

А. А. Большаков, д-р техн. наук, aabolshakov@gmail.com,
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
А. А. Кулик, канд. техн. наук, инженер-системотехник II кат., kulikalekse@yandex.ru,
И. В. Сергушов, первый зам. ген. директора, главный конструктор,
Е. Н. Скрипаль, нач. отд. — главный конструктор, pilot@kbpa.ru,
АО "Конструкторское бюро промышленной автоматики"

Метод прогнозирования авиационного происшествия летательного аппарата

Рассматривается система управления безопасностью полета воздушного судна, предназначенная для оценки угрозы авиационного происшествия с выдачей соответствующей информации экипажу. Предложен метод прогнозирования развития авиационного происшествия, особенность которого заключается в определении значений, характеризующих изменение переменных, влияющих на безопасность полета аппарата с последующим их использованием для оценки условий полета.

Ключевые слова: система управления безопасностью полета, летательный аппарат, устройство поддержки принятия решений

Введение

В настоящее время ведущими авиационными предприятиями активно осуществляются работы по совершенствованию средств обеспечения безопасности полета воздушных судов [1–4]. Как правило, такая задача решается программно-аппаратным резервированием и использованием разнородных функционально значимых элементов судна, а также применением алгоритмов реконфигурации систем его бортового оборудования. Однако этих способов повышения безопасности полета летательного аппарата (ЛА) не всегда достаточно, так как кроме состояния авиационной техники на условия полета оказывают существенное влияние внешние воздействующие факторы и психофизическое состояние экипажа. По данным статистики, 83 % авиационных происшествий (АП) приходится на человеческий фактор, 15 % на отказ техники, 2 % на внешние воздействующие факторы. Достаточно часто АП происходят под влиянием совокупности этих воздействующих факторов [5].

Следует отметить, что каждый из этих факторов определяется множеством детерминированных и недетерминированных переменных, оценка которых может осуществляться средствами нечеткой логики. При этом в процессе полета с изменением воздействующих факторов, в том числе действий пилота, происходит изменение угрозы АП в большую или меньшую стороны. Таким образом, необходимо учитывать динамику угрозы АП, оценка которой осуществляется в режиме реального времени на борту воздушного судна с прогнозированием ее изменения. Выпол-

нение этого требования позволит заранее обнаружить и парировать угрозу АП. Реализацию метода прогнозирования угрозы АП целесообразно проводить на базе системы управления (СУ) безопасностью полета летательного аппарата (ЛА), которая предназначена для распознавания АП, оповещения о ее наличии экипажу, а также парирования ее автоматическими системами управления полетом ЛА.

Так, известен способ поддержки оператора ЛА в опасных ситуациях [3], который позволяет на базе экспертной системы оценить работоспособность бортового оборудования и действия экипажа с последующим прогнозированием аварийной ситуации и оповещением о ее возникновении экипажа. Однако этот способ не обеспечивает возможность достаточно точно оценить степень наступления катастрофической ситуации из-за отсутствия моделирования развития опасной ситуации полета ЛА.

Другим вариантом обеспечения безопасности полета ЛА является "Автоматизированная высокоинтеллектуальная система обеспечения безопасности полетов летательного аппарата" [4], предложенная сотрудниками Федерального государственного унитарного предприятия "Летно-исследовательский институт имени М. М. Громова". Система позволяет парировать катастрофическую ситуацию в управлении аппаратом на основе прогнозирования изменения условий и оценки превышения эксплуатационных ограничений его полета с использованием экспертной системы определения угрозы катастрофической ситуации и математической модели объекта управления. Недостатком этой системы является

требование наличия больших вычислительных мощностей для качественного функционирования математической модели движения ЛА, а также прогнозирования изменения переменных, влияющих на безопасность полета, в том числе психофизического состояния экипажа. Создание метода прогнозирования угрозы АП ЛА на основе непосредственного контроля и прогноза изменения переменных, влияющих на безопасность полета, с применением алгоритмов нечеткой логики позволит выявить непосредственную причину угрозы происшествия и своевременно ее парировать действиями экипажа или автоматики без задействования высоких вычислительных мощностей системы управления безопасностью полета ЛА.

Цель настоящей работы заключается в повышении безопасности полета ЛА на основе метода прогнозирования АП в процессе управления ЛА, который позволит оценить изменение угрозы происшествия и своевременно оповестить о ней экипаж аппарата. Отличительной особенностью метода является применение в его составе способов прогнозирования изменения переменных, влияющих на безопасность полета ЛА, с последующим определением угрозы АП на заданном интервале времени прогноза на основе алгоритмов нечеткой логики. На базе разработанного метода можно создать программно-алгоритмическое обеспечение, входящее в состав системы управления безопасностью полета ЛА. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) осуществить анализ контура поддержки принятия решений системы управления безопасностью полета ЛА;
- 2) разработать метод прогнозирования АП;
- 3) создать алгоритм реализации метода прогнозирования угрозы АП;
- 4) выполнить численное моделирование работы алгоритма прогнозирования.

