

УДК 629.7.05

## ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОШИБОК, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ ФАКТОРОМ, ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОЛЕРАНТНЫХ К ОТКАЗАМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ

Н.Н. СУХИХ, А.Г. КОВАЛЕВ, В.Л. РУКАВИШНИКОВ

В статье приведены предложения по синтезу толерантных цифровых систем управления полетом, основанные на методах алгоритмического обеспечения отказоустойчивости. Реализация толерантных цифровых систем управления полетом позволит предупредить негативные последствия отказов различных бортовых систем и агрегатов самолета.

**Ключевые слова:** человеческий фактор, система информационной поддержки принятия решений, безопасность полетов, катастрофический фактор, некатастрофический фактор, бортовой вычислитель, система автоматического управления полетом.

Одним из основных путей снижения влияния человеческого фактора (ЧФ) является предупреждение последствий отказов различных бортовых систем и агрегатов самолета. Такое снижение влияния ЧФ при отказах возможно как за счет совершенствования информационной поддержки экипажа с помощью средств информационной поддержки принятия решений (СИППР), так и за счет предупреждения самих отказов элементов как таковых и, как следствие, снижения требований к дополнительному информационному обеспечению экипажа.

Поскольку создание абсолютно надежных элементов и систем в принципе невозможно, исследователей все больше интересуют методы, позволяющие построить систему, толерантную к отказам отдельных элементов. Данные методы допускают состояние системы с отказом как одно из возможных состояний. В статье приведены предложения авторов по синтезу толерантных цифровых систем управления полетом, основанные на методах алгоритмического обеспечения отказоустойчивости.

### Оценка влияния ЧФ

Все факторы, которые могут угрожать безопасности полетов, можно разделить на четыре независимые группы: самолет, экипаж, наземные службы, атмосферные условия. Тогда вероятность авиационного происшествия можно представить в следующем виде [1]

$$P_{\text{АП}} = P_K^C + P_K^{\text{HC}} + P_K^A + P_K^{\text{Э}} + P^{C \text{ Э}} q_1 + P^{\text{HC} \text{ Э}} q_2 + P^{A \text{ Э}} q_3 + P^{C \text{ HC} \text{ Э}} q_4 + P^{C \text{ A} \text{ Э}} q_5 + P^{\text{HC} \text{ A} \text{ Э}} q_6 + P^{C \text{ HC} \text{ A} \text{ Э}} q_7, \quad (1)$$

где  $P_K^C, P_K^{\text{HC}}, P_K^A, P_K^{\text{Э}}$  - вероятность проявления одного из катастрофических факторов, связанных с самолетом, наземными службами, атмосферными условиями и экипажем;  $P^{C \text{ Э}}, P^{\text{HC} \text{ Э}}, P^{A \text{ Э}}, P^{\text{C HC Э}}$  - вероятность проявления одного из некатастрофических факторов, входящих в данные группы;  $q_1^{\text{Э}}, \dots, q_7^{\text{Э}}$  - условные вероятности ошибки экипажа при проявлении одного или сочетании некатастрофических факторов.

Устанавливая нормы летной годности самолета, вводя сертификацию наземного оборудования, проводя отбор, обучение и контроль персонала, правомерно считать вероятность проявления катастрофического фактора (отказ всех двигателей, полный отказ системы управления, полная потеря работоспособности экипажа и т.п.) нулевой. Возникновение же в полете других факторов допустимо.

Из анализа формулы (1) следует, что уменьшить вероятность авиационного происшествия возможно двумя основными путями: снижением вероятностей проявления одного из некатастрофических факторов ( $P^{C \text{ Э}}, P^{\text{HC} \text{ Э}}, P^{A \text{ Э}}, P^{\text{C HC Э}}$ ) и снижением условных вероятностей ошибок экипажа ( $q_i^{\text{Э}}$ ).

