

А. В. Колисниченко, инженер, АО Камов, **Б. Е. Федун**, д-р техн. наук, проф., boris_fed@gosniias.ru
ФГУП ГосНИИАС

Бортовая интеллектуальная информационная система "Ситуационная осведомленность экипажа вертолета"

Система "Ситуационная осведомленность экипажа" входит в состав бортовых компьютерных систем, поддерживающих процесс решения экипажем задачи оперативного целеполагания. Она предъявляет экипажу непосредственные угрозы выполнению генеральной задачи вылета, целостности вертолета с определением для них так называемых "точек невозврата".

Ключевые слова: полетное задание, угрозы, осмотрительность, осведомленность, целеполагание, база знаний

Введение

При подготовке полета летательного аппарата (ЛА) или группы летательных аппаратов (самолетов, вертолетов) всегда ставится генеральная задача вылета (ГЗВ) и назначаются роли (ранги) ЛА в группе. В процессе выполнения полета в каждый текущий момент времени на любом ЛА группы с помощью алгоритмов деятельности экипажа (АДЭ) и алгоритмов, реализованных в бортовых цифровых вычислительных машинах (БЦВМ-алгоритмов), решаются задачи трех глобальных уровней управления (ГЛУУ):

- задачи оперативного целеполагания (I-ГЛУУ — первый глобальный уровень управления);
- задачи определения рационального способа достижения оперативно поставленной цели (II-ГЛУУ — второй глобальный уровень управления);
- задачи реализации принятого способа достижения оперативно поставленной цели (III-ГЛУУ — третий глобальный уровень управления).

Задачи I-ГЛУУ и II-ГЛУУ, которые называют тактическими, всегда решаются экипажем ЛА.

На необходимость поддержки БЦВМ-алгоритмами процесса решения тактических задач экипажем указывалось в многочисленных публикациях, в частности в работах [1—6]. В них была показана возможность разработки бортовых интеллектуальных систем, решающих тактические задачи (БИС-Т/З). Эти компьютерные системы должны вырабатывать и предъявлять экипажу (на информационно-управляющем поле кабины (ИУП)) рекомендации по способу оперативного решения тактической задачи, которая неожиданно возникла в полете ЛА.

Решение задач I-ГЛУУ и II-ГЛУУ на ЛА 4-го поколения осуществляется экипажем без какой-либо поддержки с помощью рекомендаций, оперативно вырабатываемых БЦВМ-алгоритмами. Для ЛА этого поколения БЦВМ-алгоритмы разрабатывались, главным образом, для решения задач III-ГЛУУ. При этом использовалась концептуальная модель "Эпизод". Эта модель содержит набор проблемных субситуаций (Пр/СС), выделенных из каждого этапа

(типовой ситуации (ТС)) полета. По каждой такой ПрС/С безотносительно к другим ПрС/С этой ТС инженерами разрабатывается свое алгоритмическое и индикационное обеспечение (АиИО): $АиИО = АДЭ + БЦВМ-алгоритмы$. При этом общую оперативную "системную увязку" такого бортового АиИО при решении тактических задач инженеры возлагают в полете на экипаж, не поддерживая его никакими оперативными рекомендациями. При использовании концептуальной модели ЛА "Эпизод" задачи I-ГЛУУ и II-ГЛУУ исчезают из поля зрения конструкторов бортового АиИО.

При появлении возможности реализовать алгоритмическую поддержку процесса принятия тактических решений экипажем ЛА перед инженерами, разрабатывающими бортовое АиИО, возникла необходимость перехода от концептуальной модели ЛА "Эпизод", которую они использовали до настоящего времени и которая не выделяет тактические задачи, к новой концептуальной модели ЛА "Этап" [1].

Для решения тактических задач на борту ЛА нового поколения будут размещаться БИС-Т/З двух классов: БИС_ I-ГЛУУ и БИС_ II-ГЛУУ.

Бортовые интеллектуальные системы I-ГЛУУ на борту летательных аппаратов

Интеллектуальные системы, решающие задачи I-ГЛУУ, работают на всех этапах полета ЛА. Они должны информацией и рекомендациями поддерживать следующие составляющие процесса решения этих задач экипажами ЛА: осмотрительность экипажа, ситуационную осведомленность экипажа, ситуационную уверенность экипажа.

