неисправностями или отказами. Поэтому одной из задач при разработке руководств по их летной эксплуатации является подготовка *тщательно обоснованных и экспериментально проверенных* перечней неисправностей, с которыми разрешается продолжение полета, а в отдельных случаях и вылет.

9. Практика проектирования и применения транспортных самолетов показала высокую эффективность выполнения работ, связанных с определением их остаточных функциональных возможностей в поврежденном состоянии и

разработкой рекомендаций летному составу по пилотированию в особых ситуациях. Например, в США осуществлена программа ABDR (Aircraft Battle Damage Repair) по исследованию остаточных летных возможностей тяжелого транспортного самолета С-5В. Проанализированы самые разнообразные отказы и повреждения как планера, так и систем (включая, к примеру, возможность взлета и полета самолета, который утратил один двигатель с пилоном). Эффективность выполненной работы оказалась столь высокой, что были выделены еще \$ 80 млн на аналогичные исследования для целого ряда ЛА, включая транспортные самолеты С-130 и С-141.

Итак, *почти все особые ситуации приводят к энергичным маневрам самолета и/или развитию опасных аэроупругих процессов*, с высокой вероятностью ведущим к выходу на нерасчетные режимы полета. Их исследование традиционными методами экспериментальной аэродинамики связано с принципиальными трудностями, вызванными чрезвычайно обширным комплексом факторов, определяющих происходящие процессы и подлежащих адекватному воспроизведению при физическом и компьютерном моделировании. Эффективным может быть экспериментальное исследование наиболее характерных ситуаций с помощью крупномасштабных свободолетающих динамически подобных моделей самолетов [7, 8] в сочетании с широкими параметрическими исследованиями на отработанных по экспериментальным данным математических моделях. Таким образом, одним из определяющих критериев при выборе того или иного метода исследования является возможность учета **максимально полного комплекса факторов**, действующих при исследуемом явлении или процессе.

Вторая группа требований связана с принципиальным требованием возможности реализации метода при имеющей место совокупности **неопределенностей информационного обеспечения** выполняемых работ. Их можно разбить на две основные группы:

1. Разработка мероприятий по увеличению надежности и безопасности осуществляется в темпе, опережающем разработку конструкции и бортовых систем создаваемого воздушного судна (ВС), так как стоимость их реализации существенно зависит от сложности внесения изменений в проект (а тем более в опытные и предсерийные образцы). Поэтому работы неизбежно ведутся в условиях дефицита информации об исследуемом самолете.

2. Обычно гражданское ВС не только эксплуатируется в отечественных регионах, но и интенсивно экспортируется. Однако заранее предусмотреть все возможные регионы экспорта весьма затруднительно, а создание судна, обеспечивающего возможность применения во всех разнообразных природно-климатических условиях Земли, практически невозможно. Таким образом, на момент проектирования воздушного судна исследование обеспечиваемого им уровня безопасности полетов связано с обширной группой неопределенностей условий его эксплуатации.

Рассмотренные выше неопределенности относятся к разряду **объективных**, они не зависят от специалиста, выполняющего исследование проблем безопасности полета создаваемого ВС. Наряду с ними существует достаточно обширная группа **«субъективных»** неопределенностей, вызванных спецификой осуществления самого процесса экспериментального исследования. Это неопределенности, связанные с допусками на массу и моменты инерции комплектующих, разбросом характеристик материалов и т.п. Если после

выполнения всего цикла работ оказывается, что физическая модель не может быть доведена до требуемых по подобию параметров, весь цикл работ, все затраты материальных и интеллектуальных ресурсов утрачивают смысл. Для предотвращения столь нежелательного исхода необходимо на ранних этапах проектирования (при выборе метода экспериментального исследования и концептуальном проектировании физической модели) обеспечить осуществимость эксперимента при любом, наименее благоприятном стечении субъективных неопределенностей. При этом лучше обеспечить гарантированную возможность изучения на физической модели трех аварийных режимов, чем сомнительную («вероятностную») возможность исследования пяти режимов, из которых фактически удастся получить данные только об одном или двух. Обеспечивается это, к примеру, достаточным запасом массы и моментов инерции на доводочные грузы и другими проектно-конструкторскими мероприятиями, комплекс которых составляет тематику отдельного исследования.

Существование этих обширных групп неопределенностей объективно, и устранить их не представляется возможным. В отношении критериальной базы для выбора методов исследования это означает, что методы должны быть достаточно **гибкими и оперативными**, позволяя в случае необходимости изменить параметры моделируемого ВС или условия его применения и провести дополнительные исследования.