Первый путь применительно к самолету подразумевает создание высоконадежной конструкции, высоконадежного двигателя, безотказной или нечувствительной к отказам системы управления полетом и т.д. Второй путь предполагает разработку и внедрение СИППР экипажем при возникновении одного или сочетании нескольких некатастрофических факторов с учетом стресса и дефицита времени на принятие решения.

Реализация вышеназванных путей уменьшения  $r_{АП}$  возможна на борту самолета только при использовании бортового вычислителя (БВ), формирующего как управляющие воздействия, так и информационную поддержку экипажа. Ниже приводятся предложения авторов по совершенствованию управляющих воздействий, вырабатываемых БВ.

### Синтез толерантных к отказам законов управления

Рассмотрим исходную систему управления

$$\begin{cases} \dot{x}^0 = A^0(t)x^0 + B^0(t)U^0; \\ y^0 = C^0(t)x^0, x^0(t=0) = x_0^0, \end{cases} \quad (2)$$

где  $x^0 \in \mathbb{R}^{n_0}$  - вектор состояния системы;  $U^0 \in \mathbb{R}^{m_0}$  - вектор внешних воздействий, компонентами которого могут быть управляющие и возмущающие воздействия;  $y^0 \in \mathbb{R}^{k_0}$  - вектор выходных координат;  $A^0(t)$ ,  $B^0(t)$ ,  $C^0(t)$  - матрицы параметров, зависящие в общем случае от времени (верхний индекс 0 характеризует указанные векторы и матрицы при отсутствии отказов в системе).

Необходимо для данного множества отказов  $\Sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_L\}$  преобразовать структуру и параметры системы автоматического управления полетом (САУП) к виду [2]

$$\begin{cases} \dot{x} = S(t)x + D(t)U^0; \\ y = H(t)x, \end{cases} \quad (3)$$

где  $x \in \mathbb{R}^{n_1}$ ,  $U^0 \in \mathbb{R}^{m_0}$ ,  $y \in \mathbb{R}^{k_1}$ ,  $S(t)$ ,  $D(t)$ ,  $H(t)$  - матрицы соответствующих размерностей, при которых система была бы инвариантной к отказам на заданном отрезке времени  $[0; T]$ .

Закон  $\Lambda$  представляет собой закон преобразования структуры и параметров системы (2) в (3) на множестве  $\Sigma$ , т.е.  $\Lambda : \{(A^0, B^0, C^0) \rightarrow (S, D, H), \Sigma\}$ .

В соответствии с принципом формирования закона  $\Lambda$  можно выделить два вида методов алгоритмического обеспечения отказоустойчивости САУП: прямые и адаптивные.

Прямые методы позволяют синтезировать САУП, структура и параметры регулятора которой  $(S_{21}, S_{22}, D_2, H)$  зависят от отказа  $\sigma \in \Sigma$ , причем их изменения происходят при поступлении информации об отказе  $\sigma$ . В этом случае требуется специальное диагностирование САУП. Закон  $\Lambda$  имеет вид

$$\Lambda : \{(A_{21}^0, A_{22}^0, B_2^0, C^0) \rightarrow (S_{21}(\sigma), S_{22}(\sigma), D_2(\sigma), H(\sigma), \sigma \in \Sigma)\}.$$

Каждому отказу соответствует своя структура системы.

При использовании адаптивных методов заранее синтезируется единственная для всех отказов определенного класса структура САУП заданного объекта, и при отказе осуществляется перестройка ее элементов. При этом не требуется глубокого диагностирования, а достаточно лишь провести контроль работоспособности (т.е. установить только сам факт наличия отказа). Общий вид закона  $\Lambda$  следующий

$$\Lambda : \{(A_{21}^0, A_{22}^0, B_2^0) \rightarrow (S_{21}(t), S_{22}(t), D_2(t), \Sigma)\}.$$

Указанные два вида методов алгоритмического обеспечения отказоустойчивости обладают, в общем случае, различными компенсирующими возможностями. Применительно к системам управления полетом существенные затруднения при практической реализации адаптивных методов связаны прежде всего с требованиями по быстродействию. Это объясняется тем, что в классических методах адаптации время, потребное для идентификации изменений динамики объекта, как правило, существенно превышает время затухания переходных процессов. Развитые в последнее время методы быстрой адаптации позволяют частично решить данную проблему. Однако практическую реализацию данных методов в САУП авторам в отечественных и зарубежных литературных источниках обнаружить не удалось.

