

УДК 681.5

СПОСОБ ПАРИРОВАНИЯ УГРОЗЫ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ НА БАЗЕ МЕТОДОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А.А. Большаков

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
E-mail: abolsakov57@gmail.ru

А.А. Кулик

АО «Конструкторское бюро промышленной автоматики»
Россия, Саратов, Б. Садовая ул., 239
E-mail: kulikalekse@yandex.ru

Ключевые слова: безопасность полета, экспертная система, поддержка принятия решений.

Аннотация: Предлагается способ парирования угрозы авиационного происшествия, реализованный в устройстве поддержки принятия решений, которое является основным элементом системы управления безопасности полета летательного аппарата и представляет динамическую экспертную систему. Способ позволяет сформировать рекомендации экипажу по парированию угрозы авиационного происшествия на основе информации о его психофизическом состоянии, техническом состоянии объекта управления, внешних воздействующих факторов, а также прогноза изменения условий полета. Численное моделирование работы способа совместно с оценкой набора правил поддержки принятия решений позволили подтвердить его работоспособность. Полученные результаты могут быть применены в процессе разработки систем управления безопасностью полета летательных аппаратов, а именно в математическом обеспечении устройства поддержки принятия решений.

1. Введение

Активное развитие авиационной техники в значительной степени способствовало повышению уровня безопасности полета летательных аппаратов (ЛА) различного типа. Поэтому на борту аппарата применяются различные системы поддержки принятия решений. Примером такой системы является интеллектуальная система, входящая в состав комплексной системы управления интеллектуальной поддержки действий летного экипажа в виде экспертной системы [1], принцип действия которой основан на получении и оценке данных о состоянии используемого оборудования. Другим примером устройств обеспечения безопасности полета летательного аппарата являются системы, направленные на устранение происшествий на взлетно-посадочной полосе [2, 3]. Устройство выполняет функции оповещения экипажа звуковыми и световыми средствами при превышении скорости снижения летательного аппарата и неправильной конфигурации полета.

Недостатком этих систем является отсутствие комплексной оценки условий полета летательного аппарата по совокупности внешних и внутренних воздействующих факторов, влияющих на безопасность полета ЛА с учетом прогнозирования их изменений. Применение средств прогнозирования авиационного происшествия (АП) на их ранних стадиях позволит своевременно определить наличие угрозы происшествия с последующим ее парированием. Поэтому перспективным вариантом повышения безопасности полета ЛА является система управления безопасностью его полета.

Основными элементами предлагаемой системы управления безопасностью полета ЛА являются устройства предварительной обработки данных, поддержки принятия решений и передачи данных. При этом предварительная обработка данных заключается в получении системой информационно-измерительных данных от комплекса бортового оборудования летательного аппарата и в формировании электрических сигналов, характеризующих превышение заданных значений факторов, воздействующих на объект управления. Затем на основе информации об изменении условий полета летательного аппарата устройство поддержки принятия решений формирует вывод, характеризующий степень опасности полетного события и способы его устранения.

Цель настоящей работы заключается в разработке способа поддержки принятия решений (ППР) экипажа, позволяющего формировать рекомендации пилоту и сигналы в систему управления ЛА для парирования угрозы АП, исходя из текущих и прогнозируемых условий полета летательного аппарата.

Для достижения поставленной цели необходимо осуществить следующие основные этапы: формализация входных переменных алгоритма; формирование набора правил поддержки принятия решений; моделирование оценки угрозы авиационного происшествия.

2. Формализация входных переменных

Предлагаемое устройство поддержки принятия решений представляет динамическую экспертную систему, особенность которой заключается в формировании рекомендаций экипажу по парированию авиационного происшествия при изменении значений входных переменных во времени. Структурная схема устройства ППР приведена в [4].

Здесь $X(t)$ – массив входных данных после предварительной обработки; $\tilde{X}(t)$ – результаты прогнозирования угрозы авиационного происшествия; $Y(t)$ – выходные значения устройства поддержки принятия решений, характеризующие рекомендации пилоту по парированию угрозы АП или сигналы для парирования автоматикой.

Входными переменными устройства являются внешние и внутренние факторы, влияющие на безопасность полета ЛА, такие как техническое состояние объекта управления, психофизические характеристики экипажа, погодные условия полета. Также на вход блока поддержки принятия решений поступают значения прогноза изменения контролируемых переменных и результаты оценки условий полета ЛА. На выходе системы формируются рекомендации пилоту по нейтрализации угрозы АП или сигналы ее парирования средствами автоматического управления. Формализованное представление входных переменных блока принятия решений представлено в таблице 1, каждая группа характеризуется множеством входных переменных, которые оценивают состояние факторов и их воздействие на полет ЛА. Эти факторы относятся к слабоформализуемым, поэтому входные переменные устройства поддержки принятия решений представлены в виде лингвистических переменных. Кроме оценки текущих условий полета летательного аппарата целесообразно выполнять операцию по прогнозированию угрозы происшествия, которая содержит три основных эта-

па: определение изменения контролируемых переменных, построение их прогнозируемых зависимостей, оценка критических значений.