Наконец, необходимо подчеркнуть, что весь комплекс работ по обеспечению требуемого уровня безопасности, как и проектирование ЛА в целом, должен быть выполнен в **минимальные сроки** для предотвращения морального старения создаваемого изделия. Поскольку в дальнейшем находящееся в эксплуатации судно подвергается постоянной модернизации, усовершенствованию, применяемые методы должны обеспечивать **оперативное проведение** необходимых исследований безопасности полетов для разрабатываемых модификаций. Причем желательно, чтобы метод их исследования позволял проводить широкие параметрические исследования с учетом всех (или хотя бы наиболее характерных) вариантов повреждений и отказов, исходных режимов полета, возможных ошибок пилотирования, вариантов совместного действия нескольких причин, а также анализировать эффективность различных модификаций конструкции и систем ВС в целях предотвращения катастрофических последствий анализируемых вариантов отказов и повреждений.

Охарактеризованные выше основные группы неопределенностей обычно конкретизируются применительно к рассматриваемой задаче исследования безопасности проектируемого ВС, и полученная совокупность требований к применяемому методу исследований служит **критериальной базой** для ранжирования возможных методов.

Ниже в табл. 1 представлен упрощенный (в целях уменьшения объема публикации) пример такой базы, ориентированный на анализ применимости для исследования катастрофы Airbus A300/600R под Нью-Йорком 12.11.2001 г. метода экспериментальных исследований на свободнолетающих динамически подобных моделях самолетов. Данные табл. 2 для этой же задачи позволяют оценить применимость метода продувок в аэродинамических трубах (в обоих случаях конкретизированы только требования по адекватности отображения процессов). Группа экспертов, анализируя конкретную задачу, назначает весовые коэффициенты значимости отдельных критериев по каждому из рассматриваемых методов (заполняя анкету, аналогичную приведенной в таблицах). Затем анкеты

обрабатываются прямыми или косвенными методами построения функции принадлежности нечеткого множества по экспертным оценкам [3, 4].

При простейшей обработке мнений экспертов степени принадлежности нечеткому множеству рассчитывают по формуле

$$\mu_{l_j}(x_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1, K} b_{j,i}^k, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где K — количество экспертов; $b_{j,i}^k$ — мнение k -го эксперта о наличии у элемента x_i свойств нечеткого множества \tilde{l}_j , $k = \overline{1, K}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$. В предпоследней колонке S_1 таблиц приведены результаты обычного осреднения (среднеарифметическое значение оценок экспертов). В последней колонке S_2 — результаты статистической обработки мнений экспертов.

Таблица 1

Критериальная база для ранжирования возможных методов

Эксперт	1	2	3	4	5	S_1	S_2
1.Возможность учета факторов:							
— короткопериодического движения по тангажу	0,9	0,8	1	0,8	1	0,9	0,93
— длиннопериодического движения по тангажу	0,9	0,8	1	0,8	1	0,9	0,93
— движения по крену	1	0,9	1	0,9	1	0,96	0,97
— трехмерного движения	0,9	0,8	1	0,7	1	0,88	0,93
— срывного обтекания	0,8	0,8	0,9	0,7	0,9	0,82	0,83
— сваливания и штопора	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8
— отделения элементов конструкции и сброса подвесных грузов	1	0,9	0,9	0,8	1	0,92	0,94
— статических аэроупругих процессов	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,78	0,77
— колебательных аэроупругих процессов, флаттера	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,68	0,7
— явлений автоаэроупругости	0,5	0,55	0,6	0,5	0,8	0,59	0,63
— особенностей работы САУ	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8
— отказов в работе САУ	0,7	0,75	0,8	0,7	0,8	0,75	0,77
— особенностей действий экипажа	0,8	0,7	0,9	0,7	0,8	0,78	0,8
— ошибок экипажа	0,7	0,5	0,9	0,7	0,8	0,72	0,8
2.Возможность применения в условиях неполной информации	0,3	0,2	0,5	0,3	0,5	0,36	0,43
3.Затраты времени на получение результата	0,5	0,7	0,7	0,5	0,7	0,62	0,63
4.Материальные затраты на получение результата	0,3	0,8	0,7	0,3	0,7	0,56	0,57

Более объективную оценку при больших затратах времени дает применение второго метода, который базируется на парных сравнениях. Этот метод используется для конечных нечетких множеств и основан на естественном предположении, что непосредственное оценивание значений функции принадлежности $\mu_l(x_i)$ в точках $x_i \in X, i = \overline{1, n}$ затруднительно, однако попарное их сравнение в разных точках носителя проблем не вызывает. Степени принадлежности принимают равными соответствующим координатам собственного вектора $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ матрицы парных сравнений A : $\mu(x_i) = w_i, i = \overline{1, n}$. Собственный вектор находят из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} AW = \lambda_{max}W, \\ w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1, \end{cases} \quad (2)$$

где λ_{max} — максимальное собственное значение матрицы A .