Опишем эти составляющие (табл. 1).

- *Осмотрительность экипажа* обеспечивается предъявлением ему на ИУП кабины потенциальных угроз целостности ЛА или выполнению им заданной ГЗВ. Для этого на ИУП создается информационная модель внешней и внутрибортовой обстановки с представлением в ней потенциальных угроз. Модель реализуется БЦВМ-алгоритмами интегральной/комплексной обработки первичной информации, поступающей от бортовых измерительных систем, и БЦВМ-ал-

Составляющие решения задачи оперативного целеполагания

Составляющие задачи оперативного целеполагания	БЦВМ-алгоритмы обеспечения процесса решения задачи оперативного целеполагания	Информация экипажу на ИУП, представляемая БЦВМ-алгоритмами	Участие экипажа в работе БЦВМ-алгоритмов, обеспечивающих решение задачи оперативного целеполагания
Осмотрительность	Алгоритмы интегральной обработки первичной информации Алгоритмы выделения потенциальных угроз	Информационная модель внешней и внутрибортовой обстановки Потенциальные угрозы в информационной модели внешней и внутрибортовой обстановке	Нет Нет
Ситуационная осведомленность	ИИС СОЭ	НУГ в информационной модели внешней и внутрибортовой обстановке	Нет
Ситуационная уверенность	БОСЭС-целеполагание	Рекомендуемая текущая цель полета ЛА (рекомендуемая ТС)	1. Подтверждение НУГ. 2. Количественная оценка сложившейся ситуации

горитмами опознавания обнаруженных потенциальных угроз с классификацией их по типу. Работа таких БЦВМ-алгоритмов не требует ни диалоговых процедур с экипажем, ни информации от него с ИУП.

- *Ситуационная осведомленность* экипажа обеспечивается интеллектуальной информационной системой "Ситуационная осведомленность экипажа" (ИИС СОЭ). Эта система среди потенциальных угроз, выделенных в бортовой информационной модели внешней и внутрибортовой обстановки (см. выше), определяет те, которые непосредственно угрожают выполнению текущего этапа полета ЛА или целостности ЛА. Назовем их непосредственными угрозами (НУГ). Обнаруженные НУГ предоставляются экипажу на ИУП кабины ЛА в информационной модели внешней и внутрибортовой обстановки. Экипаж использует информацию с ИИС СОЭ для решения задачи оперативного целеполагания в соответствии с выполняемой генеральной задачей вылета и рангом ЛА в группе. Работа ИИС СОЭ также не требует ни диалоговых процедур с экипажем, ни информации от него с ИУП.
- *Ситуационная уверенность* экипажа обеспечивается бортовой оперативно советующей экспертной системой оперативного целеполагания (БОСЭС-целеполагание). Она при появлении непосредственной внешней и внутрибортовой угрозы успешному выполнению полетного задания заблаговременно предьявляет экипажу на ИУП рекомендацию по текущей цели полета ЛА. Эта рекомендация согласована с выполняемой ГЗВ и выделенной экипажем НУГ, поступившей из ИИС СОЭ [3]. Фрагменты таких рекомендаций экипажу по новой цели полета появляются на некоторых ЛА в ситуации, когда появляются угрозы, связанные непосредственно с существованием ЛА.

При работе БОСЭС-целеполагание предусматриваются диалоговые процедуры с экипажем и поступление в БОСЭС-целеполагание информации от него с ИУП [4].

Бортовая интеллектуальная информационная система

"Ситуационная осведомленность экипажа вертолета"

База знаний ИИС СОЭ состоит из трех блоков: блока наблюдаемых потенциальных угроз, блока выделения непосредственных угроз, блока классификации непосредственных угроз.

- *Блок наблюдаемых потенциальных угроз* получает от бортовых информационных средств, от БЦВМ-алгоритмов интегральной/комплексной обработки информации все обнаруженные потенциальные угрозы:

- 1) внешние угрозы;
- 2) внутрибортовые угрозы;

- 3) угрозу недостаточности бортовых расходных средств.