В связи с этим внимание исследователей направлено, в основном, на разработку прямых методов. Среди них следует выделить метод реконфигурации [3] применительно к отказам датчиков, приводов, органов управления. Как следует из анализа указанной работы, здесь используется концепция смешанного управления, смысл которой состоит в смешивании команд от системы управления таким образом, чтобы штатные реакции на управляющие моменты и управляющие силы обеспечивались с помощью исправных органов управления при отказах других управляющих органов, т.е. формировались как линейные комбинации отклонений имеющих в наличии органов управления.

### **Проведение дальнейших исследований**

Нерешенной на сегодняшний день остается задача синтеза законов управления полетом с реконфигурацией применительно к отказам самих БВ. Особый интерес представляет реализация подобных законов в многопроцессорных вычислительных САУП, эксплуатация которых осуществляется в настоящее время.

Возможный путь решения задачи синтеза регулятора, устойчивого, например, к отказам цифро-аналогового преобразователя применительно к нерезервированной цифровой системе, на основе принципа реконфигурации сформулирован авторами в работе [4].

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. **Горячев В.А.** Исследование роли человеческого фактора в авиационных происшествиях: тезисы докладов семинара ИКАО «Человеческий фактор». – Л., 1990. - С. А551 - А556.
2. **Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю., Силаев А.В.** Алгоритмическое обеспечение отказоустойчивости систем автоматического управления // Автоматика и телемеханика. - 1988. - № 9. - С. 3 – 33.
3. **Медведев А.В., Сухих Н.Н., Федоров М.С.** Структуры и алгоритмы управления сложных авиационных систем // Вопросы теории систем автоматического управления. - Л.: ЛГУ, 1990. - Вып. 8. - С. 26 - 36.
4. **Сухих Н.Н., Ковалев А.Г., Рукавишников В.Л.** Использование принципа реконфигурации для построения толерантной мажоритарной вычислительной системы // Авиакосмическое приборостроение. - 2009. - № 2. - С. 17 – 21.

### **PREVENTION OF MISTAKES, CAUSED BY HUMAN FACTOR WHILE USING FLIGHT CONTROL SYSTEMS TOLERANT TO FAILURES**

**Sukhikh N.N., Kovalev A.G., Rukavishnikov V.L.**

The article presents suggestions on the synthesis of tolerant digital systems of management flight based on algorithmic resiliency methods. Implementation of tolerant digital flight control systems will prevent the negative consequences of failures of various aircraft systems and aircraft units.

**Key words:** human factor, information support system of taking decision, flight safety, catastrophic factor, non-catastrophic factor, airborne computer, automatic flight control system.

### **Сведения об авторах**

**Сухих Николай Николаевич**, 1951 г.р., окончил ЛИТМО (1974), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем автоматизированного управления, первый проректор - проректор по учебной работе СПб ГУГА, автор более 120 научных работ, область научных интересов – бортовые автоматизированные системы управления полетом.

**Ковалев Алексей Георгиевич**, 1967 г.р., окончил ОЛАГА (2001), кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры систем автоматизированного управления СПб ГУГА, автор 4 научных работ, область научных интересов - бортовые автоматизированные системы управления полетом.

**Рукавишников Валентин Леонидович**, 1956 г.р., окончил ЛИАП (1981), кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизированного управления СПб ГУГА, автор 23 научных работ, область научных интересов - бортовые автоматизированные системы управления полетом.