Контур поддержки принятия решений системы управления безопасностью полета летательного аппарата

Система управления безопасностью (СУБ) полета ЛА представляет собой программно-аппаратное средство, предназначенное для распознавания, прогнозирования и парирования угрозы АП. Общая структурная схема системы представлена на рис. 1 [6].

Согласно структурной схеме основным элементом системы является устройство поддержки принятия решений, которое на осно-

ве полученной информации об условиях полета ЛА, прогноза их изменения и действия экипажа формирует рекомендации пилоту для нейтрализации угрозы происшествия. Также в системах подобного класса при отсутствии парирования угрозы со стороны экипажа судна предотвращение АП осуществляется средствами автоматического управления.

Необходимо отметить, что система управления безопасностью полета относится к критическим системам бортового оборудования судна, что, в свою очередь, обуславливает высокие требования к достоверности оценки угрозы АП. Поэтому на этапе предварительной обработки информации формируются сигналы оценки условий безопасности полета аппарата на базе полученных данных, характеризующих внешние и внутренние воздействующие факторы.

Применяя двухуровневую процедуру оценки условий полета ЛА (контур предварительной обработки данных и поддержки принятия решений) с прогнозированием их изменений в программно-алгоритмическом комплексе системы, можно исключить формирование ложных сигналов для парирования угрозы происшествия.

Как правило, программно-алгоритмическое обеспечение устройства поддержки принятия решений содержит базу знаний и набор правил, на основании которых формируются вывод о состоянии объекта управления, а также рекомендации лицу, принимающему решение, по его дальнейшим действиям. Отметим, что в системе обеспечения безопасности полета ЛА широко используются модели прогнозирования полета с учетом влияния различных критических ситуаций. Преимуществом такого подхода является заблаговременное предупреждение экипажа о катастрофической ситуации с последующим ее парированием. В большинстве моделей прогнозирования входными данными являются переменные, характеризующие движение и управление объекта, а также внешние возмущения, которые он испытывает в процессе эксплуатации. При этом в прогнозировании изменений условий полета ЛА важно учитывать влияние человеческого фактора, который может быть представлен

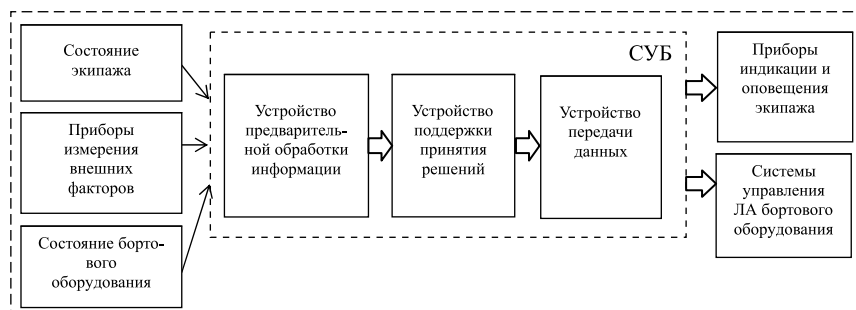


Рис. 1. Структурная схема системы управления безопасностью полета летательного аппарата

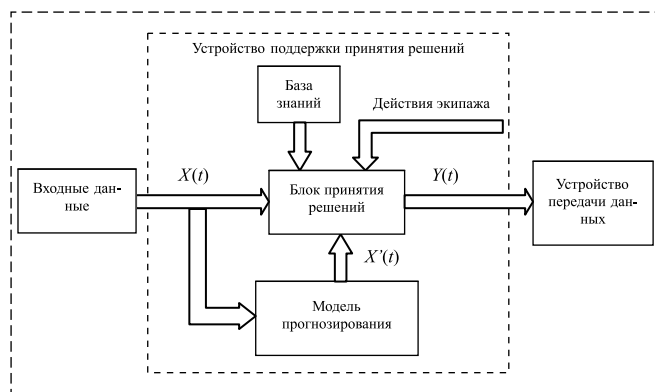


Рис. 2. Структурная схема системы управления безопасностью полета летательного аппарата:

$X(t)$ — массив входных данных после предварительной обработки; $X'(t)$ — результаты прогнозирования угрозы авиационного происшествия; $Y(t)$ — выходные значения устройства поддержки принятия решений, характеризующие рекомендации пилоту по парированию угрозы авиационного происшествия или сигналы для парирования автоматикой

двумя взаимосвязанными характеристиками: психофизическим состоянием экипажа и действиями пилота.

Таким образом, устройство поддержки принятия решений СУБ ЛА должно содержать базу знаний с набором правил, на основе которых осуществляется оценка угрозы АП, и блок прогноза изменения условия полета ЛА. Структурная схема контура представлена на рис. 2.