Таблица 1. Входные переменные блока поддержки принятия решений.

№	Группа	Переменная	Обозначение текущей переменной	Обозначение прогнозируемой переменной	Лингвистические переменные
1	Психофизическое состояние пилота	Усталость	x_{11}	\tilde{x}_{11}	низкая f_1 средняя f_2 высокая f_3
		Внимание	x_{12}	\tilde{x}_{12}	высокое k_1 среднее k_2 низкое k_3 рассеян k_4
		Уровень подготовки (компетенция)	x_{13}	\tilde{x}_{13}	высокий f_1 средний f_2 низкий f_3
		Стресс	x_{13}	\tilde{x}_{14}	нет k_1 низкий k_2 средний k_3 высокий k_4
2	Состояние летательного аппарата	Отказ функционально значимых элементов	x_{21}	\tilde{x}_{21}	незначительный f_1 аварийный f_2 катастрофический f_3
		Деформация силовых элементов конструкции	x_{22}	\tilde{x}_{22}	отсутствует k_1 незначительная k_2 существенная k_3 критическая k_4
		Управляемость и устойчивость ЛА	x_{23}	\tilde{x}_{23}	высокий f_1 средний f_2 низкий f_3
		Ошибка в ПО систем управления ЛА	x_{24}	\tilde{x}_{24}	нет k_1 незначительная k_2 существенная k_3 критическая k_4
3	Внешние воздействующие факторы	Встречный ветер	x_{31}	\tilde{x}_{31}	слабый f_1 средний f_2 сильный f_3
		Видимость	x_{32}	\tilde{x}_{32}	хорошая k_1 плохая k_2
		Боковой ветер	x_{33}	\tilde{x}_{33}	слабый f_1 средний f_2 сильный f_3

№	Группа	Переменная	Обозначение текущей переменной	Обозначение прогнозируемой переменной	Лингвистические переменные
4	Результаты предварительной обработки	Условия полета	Z	\tilde{Z}	хорошие k_1 сложные k_2 аварийные k_3 катастрофические k_4

В результате применения предложенного подхода к прогнозированию угрозы авиационного происшествия можно выявить причину, влияющую на заданном участке времени, а также сформировать рекомендации пилоту по устранению авиационного происшествия.

Представление входных данных блока поддержки принятия решений в форме лингвистических переменных позволяет осуществить их обработку с использованием аппарата нечеткой логики, который широко применяется в устройствах поддержки принятия решений и системах управления летательными аппаратами [4-6].

3. Формирование набора правил по поддержке принятия решений

Из таблицы 1 видно, что правило поддержки принятия решений имеет достаточно сложную структуру, реализация которой может привести к высоким вычислительным затратам. Поэтому набор правил поддержки принятия решений целесообразно структурировать на группы условий полета ЛА. Необходимо отметить, что состав набора правил зависит от объекта управления, его бортового оборудования, выполняемых функций и определяется в процессе разработки системы управления безопасности полета ЛА. Учитывая разделение условий полета аппарата на классы и применяя матрицу прецедентов, получим следующий набор правил поддержки принятия решений.

Условия полета безаварийные $Z = k_1$:

(1) ПРАВИЛО <1>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_1, k_1\}$ И $X_{2j} = \{f_1, k_1\}$ И $X_{3j} = \{f_1, k_1\}$ ТО $Y = \{g_1\}$,

где g_1 – угроза АП отсутствует, парирование не требуется.

Условия полета сложные $Z = k_2$:

(2) ПРАВИЛО <2.1>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_3, k_3\}$ И $X_{2j} = \{f_1, k_1\}$ И $X_{3j} = \{f_1, k_2\}$ ТО $Y = \{g_2\}$,

ПРАВИЛО <2.2>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_3, k_4\}$ И $X_{2j} = \{f_1, k_1\}$ И $X_{3j} = \{f_1, k_2\}$ ТО $Y = \{g_2\}$,

ПРАВИЛО <2.3>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_2, k_2\}$ И $X_{2j} = \{f_1, k_1\}$ И $X_{3j} = \{f_1, k_2\}$ ТО $Y = \{g_2\}$,

где g_2 – угроза АП парируется средствами автоматики, осуществляется повышение управляемости объекта сигналами от систем автоматического управления, улучшения устойчивости и управляемости.

