

1541735

В. Н. Евдокименков  
Р. В. Ким  
М. Н. Красильщиков  
Г. Г. Себряков

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ЭКИПАЖА на основе доверительной модели замкнутой эргатической системы «САМОЛЁТ–ЛЁТЧИК»



**В. Н. Евдокименков**  
**Р. В. Ким**  
**М. Н. Красильщиков**  
**Г. Г. Себряков**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ЭКИПАЖА**  
**на основе доверительной модели**  
**замкнутой эргатической системы**  
**«САМОЛЁТ—ЛЁТЧИК»**

*Под редакцией М. Н. Красильщикова*



**МОСКВА**  
**ФИЗМАТЛИТ®**  
**2019**

УДК 629.7.05  
ББК 39.56  
И 73



*Издание осуществлено при поддержке  
Российского фонда фундаментальных  
исследований по проекту 19-18-00006,  
не подлежит продаже*

Авторский коллектив:

Евдокименков В.Н., Ким Р.В., Красильщиков М.Н.,  
Себряков Г.Г.

**Интеллектуальная поддержка экипажа на основе доверительной модели замкнутой эргатической системы «самолет–летчик»** / Под ред. М.Н. Красильщикова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. — 192 с. — ISBN 978-5-9221-1844-6.

В настоящей монографии изложена концепция, базирующаяся на использовании в качестве интеллектуальной основы поддержки экипажа воздушного судна так называемой доверительной эллипсоидальной модели замкнутой эргатической системы «самолет–летчик». Эта эллипсоидальная модель формируется и в дальнейшем уточняется на основе полетных данных, накапливаемых в процессе штатного выполнения выбранного типового полетного режима на пилотажном стенде или в реальных полетах.

Рассмотрены задачи вероятностного анализа и установлена их связь с проблемой оценки текущего состояния замкнутой эргатической системы «самолет–летчик». Предложены модели и алгоритмы оперативной оценки текущего состояния системы «самолет–летчик» и идентификации угроз безопасности полета на основе доверительной модели. Описана архитектура системы мониторинга состояния эргатической системы «самолет–летчик» и поддержки экипажа.

Для специалистов в области человекомашинных систем и проектирования бортовых средств обеспечения безопасности полетов, а также студентов и аспирантов высших учебных заведений, специализирующихся в области интеллектуальных систем и бортового оборудования летательных аппаратов.



ISBN 978-5-9221-1844-6

© ФИЗМАТЛИТ, 2019

© Коллектив авторов, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	5
Список литературы к предисловию . . . . .	10
<b>1. Традиционные подходы к исследованию замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» . . . . .</b>	<b>12</b>
1.1. Проблемы формального описания замкнутых эргатических систем . . . . .	12
1.2. Обзор структурно-функциональных моделей поведения человека-оператора . . . . .	15
1.3. Двухконтурная структурно-функциональная модель поведения человека-оператора при слежении . . . . .	19
1.4. Анализ свойств двухконтурной модели . . . . .	30
1.5. Нейросетевая модель замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» . . . . .	34
Список литературы к главе 1 . . . . .	41
<b>2. Задачи вероятностного анализа и их связь с проблемой оценки текущего состояния замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» . . . . .</b>	<b>43</b>
2.1. Математическая постановка задачи вероятностно-гарантированно-го оценивания состояния замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» . . . . .	43
2.2. Алгоритмы вычисления вероятностных критериев . . . . .	48
2.2.1. Алгоритмы оценки вероятностных критериев на основе прямого интегрирования плотности вероятности . . . . .	49
2.2.2. Алгоритмы оценки вероятностных критериев на основе метода статистических испытаний (метода Монте-Карло) . . . . .	51
2.2.3. Алгоритмы на основе доверительного подхода . . . . .	55
2.2.4. Алгоритмы оценки вероятности и квантили на основе аппроксимации распределения значений целевой функции . . . . .	62
Список литературы к главе 2 . . . . .	76
<b>3. Концепция поддержки действий экипажа на основе доверительной модели замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» . . . . .</b>	<b>78</b>
3.1. Существующие функции поддержки управляющих действий летчика на современных самолетах и анализ возможности их расширения . . . . .	78
3.2. Идентификация угроз безопасности полета на основе доверительной модели состояний замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» . . . . .	83
3.3. Реализация мер поддержки экипажей на основе использования эллипсоидальной модели состояний замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» . . . . .	98
Список литературы к главе 3 . . . . .	103

<b>4. Модели и алгоритмы оперативной оценки текущего состояния системы «самолет–летчик», идентификации угроз безопасности полета и выработки мер поддержки экипажа</b> . . . . .	104
4.1. Формирование и уточнение в процессе эксплуатации воздушного судна параметров доверительной модели эргатической системы «самолет–летчик» . . . . .	106
4.2. Структура алгоритмов, составляющих основу оценки текущего состояния системы «самолет–летчик» и идентификации конкретных источников возникновения особых ситуаций в полете . . . . .	110
4.3. Примеры работы алгоритмов на основе данных, полученных в процессе штатной эксплуатации воздушных судов и в ходе выполнения полетов на пилотажном стенде . . . . .	135
4.3.1. Вероятностно-гарантированная оценка текущего технического состояния системы кондиционирования воздуха с использованием данных штатных бортовых средств регистрации . . . . .	135
4.3.2. Оценка управляющих действий летчика в процессе выполнения посадочных режимов на пилотажном стенде . . . . .	144
Список литературы к главе 4 . . . . .	155
<b>5. Архитектура системы мониторинга замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» и поддержки экипажа на основе доверительной модели</b> . . . . .	156
5.1. Состав и взаимодействие программных модулей в структуре функционально-программного прототипа бортовой системы мониторинга состояния замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» и поддержки экипажа . . . . .	156
5.2. Программные модули ФПП, обеспечивающие обновление эллипсоидальной модели замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» в режиме послеполетной обработки информации . . . . .	160
5.3. Программные модули, поддерживающие функционирование ФПП системы мониторинга состояния замкнутой эргатической системы «самолет–летчик» и интеллектуальной поддержки экипажа в темпе полета . . . . .	182
Список литературы к главе 5 . . . . .	186





### **Евдокименков Вениамин Николаевич**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Московского авиационного института, автор свыше 170 научных работ.

Лауреат премии Ленинского комсомола в области науки и техники. Член редколлегии журналов «Труды МАИ», «Вестник МАИ».



### **Ким Роман Валерьевич**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Московского авиационного института, автор более 30 научных работ.



### **Красильщиков Михаил Наумович**

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Московского авиационного института, автор свыше 300 научных работ.

Заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Совета Министров СССР и премии Правительства РФ. Почетный работник высшего профессионального образования России. Действительный член международной Академии навигации и управления движением. Заместитель председателя редакционного совета журнала «Вестник компьютерных и информационных технологий», член редколлегии журнала «Известия РАН. Теория и системы управления».



### **Себряков Герман Георгиевич**

Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, автор свыше 300 научных работ.

Действительный член международной Академии навигации и управления движением. Председатель редакционного совета журнала «Вестник компьютерных и информационных технологий», член редколлегии журналов «Известия РАН. Теория и системы управления», «Мехатроника, автоматизация и управление».