Из схемы видно, что входными переменными устройства являются результаты предварительной обработки данных, характеризующих внешние и внутренние воздействующие факторы. Эти факторы можно разделить на три основные группы: психофизическое состояние экипажа $X_1(t)$, техническое состояние объекта управления $X_2(t)$ и внешние воздействия на него $X_3(t)$. Входные переменные устройства поддержки принятия решений представлены в лингвистической форме и обрабатываются методами нечеткой логики, которые применяются в блоке модели прогнозирования и набора правил. Отметим, что на основе модели прогноза определяется изменение условий полета ЛА на протяжении угрозы АП $T \in [t_0; t_k]$, где t_0 — момент начала угрозы АП, t_k — время окончания угрозы АП. Выходные значения прогноза изменения условий полета ЛА $X'(t)$ совместно с входными данными устройства поддержки принятия решений обрабатываются в соответствии с имеющимся набором правил в базе знаний поддержки принятия решений. На основе имеющихся данных формируются рекомендации пилоту по нейтрализации угрозы АП или сигналы ее парирования средствами автоматического управления.

Таким образом, предложенная реализация контура поддержки принятия решений позволяет скорректировать действия пилота по париро-

ванию угрозы АП, что достигается применением метода прогнозирования ее изменения с учетом действия экипажа.

Метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия

Согласно исследованиям, представленным в работе [7], условия полета объекта управления зависят от состояния воздействующих факторов $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$. Каждый фактор характеризуется собственным набором переменных, описывающих изменение психофизического состояния экипажа, состояние объекта управления, внешние воздействующие факторы. При этом, регистрируя значения переменной, можно построить профиль функции ее изменения на заданном участке времени, а именно от начала до окончания полета. Прогнозирование угрозы АП заключается в определении момента времени, в который оценка условия полета принимает критические значения $X'(t) = X'_{\text{крит}}(t)$ с момента начала до окончания угрозы происшествия. Тогда интервал начала и окончания прогнозирования $[t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$ можно определить появлением и завершением сложных условий полета ЛА, аварийной и катастрофической ситуаций. Учитывая, что если изменения внешних и внутренних воздействующих на условия полета ЛА факторов могут являться случайными и детерминированными процессами, то их прогнозирование целесообразно проводить с использованием методов инженерного анализа, оптимального прогнозирования и исследований психофизического состояния экипажа. Например, оценка изменения психофизического состояния экипажа на интервале времени $[t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$ осуществляется на основе изменения психофизических характеристик экипажа под влиянием длительной физической и монотонной нагрузки. Затем определяется момент времени, в который контролируемые характеристики безопасности полета ЛА принимают критические значения, описывающие угрозу АП.

Таким образом, прогнозирование угрозы происшествия содержит три основных этапа: определение изменения контролируемых переменных за период $[0 : t_{\text{нач}}^{\text{прог}}]$, построение их зависимостей на участке времени прогноза, оценка критических значений этих переменных на участке прогноза с определением времени их наступления. Причем каждая контролируемая переменная описывается собственной временной зависимостью, которая определяется способом построения и интервалом прогнозирования. В табл. 1 представлены переменные, влияющие на безопасность полета ЛА.

Из табл. 1 видно, что функции изменения психофизического состояния экипажа могут быть

Перечень переменных, влияющих на безопасность полета ЛА

№	Группа	Переменная	Обозначение	Представление функции изменения переменной	$T_{\text{прог}}$
1	Психофизическое состояние экипажа	Усталость Внимание Уровень подготовки Стресс	x_{11} x_{12} x_{13} x_{14}	Построение на основании исследований психофизического состояния экипажа до полета	1 ч
2	Состояние ЛА	Отказ функционально значимых элементов Деформация силовых элементов конструкции Управляемость и устойчивость ЛА Ошибка в ПО СУ ЛА	x_{21} x_{22} x_{23} x_{24}	Построение на основании инженерного анализа при отказе элементов Регистрация изменения характеристик во время полета Регистрация во время полета в зависимости от отказа элементов СУ ЛА Построение на основании инженерного анализа при отказе ПО СУ ЛА	1 ч
3	Погодные условия	Встречный ветер Боковой ветер Видимость	x_{31} x_{32} x_{33}	Прогнозирование изменений параметров за время полета. Синоптический прогноз из центра управления полетами	15 мин