Таблица 2

Критериальная база для оценки применимости метода продувок

Эксперт	1	2	3	4	5	S_1	S_2
1.Возможность учета факторов:	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,28	0,3
— короткопериодического движения по тангажу							
— длиннопериодического движения по тангажу	0,6	0,45	0,8	0,5	0,4	0,55	0,57
— движения по крену	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,82	0,8
— трехмерного движения	0	0	0,1	0,1	0	0,04	0,07
— срывного обтекания	0,9	0,85	0,7	0,7	0,7	0,77	0,7
— сваливания и штопора	0,2	0,1	0,1	0	0	0,08	0,1
— отделения элементов конструкции и сброса подвесных грузов	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,38	0,39
— статических аэроупругих процессов	0,7	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8
— колебательных аэроупругих процессов, флаттера	0,5	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,73
— явлений автоаэроупругости	0,1	0	0,2	0,6	0,3	0,24	0,37
— особенностей работы САУ	0,1	0	0,2	0,7	0,3	0,26	0,4
— отказов в работе САУ	0,1	0	0,2	0,7	0,3	0,26	0,4
— особенностей действий экипажа	0,1	0	0,2	0,7	0,4	0,28	0,43
— ошибок экипажа	0,1	0	0,2	0,7	0,4	0,28	0,43
2.Возможность применения в условиях неполной информации	0,4	0,3	0,6	0,4	0,7	0,48	0,57
3.Затраты времени на получение результата	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,66	0,67
4.Материальные затраты на получение результата	0,5	0,6	0,8	0,5	0,7	0,62	0,67

Матрица парных сравнений является диагональной и обратносимметричной ($a_{ji} = 1/a_{ij}$, $i, j = \overline{1, n}$). Кроме того, она должна обладать свойством транзитивности, т.е. $a_{ij} a_{jk} = a_{ik}$. Однако на практике это осуществляется далеко не всегда. Чтобы избежать оценки компонент функции принадлежности с погрешностью, применяют процедуру коррекции [5], представляющую собой итерационный процесс. Для выполнения $(l+1)$ -й итерации выполняют следующие вычисления:

$$a_{ij}^{l+1} = \left(\frac{\sum_{k=1}^n a_{ik}^{(l)} \cdot a_{kj}^{(l)}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{a_{ik}^{(l)} \cdot a_{kj}^{(l)}}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad i = (\overline{1, n}), j = (\overline{1, n}). \quad (3)$$

Далее используют математические методы выбора альтернатив, позволяющие оценить целесообразность применения того или иного метода к решению рассматриваемой задачи. Наиболее известными и популярными методами принятия решений на основе нечеткого подхода является выбор альтернатив на основе:

- пересечения нечетких множеств;
- аддитивной свертки;
- алгоритмов нечеткого вывода;
- нечеткого отношения предпочтения;
- ранжирования альтернатив с применением эвристического подхода.

Сложность заключается в том, что в группу экспертов рационально включать специалистов разного профиля — и расчетчиков-теоретиков (1), и экспериментаторов (2), и проектировщиков (3), и эксплуатантов (4), и специалистов по расследованию летных происшествий (5). Но от такой разноплановой команды трудно ожидать единства мнений. Поэтому для каждого эксперта вводят весовой коэффициент, характеризующий степень доверия к его мнению. В рассматриваемом примере эксперт № 1 имеет весовой коэффициент 0,7; эксперт № 2 — 1; эксперт № 3 — 0,9; эксперт № 4 — 0,8 и эксперт № 5 — 0,8. Разброс в оценке весовых коэффициентов, как правило, получается значительным, как это представлено в приведенной в качестве примера таблице. Чтобы полученные результаты можно было использовать при дальнейших расчетах, после выполнения процедуры формирования группового решения определяют поправки [5] к полученным оценкам, компенсирующие индивидуальные особенности экспертов (например, склонность принимать необоснованно рискованные решения и т.п.).

Табл. 1 и 2 позволяют реализовать метод парных сравнений. В рассматриваемом примере метод летного эксперимента на крупномасштабных свободнолетающих динамически подобных моделях [7, 8] по сравнению с экспериментами в аэродинамических трубах обеспечивает значительные преимущества (весовой коэффициент 0,87 против 0,43).

При решении прикладной задачи выбора метода исследования конкретной проблемы обеспечения безопасности на определенном этапе жизненного цикла

ВС критериальная база составляет основу построения таблицы, аналогичной (как правило, существенно более полной) приведенной в качестве примера. Ее заполнение группой экспертов для каждого из альтернативных (возможных для использования) методов позволяет получить при имеющихся место неопределенностях относительно объективную оценку эффективности применения того или иного метода. Их сопоставление обеспечивает принятие решения о рациональном методе исследования проблемы безопасности или их взаимодополняющей совокупности. Методика осуществления этого этапа работ составляет тему дальнейших исследований.