Далее в табл. 2 и 3 показаны некоторые угрозы из перечисленных типов и бортовые устройства, которые могут обнаруживать соответствующую угрозу. Обычно для потенциальных угроз инженеры собирают экспертные оценки времени, которое необходимо экипажу для принятия решений о возможности и типу противодействия угрозе. Эта оценка может использоваться в блоке выделения непосредственных угроз.

- *Блок выделения непосредственных угроз.*

В блоке в режиме реального времени по каждой обнаруженной потенциальной угрозе проводится прогноз ее развития и определение того момента времени, когда любое противодействие (из имеющихся в наличии противодействий) этой угрозе будет неэффективным. Назовем этот момент "точкой невозврата". Для его определения в этом блоке должны содержаться математические модели прогноза развития угрозы с процедурами выявления соответствующих "точек невозврата".

Приведенные в табл. 2 экспертные оценки времени, необходимого экипажу для принятия решения, должны учитываться при предьявлении экипажу на ИУП определившейся "точки невозврата".

Выявленные непосредственные угрозы передаются в блок классификации выделенных угроз, где

Внешние угрозы

№ п/п	Угрозы	Бортовые средства инструментального обнаружения	Классификация угрозы	Оценка времени, которое необходимо экипажу для принятия решения
1	Маршрут проходит через область опасной метеобстановки	Радиолокационная станция (РЛС)	Внш-2	От 4 с
2	Недопустимая близость к запретной зоне полета, границы которой заданы с помощью ИУП	БЦВМ	Внш-2	От 4 с
3	Опасность сближения с землей	Радиовысотомер (РВ)	Внш-3	От 4 с
4	Опасное сближение с другим ЛА при одиночном полете	Система предотвращения столкновений (TCAS)	Внш-3	От 4 с
5	Опасное сокращение дистанции между ЛА при полете в группе	TCAS	Внш-3	От 4 с
6	Опасность столкновения с препятствием	РЛС	Внш-3	От 4 с
7	Зона действия ПВО противника	РЛС, БКО	Внш-3	От 4 с
8	Атака вертолета ракетой воздух-воздух	Бортовой комплекс обороны (БКО)	Внш-3	От 2 с
9	Атака вертолета ракетой земля-воздух	БКО	Внш-3	От 2 с

Таблица 3

Внутрибортовые угрозы

№ п/п	Угрозы	Бортовые средства инструментального обнаружения	Обозначение ситуации	Оценка времени, которое необходимо экипажу для принятия решения
1	Повышенная вибрация вертолета	Датчики вибрации	Внт-2	От 4 с
2	Стружка в редукторе	Сигнализатор стружки	Внт-2	От 2 с
3	Недопустимая температура масла в редукторе	Сигнализаторы температуры	Внт-2	От 2 с
4	Недопустимое давление масла в редукторе	Сигнализатор давления масла	Внт-2	От 2 с
5	Отказ двигателя	Система регистрации состояния двигателя	Внт-3	От 4 с
6	Режим "Вихревое кольцо"	БЦВМ	Внт-3	От 4 с

происходит их классификация и ранжирование по моментам наступления "точек невозврата".

Приведем иллюстративный пример определения "точки невозврата" в ситуации отказа двигателей вертолета.

Пример. Иллюстративная математическая модель определения "точки невозврата" для непосредственной угрозы "Отказ двигателей". В случае останковки двигателей вертолет может опуститься на землю на авторотирующем винте. В этом режиме обычно возникает очень большая скорость снижения. Для ее уменьшения при подходе к земле давно предлагался очень простой прием "Подрыв": перед самым ударом о землю летчик резко увеличивает шаг несущего винта. Это создает дополнительную подъемную силу, тормозящую спуск вертолета. Несущий винт является как бы аккумулятором энергии, и эту энергию можно израсходовать для торможения спуска. Винт при этом быстро теряет свои обороты, и эффект торможения исчезает. Поэтому приемом "Подрыв" следует пользоваться на конечном участке снижения, обеспечив минимальную скорость снижения в момент касания земли.