построены до его вылета. Так, уровень подготовки экипажа можно определить с помощью оценки степени обученности оператора для управления ЛА [8]. При этом изменение состояния ЛА под влиянием отказа его функционально значимых элементов и ошибок в программном обеспечении системы управления (СУ) ЛА определяется в процессе его разработки методами инженерного и системного анализа с последующим выявлением деградации его функций и моментов наступления критических событий в процессе его управлении. Как правило, это требует построения дерева отказов элементов бортового оборудования и разработки сопровождающего программного обеспечения (ПО) с распределением отказов на временной шкале. Также под влиянием отказов функционально значимых элементов и программного обеспечения происходит изменение устойчивости и управляемости объекта, что обуславливает необходимость построения функции изменения устойчивости и управляемости под влиянием отказов бортового оборудования аппарата. Функции, описывающие погодные условия, зависят от метеопрогноза и его изменения в процессе полета. Отметим, что непосредственное влияние на условия полета аппарата оказывает устойчивость силовых элементов его конструкции к деформации, которая регистрируется во время полета датчиками измерения силовых нагрузок. Изменение устойчивости силовых элементов и погодных условий полета ЛА представляет случайные процессы, прогнозирование которых заключается в их оценке по прошлым и текущим значениям на момент начала прогноза. В теории предсказания случайных процессов [9] известны следующие способы прогноза:

- по последнему значению контролируемой переменной;
- по математическому ожиданию изменения контролируемой переменной;
- оптимальный прогноз.

Особенностью применения оптимального прогноза является построение изменения переменной на участке прогнозирования на основе известной автокорреляционной функции ее изменения, что способствует точному определению изменения прогнозируемых значений по сравнению с методами, основанными на использовании только математического ожидания. При этом эффективность оптимального прогноза по сравнению с прогнозом по последнему значению контролируемой переменной в три раза выше на интервале времени $\theta = [t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$ [9].

Зависимости изменения прогнозируемой переменной методом оптимального прогноза $\tilde{x}(T_1 + \theta)$ на интервале времени θ и ее среднеквадратичная погрешность (СКП) $m_1(\theta)$ имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}\tilde{x}(T_1 + \theta) &= x^* + \rho(\theta)[x(T_1) - x^*]; \\ m_1^2(\theta) &= m_x^2(1 - \rho^2(\theta)), \theta = [t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}],\end{aligned}\quad (1)$$

где x^* — оценка математического ожидания процесса; $\rho(\theta)$ — автокорреляционная функция процесса; $x(T_1)$ — последнее измеренное значение в момент T_1 ; m_x — СКП случайного процесса $X(t)$.

Автокорреляционная функция случайного процесса описывается следующей зависимостью:

$$\rho(\theta) = E\{x(t)x^*(t - \theta)\}, \quad (2)$$

где $E\{\cdot\}$ — оператор математического ожидания.

На основе определения изменений деформации силовых элементов конструкции ЛА, характеристик условий его полета и психофизического состояния экипажа можно построить их зависимости на участке времени $[t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$. После получения прогнозируемых значений контролируемых переменных X_1, X_2, X_3 на участке $[t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$ осуществляется оценка условий полета с использованием набора правил с определением момента наступления критической ситуации.

В результате применения предложенного подхода к прогнозированию угрозы АП можно выявить причину, влияющую на ее наличие на заданном участке времени, а также сформировать рекомендации пилоту по устранению авиационного происшествия. Отличительная особенность метода заключается в использовании профиля — функций изменения каждой контролируемой переменной, влияющей на условия полета аппарата, что повышает качество парирования авиационного происшествия.

Разработка алгоритма прогнозирования авиационного происшествия

На базе предложенного метода прогнозирования угрозы авиационного происшествия можно разработать алгоритм его реализации программно-аппаратными средствами системы управления безопасностью полета ЛА. В соответствии с методом основными этапами алгоритма являются прием входной информации, построение профиля изменения контролируемых переменных, определение их критических значений на интервале времени $[t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$, оценка изменения угрозы АП за время прогнозирования, определение времени наступления критического события при управлении аппаратом, выдача результатов прогнозирования в устройство поддержки принятия решений системы управления безопасностью полета ЛА. На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма прогнозирования угрозы АП.

Алгоритм содержит следующие основные этапы.

Этап 1. Инициализация входных переменных функций $X_1(t), X_2(t), X_3(t)$, где $X_1(t)$ — психофизическое состояние экипажа; $X_2(t)$ — состояние летательного аппарата; $X_3(t)$ — погодные условия.

Этап 2. Проверка условия, что оценка условий полета $Y(t)$ соответствует угрозе АП на участке времени $[t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$.

Этап 3. Построение профиля функций контролируемых переменных на интервале $[t_0 : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$.

Этап 4. Выполнение оценки изменения контролируемых переменных на основе зависимости профиля функций, определение критического значения контролируемой переменной и момента времени, когда оно наступает ($t_{\text{крит}}$). Запись