Условия полета аварийные $Z = k_3$:

(3) ПРАВИЛО <3.1>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_1, k_3\}$ И $X_{2j} = \{f_3, k_4\}$ И $X_{3j} = \{f_2, k_1\}$ ТО $Y = \{g_3\}$,

ПРАВИЛО <3.2>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_1, k_1\}$ И $X_{2j} = \{f_2, k_4\}$ И $X_{3j} = \{f_3, k_1\}$ ТО $Y = \{g_3\}$,

ПРАВИЛО <3.3>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_3, k_4\}$ И $X_{2j} = \{f_2, k_3\}$ И $X_{3j} = \{f_1, k_1\}$ ТО $Y = \{g_4\}$,

ПРАВИЛО <3.4>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_2, k_2\}$ И $X_{2j} = \{f_1, k_1\}$ И $X_{3j} = \{f_3, k_2\}$ ТО $Y = \{g_4\}$,

где g_3 – сигнализация экипажу об отказах на борту объекта управления, угрозе АП с последующим парированием пилотом по рекомендации речевого транслятора; g_4 –

сигнализация экипажу об отказах на борту объекта управления, угрозе с последующим парированием реконфигурацией системы управления объекта и посадкой на ближайшую пригодную площадку.

Условия полета катастрофические $Z = k_4$:

(4) ПРАВИЛО <4.1>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_2, k_3\}$ И $X_{2j} = \{f_3, k_4\}$ И $X_{3j} = \{f_2, k_1\}$ ТО $Y = \{g_5\}$,

ПРАВИЛО <4.2>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_2, k_4\}$ И $X_{2j} = \{f_3, k_4\}$ И $X_{3j} = \{f_3, k_4\}$ ТО $Y = \{g_5\}$,

g_5 – сигнализация экипажу об отказах на борту объекта управления, угрозе АП с требованием покинуть объект управления.

Из представленного набора правил видно, что при наличии отказов систем управления летательных аппаратов и ухудшении погодных условий полета может возникать аварийная ситуация, парируемая пилотом. Если в процессе полета произошло ухудшение психофизического состояния экипажа и погодных условий при исправном техническом состоянии объекта управления, тогда аварийная ситуация парируется СУБ ЛА. Следует отметить, что структура набора правил в зависимости от прогнозируемых значений изменения входных переменных устройства аналогична представленной формулами (1) - (4) по условию полета.

Используя предложенный набор правил и значения входных переменных системы управления безопасностью полета ЛА, выполнено моделирование угрозы авиационного происшествия с выдачей рекомендаций экипажу по ее парированию.

Таким образом, предложенный способ позволяет сформировать рекомендации экипажу и сигналы управления по нейтрализации угрозы авиационного происшествия с учетом прогнозируемого изменения внешних и внутренних воздействующих факторов на условия полета ЛА.

4. Заключение

В процессе выполнения работы осуществлен анализ входных переменных блока поддержки принятия решений, предложен набор правил базы знаний, на базе которого разработан алгоритм парирования угрозы авиационного происшествия. Отличительной особенностью алгоритма является формирование сигнала управления ЛА в автоматическом режиме при отсутствии положительной реакции пилота по парированию угрозы происшествия. Дальнейшие работы по созданию систем управления безопасностью полета ЛА направлены на ее программно-аппаратную реализацию с последующей наземной отработкой и испытаниями в составе летающих лабораторий.

Список литературы

1. Сапогов В.А., Анисимов К.С., Новожилов А.В. Отказобезопасная вычислительная система для комплексных систем управления полетом летательных аппаратов // Электронный журнал: Труды МАИ. 2010. Вып. 45. <http://www.mai.ru/science/trudy.html>
2. Глубокая М.Г. Бортовая система поддержки принятия решений на этапе взлета пассажирского самолета // Техника воздушного флота LXXXII. 2008. № 1 (690). С. 21-30.
3. Шевченко А.М., Начинкина Г.Н., Солонников Ю.И. Моделирование средств информационной поддержки пилота на этапе взлета самолета // Труды Московского института электромеханики и автоматики (МИЭА). 2012. № 5. С. 54-64.
4. 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. 2016. Т. 18, № 1 (2). С. 358-362.

5. Куклев Е.А. Управление безопасностью полетов воздушных судов на основе нечетких оценок рисков возникновения нештатных условий полетов // Научный вестник МГТУ ГА. 2016. № 226. С. 199-205.
6. Большаков А.А., Кулик А.А., Сергушов И.В., Скрипаль Е.Н. Интеллектуальный метод оценки угрозы авиационного происшествия // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 5 (167). С. 3-9.