Рассмотрим упрощенную математическую модель развития этой потенциальной угрозы при следующих предположениях:

- снижение вертолета на режиме авторотации происходит без горизонтального перемещения,

- "Подрыв" осуществляется на установившейся скорости спуска $v_{авт}$;
- после выполнения "Подрыва" возникает дополнительная подъемная сила, которая сообщает вертолету постоянное тормозящее ускорение $a_{п}$, длящееся $t_{п}$ с, достаточное для снижения скорости спуска вертолета до допустимой;
- при касании земли допустимая скорость вертолета должна быть не больше $v_{доп}$, которая определяется прочностью шасси вертолета;
- бортовой радиовысотомер (РВ) постоянно измеряет текущую высоту вертолета $H_{РВ}$ относительно плоской поверхности земли.

Тогда определение "точки невозврата" (остаток времени до подрыва) для НУГ "Остановка двигателя" осуществляется следующим образом: потребное тормозящее ускорение

$$a_{п} = \frac{v_{авт} - v_{доп}}{t_{п}};$$

высота подрыва

$$H_{подр} = v_{авт}t_{п} - a_{п}\frac{t_{п}^2}{2} = \frac{t_{п}}{2}(v_{авт} + v_{доп});$$

остаток времени до подрыва

$$t = \frac{H_{РВ} - H_{подр}}{v_{авт}}.$$

Математическая модель рассматриваемой непосредственной угрозы используется в базе знаний ИИС СОЭ-вертолета для расчета "точки невозврата" и передачи ее в "Блок классификации непосредственных угроз".

• *Блок классификации непосредственных угроз.*

В блоке для последующего решения задачи оперативного целеполагания в ИИС СОЭ должна быть выполнена классификация НУГ [4].

Внешние угрозы:

▲ при выполнении полета группой вертолетов/одним вертолетом могут возникать угрозы, влияющие на качество выполнения вертолетом ГЗВ (обозначим их Внш-1-1), угрозы опекаемому им другому объекту (обозначим их Внш-1-2) или команда с внешнего источника, предлагающая изменить/скорректировать выполняемую ГЗВ (обозначим эти угрозы Внш-1-3).

При этом момент обнаружения угрозы обеспечивает резерв времени экипажу на осмысливание ситуации и на выработку решения на противодействие угрозе;

▲ угрозы целостности вертолета, момент возникновения которых обеспечивает экипажу указанный выше резерв времени (обозначим их Внш-2);

▲ угрозы целостности вертолета, момент возникновения которых не обеспечивает экипажу указанный выше резерв времени (обозначим их Внш-3);

Внутрибортовые угрозы:

▲ при выполнении полета возникают угрозы, влияющие на качество выполнения ГЗВ самим вертолетом (обозначим их Внт-1). При этом момент обнаружения угрозы обеспечивает экипажу указанный выше резерв времени;

▲ угрозы целостности вертолета и здоровью его экипажа, момент возникновения которых обеспечивает экипажу указанный выше резерв времени (обозначим их Внт-2);

▲ угрозы целостности вертолета и здоровью его экипажа, момент возникновения которых не обеспечивает экипажу указанный выше резерв времени (обозначим их Внт-3).

ИИС СОЭ классифицирует наблюдаемые угрозы, выделяя отмеченные выше типы внешних и внутрибортовых угроз.

В табл. 2, 3 приведены примеры классификации некоторых внешних угроз (табл. 2), внутрибортовых угроз (табл. 3). Отдельным столбцом в таблицах отмечены бортовые средства инструментального обнаружения названных угроз и экспертные оценки времени, необходимого экипажу для принятия соответствующего решения.

Тщательно проведенный в 2015 г. специалистами ОАО "РПКБ" патентный поиск показал, что на бортах существующих вертолетов можно встретить фрагменты базы знаний системы ИИС-СОЭ-вертолета, выделяющие только определенный тип угроз. В ряде патентов кроме обнаружения угрозы

предлагается и способ противодействия ей, а это уже фрагмент базы знаний БОСЭС-целеполагание.

Материалов же по ИИС-СОЭ-вертолета, работающей по всей совокупности потенциальных угроз и выявлению среди них НУГ с позиции решения задачи оперативного целеполагания, не обнаружено.

ИИС-СОЭ-вертолета в бортовой информационной среде вертолета

На рисунке (см. третью сторону обложки) показано взаимодействие ИИС-СОЭ-вертолета:

- с системой подготовки вылета вертолета (предполетная информация: априорная информация об ожидаемых угрозах в предстоящем полете);
- с бортовыми информационными системами/устройствами;
- с ИУП кабины (МФИ — многофункциональные индикаторы, РИ — речевые информаторы, МФПУ — многофункциональные пульта управления);
- с БОСЭС-целеполагание.