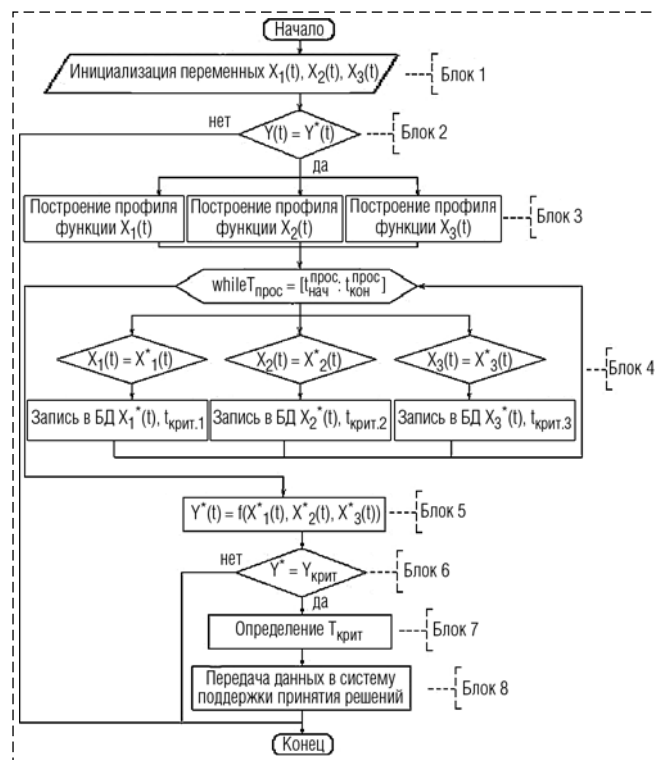


Рис. 3. Блок-схема алгоритма прогнозирования авиационного происшествия

полученных значений в базу данных системы управления безопасностью полета ЛА.

Этап 5. Определение изменений условий полета $Y^*(t)$ на участке времени $[t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$.

Этап 6. Проверка условия, что прогнозируемое значение $Y^*(t)$ соответствует критическому значению (катастрофическому и аварийному состоянию).

Этап 7. Определение момента времени, в который $Y^*(t) = Y_{\text{крит}}$.

Этап 8. Передача данных $T_{\text{крит}}^{\text{прог}}, Y_{\text{крит}}$ в устройство поддержки принятия решений.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет реализовать метод прогнозирования АП с учетом изменения значений контролируемых воздействующих факторов. На основе информации, полученной в процессе выполнения алгоритма, устройство поддержки принятия решений формирует рекомендации пилоту по нейтрализации угрозы АП. Если реакция пилота на рекомендации, выданные устройством, отсутствует, то система управления безопасностью полета ЛА формирует электрический сигнал парирования АП системой автоматического управления ЛА.

Численное моделирование алгоритма прогнозирования авиационного происшествия

Предположим, что полет ЛА сопровождается сложными условиями, тогда согласно методу оценки условий полета [10] воздействующие

Переменные воздействующих факторов для сложных условий полета ЛА

№	Группа	Параметр	Значения контролируемой переменной в момент времени $t_{\text{нач.прог}}$	Значения контролируемого параметра на интервале времени $[t_{\text{нач.прог}} : t_{\text{кон.прог}}]$
1	Психофизическое состояние экипажа	Усталость Внимание Уровень подготовки Стресс	Средняя Среднее Средний Нет	Высокая Низкое Средний Нет
2	Состояние ЛА	Отказ функционально значимых элементов Деформация силовых элементов конструкции Управляемость и устойчивость ЛА Ошибка в ПО СУ ЛА	Незначительный Отсутствует Средняя Нет	Аварийный Отсутствует Низкая Нет
3	Погодные условия	Встречный ветер Боковой ветер Видимость	Слабый Слабый Хорошая	Слабый Слабый Хорошая

факторы принимают значения, характеризуемые лингвистическими переменными, представленными в табл. 2.

Согласно заданным условиям полет ЛА выполняется в хороших погодных условиях с незначительными отказами функциональных элементов его оборудования и средними психофизическими показателями экипажа. В соответствии с этапами алгоритма прогнозирования угрозы АП необходимо построить профиль функции контролируемых переменных, изменение которых на участке $[t_{\text{нач.прог}} : t_{\text{кон.прог}}]$ имеет вид, представленный на рис. 4–6.

Из рис. 4 видно, что переменные психофизического состояния экипажа $X_1(t)$ имеют следующее распределение во времени:

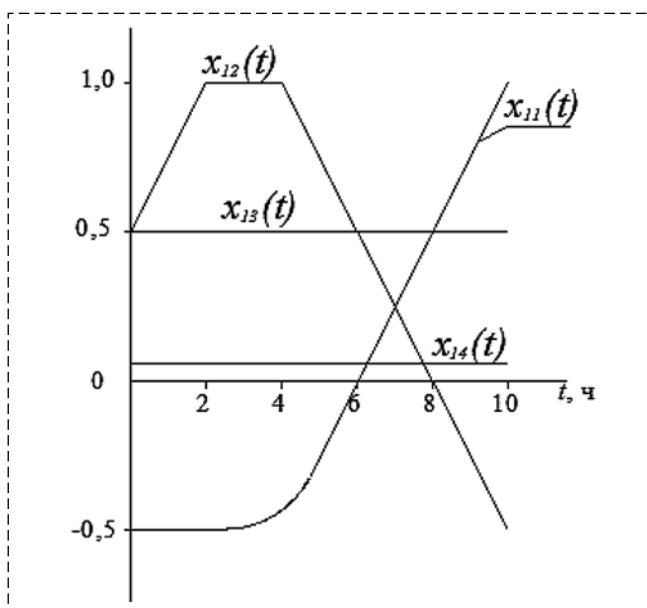
- усталость $x_{11}(t)$ на участке времени $[0...6]$ ч соответствует низкому уровню $[-0,5...0]$, которая под влиянием длительных физических нагрузок возрастает от 0 до 1,0 в интервале прогнозирования $T_{\text{прог}} = [6...10]$ ч;
- внимание $x_{12}(t)$ на участке времени $[0...6]$ ч соответствует высокому уровню с понижением до границы среднего уровня 0,5, которая согласно прогнозу под влиянием монотонных нагрузок понижается до $-0,5$ в интервале времени $T_{\text{прог}} = [6...10]$ ч;
- уровень подготовки экипажа $x_{13}(t)$ за время полета у пилота остается неизменным;
- стресс $x_{14}(t)$ за время полета отсутствует.

Переменные, характеризующие состояния объекта управления $X_2(t)$, изменяются следующим образом (рис. 5):

- отказ функционально значимых элементов системы управления ЛА $x_{21}(t)$ на участке времени $[0...6]$ ч соответствует незначительному состоянию $[-1,0...0]$. Учитывая, что любой последующий отказ функционально значимого

элемента способен привести к аварийному состоянию летательного аппарата, то в период $T_{\text{прог}} = [6...10]$ ч $x_{21} = [0...0,5]$, что соответствует аварийному состоянию;

- деформация силовых элементов $x_{22}(t)$ на участке времени $[0...6]$ ч имеет случайный процесс и соответствует ее отсутствию. Учитывая, что ее значения имеют случайное распределение, тогда, применяя метод статистического прогноза, определим изменение $x_{22}(t)$ на участке времени $T_{\text{прог}} = [6...10]$ ч, согласно которому она отсутствует;
- управляемость ЛА $x_{23}(t)$ на участке времени $[0...6]$ ч соответствует среднему состоянию $[0,5...0]$. Учитывая, что любой отказ функцио-

Рис. 4. Профиль функции $X_1(t)$

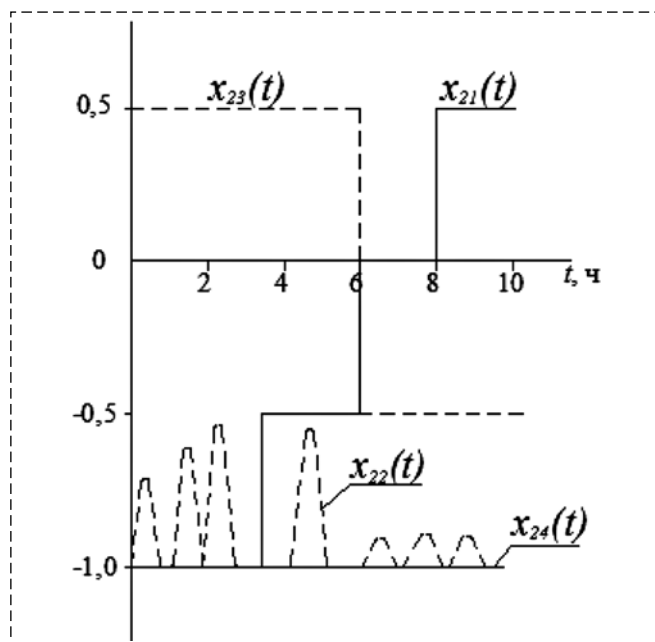


Рис. 5. Профиль функции $X_2(t)$

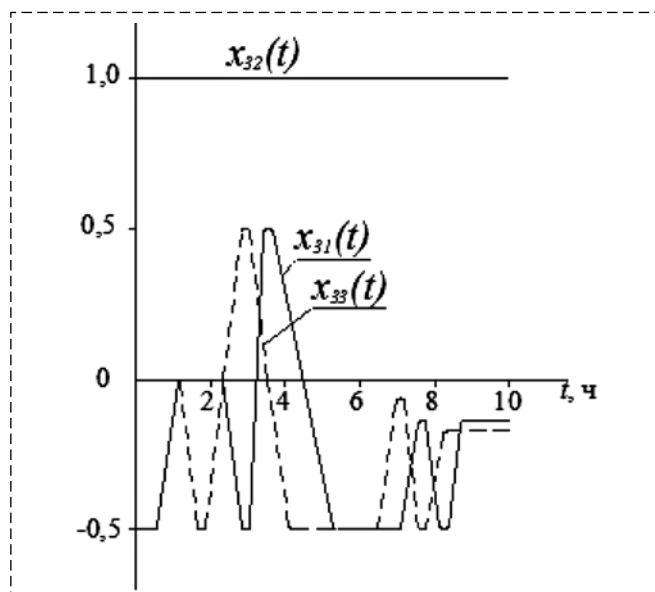


Рис. 6. Профиль функции $X_3(t)$

нально значимого элемента влияет на управляемость ЛА, то ее состояние в интервале прогнозирования $T_{\text{прог}} = [6...10]$ ч изменится со среднего до низкого;

- ошибка в ПО $x_{24}(t)$ за время полета отсутствует.