Выводы

1. Методы, применяемые при исследовании проблем безопасности полетов воздушных судов гражданского назначения, должны обеспечивать возможность учета сложного комплекса факторов, включающих в себя трехмерное пространственное движение, срывное обтекание, явления аэроупругости и автоаэроупругости, работу САУ и ее возможные отказы, действия экипажа и возможные ошибки пилотирования.

2. Весьма вероятно, что определяющей при выборе метода может стать возможность его применения в условиях неполной информации, а также минимально допустимых затратах времени и средств на его реализацию.

3. Степень соответствия каждого метода совокупности критериев оценивается весовыми коэффициентами, назначаемыми группой экспертов, включающей в себя специалистов разного профиля.

4. Для обработки и согласования результатов их работы эффективно использовать нечетко-множественный подход.

Список литературы

1. Энциклопедия безопасности авиации [Текст] / Н.С. Кулик, В.П. Харченко, М.Г. Луцкий и др.; Под. ред. Н.С. Кулика. – К.: Техніка, 2008. –1000 с.

2. Рыженко, А.И. Живучесть авиационных силовых установок [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений (направление "Авиация и космонавтика") / А.И. Рыженко, В.С. Кривцов. — Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2004. — 659 с.

3. Демидова, Л.А. Принятие решений в условиях неопределенности [Текст] / Л.А. Демидова, В.В. Кираковский, А.Н. Пылькин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. — 288 с.

4. Мураховська, О.А. Управління складними системами в умовах невизначеності [Текст]: навч. посіб. /О.А. Мураховська. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін.-т», 2010. – 88 с.

5. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования [Текст] / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. — Рига: Зинатне, 1990. — 184 с.

6 Рыженко, А.И. Причины авиационных происшествий с гражданскими и военными самолетами [Текст]: учеб. пособие по курсу "Надежность и живучесть самолетов" / А.И. Рыженко, В.И. Рябков. — Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1997. — 208 с.

7. Мураховська, О.А. Методичні особливості дослідження на вільнолітаючих динамічно подібних моделях динаміки польоту літаків при ушкодженнях системи керування [Текст] / О.А. Мураховська, О.І. Рижено // Технології в машинобудуван-

ні: вісник Харківського державного політехнічного університету: збірка наук. пр. — Вип. 89. — Х.: ХДПУ, 2000. — 185 с.

8. Modelling of Aircraft Flight by Means of Dynamically Similar Models with Flight Control Systems Similarity / A. Ryzhenko, V. Ryabkov, S. Sadovnichii, J. Sandoval // A Collection of Technical Papers AIAA Modelling and Simulation Technology Conference-97 (and Exhibit). - American institute of Aeronautics and Astronautics, New Orleans, USA, 1997.

Рецензент: д. т. н., проф., А.В. Бетин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков
Поступила в редакцию 15.10.12

Критеріальна база ранжування альтернативних методів дослідження проблем безпеки польотів в умовах невизначеності проектування літаків цивільного призначення

Розглянуто специфіку процесів та явищ, що розвиваються на цивільному літаку при експлуатаційних пошкодженнях елементів його планера й відмовах бортових систем, а також система невизначеностей, характерну для проведення експериментальних досліджень проблем надійності й експлуатаційної живучості проєктованих літаків. Саме ними визначається ефективність і сама можливість застосування для таких досліджень того чи іншого методу. Ступінь відповідності кожного методу сукупності критеріїв оцінюється ваговими коефіцієнтами, що призначаються групою експертів, яка включає фахівців різного профілю. Для оброблення результатів їхньої роботи пропонується використовувати нечітко-множинний підхід.

Ключові слова: проектування повітряних судів цивільного призначення, багатокритеріальний підхід, методи дослідження безпеки польотів, метод експертних оцінок, нечітко-множинний підхід.

Criterion Basis for Ranking of Alternate Methods of Flight Safety Investigation at Fuzzy Conditions of Civil Airplane Designing

Specificity of processes and phenomenons, which take a place at civil airplane because of service damages its framework and on-board systems failures is considered as well as fuzzy system, which is typical for experimental investigation of reliability and operational vitality. Possibility to use some of experimental methods for such investigations is determined with their ability to be used in fuzzy conditions. This ability may be characterized with weighting factors, which are determined with group of experts of different specialties. Fuzzy-set theory methods are recommended for their activity results processing.

Keywords: civil airplane designing, multicriterion analysis, experimental investigation of flight safety, expert judgments method, fuzzy-set theory methods.