Как видно из рисунка (см. третью сторону обложки), взаимодействия ИИС-СОЭ-вертолета с экипажем и БОСЭС-целеполагание, выходная информация системы (НУГ) предъявляется оператору на индикаторах ИУП и через бортовые речевые информаторы. Также отметим, что из ИИС-СОЭ-вертолета информация о появлении угрозы типа Внш-3 и Внт-3 также сразу поступает в БОСЭС-целеполагание [4].

Взаимодействие БИС_I-ГЛУУ с экипажем и другими бортовыми интеллектуальными системами тактического уровня описано в работе [7].

Заключение

1. Для поддержки процесса решения экипажем задачи оперативного целеполагания на борту вертолета необходимо размещение специальной интеллектуальной системы ИИС-СОЭ-вертолета. Система оперативно предъявляет экипажу на ИУП информацию о возникших НУГ, которые препятствуют выполнению вертолетом текущего этапа полета или угрожают его целостности. В ИИС-СОЭ-вертолета должна быть классификация НУГ по близости каждой из них к соответствующей "точке невозврата".

Непосредственную же помощь экипажу в решении задачи оперативного целеполагания оказывает БОСЭС-целеполагание.

База знаний ИИС-СОЭ-вертолета включает в себя три основных блока:

- базу данных наблюдаемых потенциальных угроз;
- блок выделения НУГ;
- блок классификации выделенных угроз.

2. Ключевым и наиболее трудоемким этапом создания ИИС-СОЭ-вертолета является разработка базы знаний системы и, в частности, создание для нее математических моделей прогноза развития

каждой потенциальной угрозы до превращения ее в НУГ с определением для этой угрозы "точки невозврата".

Список литературы

1. Федун Б. Е. Модель "Этап" для разработки облика бортовых интеллектуальных систем антропоцентрических объектов // *Онтология проектирования*. 2012. № 2 (4). С. 36—43.
2. Грибков В. Ф., Федун Б. Е. Бортовая информационная интеллектуальная система "Ситуационная осведомленность экипажа боевых самолетов" // *Интеллектуальные системы управления*. М.: Машиностроение, 2010. С. 108—116.
3. Желтов С. Ю., Федун Б. Е. Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции концептуальной модели "Этап". I. Структуры алгоритмов поддержки про-

цесса решения задачи экипажем // *Изв. РАН. ТиСУ*. 2015. № 3. С. 57—71.

4. Желтов С. Ю., Федун Б. Е. Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции концептуальной модели "Этап". II. Режимы работы бортовой оперативно-советующей экспертной системы и диалоги ее с экипажем // *Изв. РАН, ТиСУ*. 2016. № 3. С. 55—69.

5. Стефанов В. А., Федун Б. Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы (БОСЭС) типовых ситуаций функционирования антропоцентрических (технических) объектов: Учебное пособие. М.: Изд-во МАИ, 2006. 192 с.

6. Системы управления вооружением истребителей: основы интеллекта многофункционального самолета / Под ред. акад. РАН Е. А. Федосова. М.: Машиностроение, 2005. 399 с.

7. Федун Б. Е. "Электронный летчик": "Точка невозврата" пройдена не будет. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы тактического уровня для пилотируемых летательных аппаратов. М.: Авиапанорама, 2016. № 1. С. 9—20.

Onboard Intelligent Information System of the Situational Awareness of a Helicopter Crew

A. V. Kolisnichenko, Kamov Co.,

B. E. Fedunov, boris_fed@gosniias.ru, FGUP GosNIIAS, Moscow, 125319, Russian Federation

Corresponding author: Fedunov Boris E., Professor, D. Sc.,
Chief of the System Design Sector, FGUP GosNIIAS,
Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: boris_fed@gosniias.ru