Переменные, характеризующие погодные условия полета летательного аппарата $X_3(t)$, представленные на рис. 6, имеют следующее распределение по времени:

- значения встречного и бокового ветра $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$ на участке времени $[0...6]$ ч соответствуют переходу от слабого состояния $[-0,5...0]$ до среднего значения $[0...0,5]$ и обратно к слабому. Из рис. 6 изменения зависимостей $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$ видно, что их распределение во времени является случайным процессом. Тогда,

применяя метод статистического прогноза, определим изменение $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$ на участке времени $T_{\text{прог}} = [6...10]$ ч, согласно которому встречный и боковой ветер в течение заданного промежутка времени отсутствует;

- видимость $x_{33}(t)$ на участке времени $[0...6]$ ч соответствует хорошему состоянию без изменений и, следовательно, за время $T_{\text{прог}} = [6...10]$ ч не изменяется.

Отметим, что среднеквадратичная погрешность прогноза изменения переменных $x_{22}(t)$, $x_{31}(t)$, $x_{33}(t)$ на участке $[t_{\text{нач}}^{\text{прог}} : t_{\text{кон}}^{\text{прог}}]$, вычисленная по формуле (1), не превышает 3 %. На основе изменения контролируемых переменных на интервале времени прогноза можно определить время наступления их критических значений, что представлено в табл. 2. Применяя интеллектуальный метод оценки угрозы АП, получим $Y^*(t) = 0,5$ при $t = T_{\text{крит}} = [8...10]$ ч, что свидетельствует о переходе сложной ситуации полета ЛА в аварийную за рассматриваемый промежуток времени от начала полета.

Таким образом, используя различные методы прогноза изменения каждого контролируемого параметра внешних и внутренних воздействующих факторов на условия полета ЛА, а также интеллектуальный метод оценки угрозы АП, можно осуществить прогноз ее изменения в процессе управления аппаратом.

Заключение

Предложен метод прогнозирования АП ЛА, который позволяет заранее информировать экипаж об ухудшении условий полета и парировать угрозу АП в течение заданного интервала времени. Отличительная особенность метода заключается в комплексной оценке изменений внешних и внутренних воздействующих факторов, влияющих на безопасность полета на основании профиля их функций.

Также в работе представлен алгоритм реализации предложенного метода с проведением численного моделирования, позволяющий определить его работоспособность и целесообразность дальнейшего использования. Согласно результатам численного моделирования при ухудшении психофизического состояния экипажа и незначительных отказах функциональных элементов бортового оборудования аппарата на интервале времени прогноза появляется угроза АП. Парирование этой угрозы может быть осуществлено выдачей рекомендаций пилоту, а также средствами автоматики бортового оборудования аппарата.

Дальнейшее развитие метода прогнозирования связано с обеспечением передачи полученных данных в устройство поддержки принятия решений и формирования рекомендаций экипажу по ее устранению.

Список литературы

1. **Reece Clothier** The safety risk management of unmanned aircraft systems // http://www.researchgate.net/publication/255853556_The_Safety_Risk_Management_of_Unmanned_Aircraft_Systems.
2. **Luxhoj James T., Williams Trefor P.** Integrated decision support for aviation safety inspectors // *Finite elements in Analysis and Design*. 1996. N. 23. P. 381—403.
3. **Патент** на изобретение РФ № 220544 G05D1/00 Способ поддержки оператора в опасных ситуациях / Сухолишко В. А. Правообладатель: Сухолишко В. А. Дата публикации: 03.05.2017 г.
4. **Патент** на изобретение РФ № 2339547 B64D 45/00 Автоматизированная высокоинтеллектуальная система обеспечения безопасности полета летательного аппарата / Берестов Л. М., Харин Е. Г. и др. Правообладатель: Федеральное государственное унитарное предприятие "Летно-исследовательский институт имени М. М. Громова". Дата публикации: 27.11.2008 г.
5. **Попов Ю. В.** Показатели безопасности авиационных полетов // Интернет-журнал "Технологии техносферной

безопасности". 2014. № 6 (58). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/10-06-14.ttb.pdf> (дата обращения: 12.04.2017).