Received on May 12, 2016

Accepted on June 04, 2016

During performance of a flight task (FT) by a helicopter (flight machine (FM)) the crew always has to solve the so-called tactical problems: the problem of the operative goal setting and the problems of designing of a way to achieve the operatively appointed purpose of the flight. The problem of the operative goal setting arises in a flight in case of occurrence of the direct external and intraonboard threats, which undermine performance of FT or threaten the integrity of FM. In this case the crew can demand to appoint a new current purpose of the flight, preferred to its carried out current purpose of FT. After a successful achievement of this new current purpose of the flight the crew solves the goal setting problem: a problem of return to performance of TF. Onboard computer systems were developed to help the crew solve the problem of the operative goal setting. They operatively ensure for the crew the discretion, the situational awareness, the situational confidence. The discretion of the crew is provided with the onboard algorithms of the complex processing of the information, which arrives from the onboard measuring systems. Those algorithms detect the external and intraonboard threats, which can prevent the performance of FT or threaten the integrity of FM. The potential threats are shown to the crew on the information and control field (ICF) of the FM cabin. The situational awareness of the crew is ensured by the intelligent information system "Crew Situational Awareness" (IIS CSA). The system allocates the direct threats among the potential threats and defines for them the so-called "points of noreturn". The direct threats and their "points of noreturn" are shown to the crew on ICF. The ranging of the direct threats is used during decision making concerning an operative goal setting problem. The situational confidence of the crew is ensured with an onboard operatively advising expert system "Operative Goal Setting" (BOSES — goal setting). The system recommends to the crew the priority current purpose of the flight. In the article the structure of units of IIS CSA is described and an example is provided of the definition of a "point of noreturn" for a certain direct threat.

Keywords: flight task, threats, crew circumspection, crew situational awareness, crew situational confidence, knowledge base

For citation:

Kolisnichenko A. V., Fedunov B. E. Onboard Intelligent Information System of the Situational Awareness of a Helicopter Crew, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 10, pp. 703—708.

DOI: 10.17587/mau.17.703-708

References

1. Fedunov B. E. Model "Etap" dlja razrabotki oblika bortovyh intellektual'nyh sistem antropocentricheskikh ob'ektov ("Phase" model for the development of image-board intelligent systems anthropocentric objects), *Ontologijaproektirovaniya*, 2012, no. 2 (4), pp. 36—43 (in Russian).
2. Gribov V. F., Fedunov B. E. Bortovaja informacionnaja intellektual'naja sistema "Situacionnaja osvedomlennost' ekipazha boevykh

samoletov" (Onboard information intellectual system "Situational awareness crew warplanes"), *Intellektual'nye sistemy upravlenija*, Moscow, Mashinostroenie, 2010, pp. 108—116 (in Russian).

3. Zheltov S. Ju., Fedunov B. E. Operativnoe celepolaganie v antropocentricheskikh ob'ektah s pozicii konceptual'noj modeli "Jetap". I. Struktury algoritmov podderzhki processa reshenija zadachi ekipazhem (The operational goal setting in anthropocentric objects from the perspective of a conceptual model of "Stage". I. Structure of algorithms for solving the problem of support crew process), *Izv. RAN, TiSU*, 2015, no. 3, pp. 57—71 (in Russian).

4. Zheltov S. Ju., Fedunov B. E. Operativnoe celepolaganie v antropocentricheskikh ob'ektah s pozicii konceptual'noj modeli "Jetap". II. Rezhimy raboty bortovoj operativno sovetujushhej ekspertnoj sistemy i dialogi ee s jekipazhem (The operational goal setting in anthropocentric objects from the perspective of a conceptual model of "Stage". II. Modes board promptly advising of expert system and its dialogue with the crew), *Izv. RAN, TiSU*, 2016, no. 3, pp. 55—69 (in Russian).

5. **Stefanov V. A., Fedunov B. E.** *Bortovye operativno-sovetujushhie ekspertnye sistemy (BOSJeS) tipovyh situacij funkcionirovanija antropocentricheskikh (tehniceskikh) ob#ektov* (Onboard operational advising expert systems (BOSES) typical situations functioning anthropocentric (technical) facilities), Moscow, Publishing house of MAI, 2006, 192 p. (in Russian).
6. **Fedosov E. A.** ed. *Sistemy upravlenija vooruzheniem istrebitelej: osnovy intellekta mnogofunktional'nogo samoleta* (Weapons control

systems fighters: the basics of intelligence multi-purpose aircraft), Moscow, Mashinostroenie, 2005, 399 p. (in Russian).

7. **Fedunov B. E.** "Jelektronnyj letchik": "Tochka nevozvrata" pro-jedna ne budet. *Bortovye operativno sovetujushhie ekspertnye sistemy takticheskogo urovnja dlja pilotiruemyh letatel'nyh apparatov* ("Electronic Pilot": "The point of no return" will not be passed. Onboard promptly advising the tactical level of expert systems for manned aircraft), Moscow, Aviapanorama, 2016, no. 1, pp. 9–20 (in Russian).

УДК 681.5

DOI: 10.17587/mau.17.708-715

А. А. Большаков, д-р техн. наук, проф., aabolshakov57@gmail.com,
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
А. А. Кулик, канд. техн. наук, инженер-системотехник II кат., kulikalekse@yandex.ru,
Е. Н. Скрипаль, нач. отд. разработки комплексов, гл. конструктор комплексов,
И. В. Сергушов, первый зам. ген. директора, гл. конструктор,
ОАО "Конструкторское бюро промышленной автоматики", г. Саратов

Разработка системы управления безопасностью полета вертолета

Проведено исследование взаимодействия систем автоматического и электродистанционного управления, а также рассмотрены внешние и внутренние воздействующие факторы. Показана необходимость применения в составе комплексной системы управления летательными аппаратами системы управления безопасностью полета. Особенностью предложенной системы является использование и реализация в ее структуре алгоритмов нечеткой логики и экспертной системы. Предложенный подход позволяет создать систему, адаптивную к изменяющимся условиям полета летательного аппарата, повысить быстроту реакции системы при наступлении неблагоприятного события. Получена математическая модель вычислительного ядра системы управления безопасностью полета вертолета, позволяющая исследовать физические процессы, протекающие в системе. Проведен ее анализ на корректность согласно условиям Адамара. Предложена структурная схема системы управления безопасностью полета вертолета, реализация которой осуществляется на базе искусственного интеллекта. Рассматриваются различные аспекты применения экспертных систем и алгоритмов нечеткой логики в системе управления вертолетом. Особое внимание уделяется анализу взаимодействия системы с другими комплексами управления летательным аппаратом.

Ключевые слова: система управления безопасностью полета, электродистанционная система управления, экспертные системы, алгоритмы нечеткой логики

Введение

В современной авиационной технике большое внимание уделяется комплексным системам управления летательными аппаратами (КСУ ЛА) [1], функционирование которых направлено на улучшение пилотирования ЛА в различных режимах управления. Основными подсистемами КСУ являются комплексы электродистанционного и автоматического управления. Системы электродистанционного управления (ЭДСУ) предназначены для передачи управляющих сигналов от рычагов управления на рулевые поверхности по линиям электрической связи. Для реализации режимов автоматического управления ЛА применяются различные системы автоматического управления.

Применение КСУ в ЛА обуславливает высокие требования к ее элементам и устройствам по надежности и безопасности полета, а также к взаимодействию пилота с бортовыми системами управления. Поэтому, например, вероятность наступления отказа системы ЭДСУ должна быть менее 10^{-9} , что соответствует катастрофическому уровню отказо-безопасности для случая катастрофы. Одним из средств обеспечения надежности функционирова-

ния САУ, а также взаимодействия пилота с бортовым оборудованием является использование системы управления безопасностью полета (СУБ).

СУБ полета ЛА представляет комплекс контроля и управления, функционирование которого связано с обнаружением и устранением летных происшествий под воздействием внутренних и внешних факторов на земле и в воздухе.

В конце XX века в авиации стали появляться устройства обнаружения и предупреждения пилота о наступлении летного происшествия с использованием логических элементов, например, речевой информатор, относящийся к средствам голосового оповещения. При наступлении летного происшествия или отказе системы ЛА информатор выдает голосовую информацию с использованием набора правил, реализованных аппаратно в логической форме. Отметим, что предлагаемый подход относится к экспертным системам.

Далее стали появляться более совершенные методы и устройства повышения безопасности пилотирования аппарата. Так, КСУ [2] содержит интеллектуальную систему поддержки экипажа, предназначенную для передачи информации пилоту через