6. **Большаков А. А., Кулик А. А., Сергушов И. В., Скрипаль Е. Н.** Разработка системы управления безопасностью полета летательного аппарата // *Мехатроника, автоматизация и управление*. 2016. Т. 17, № 10. С. 708—715.
7. **Большаков А. А., Кулик А. А., Сергушов И. В.** Разработка алгоритмов функционирования системы управления безопасностью полета летательного аппарата вертолетного типа // *Известия Самарского научного центра РАН*. Т. 18, № 1 (2). 2016. С. 358—362.
8. **Шибанов Г. П.** Оценка степени обученности оператора для управления летательным аппаратом // *Мехатроника, автоматизация и управление*. 2017. Т. 18, № 7. С. 492—495.
9. **Вентцель А. Д.** Курс случайных процессов / 2-е изд. доп. М.: Наука. Физматлит. 1996. — 400 с.
10. **Большаков А. А., Кулик А. А., Сергушов И. В., Скрипаль Е. Н.** Метод оценки угрозы авиационного происшествия на базе искусственного интеллекта // *Сборник научных трудов Всероссийской конференции "МКПУ-2017"*. 2017. С. 36—38.

Design the Method for Aircraft Accident of Prediction

A. A. Bolshakov, aabolshakov57@gmail.com,

Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University), 190013, Russian Federation,

A. A. Kulik, kulikalekse@yandex.ru, **I. V. Sergushov**, **E. N. Scripal**, pilot@kbpa.ru,

JSC "Design Bureau of Industrial Automation", 410005, Saratov, Russian Federation

Corresponding authors: Bolshakov Alexander A., Professor of the Department "Computer Aided and Management", Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Saint-Petersburg, 190013, Russian Federation, e-mail: aabolshakov57@gmail.com

Accepted on February 20, 2018

The study of security control system for aircraft which can to class threat accident and transmit data about it to the crew. A feature of the proposed system is the use and sale in its structure algorithms, fuzzy logic and decision support device. The authors proposed the method for prediction of aircraft accident which is different from others by calculation of values. It values are characterization of change variables which affect flight safety and can be use for flight conditions assessment. The advantage of this method is increase of reliability calculating of threats and effects of accident in the process of control of an aircraft. This result is achieved prediction changes the different variables of flight security. The practical significance is timely parrying accident by the crew and automatic of aircraft. This method can be implemented by algorithm of accident for prediction in the security control system of aircraft.

Keywords: the security control system, aircraft, decision support device

For citation

Bolshakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V., Scripal E. N. Design the Method for Aircraft Accident of Prediction, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. no. 19, pp. 416—423.

DOI: 10.17587/mau.19.416-423

References

1. **Reece Clothier**. The safety risk management of unmanned aircraft systems, available at: http://www.researchgate.net/publication/255853556_The_Safety_Risk_Management_of_Unmanned_Aircraft_Systems.
2. **Luxhoj James T., Williams Trefor P.** Integrated decision support for aviation safety inspectors, *Finite elements in Analysis and Design*, 1996, no. 23, pp. 381—403.
3. **Sucholitko V. A.** *Sposob podderzhki operatora v opasnykh situatsiyah* (The way to support the operator in danger situation), Patent for invention RU 220544 G05D1/00 on 03.05.2017 (in Russian).
4. **Berastau L. M., Harin E. G.** et al. *Avtomatizirovannaya vysokointellektual'naya sistema obespecheniya bezopasnosti poleta letatel'nogo apparata* (The automated high-intelligence for flight of aircraft), Patent for invention RU 2339547 B64D45/00 on 27.11.2008 (in Russian).

5. **Popov Y. V.** *Pokazateli bezopasnosti aviacionnykh poletov* (The safety indicators for aviation flights), *Technology of techno field security*, 2014, no. 6 (58) (in Russian).

6. **Bolshakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V., Scripal E. N.** *Razrabotka sistemy upravleniya bezopasnost'yu poleta letatel'nogo apparata* (Designing the security control system for aircraft), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 10, pp. 708—715 (in Russian).

7. **Bolshakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V.** *Razrabotka algoritmov funkcionirovaniya sistemy upravleniya bezopasnost'yu poleta letatel'nogo apparata vertoletnogo tipa* (Designing the algorithms for function of security control system for helicopter), *The news Samara science center*, 2016, vol. 18, no. 1 (2), pp. 358—362 (in Russian).

8. **Shibanov G. P.** *Ocenka stepeni obuchennosti operatora dlya upravleniya letatel'nyim apparatom* (Evaluation of the degree of operator training for aircraft control), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, no. 7, vol. 18, pp. 492—495 (in Russian).

9. **Ventcel A. D.** *Kurs sluchajnykh processov* (The course of random processes), Moscow, Nauka, Fizmatlit, 1996, 400 p. (in Russian).

10. **Bolshakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V., Scripal E. N.** *Metod ocenki ugrozy aviacionnogo proisshestviya na baze iskusstvennogo intellekta* (The method of assessing the threat of an aviation accident on the basis of aircraft intelligence), *Collection of proceeding of the All-Russian Conference "MCPU-2017"*, 2017, pp. 157—158 (in Russian).