



# ВВОД-ВЫВОД ИЗОБРАЖЕНИЙ

## В АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ



# **ВВОД – ВЫВОД ИЗОБРАЖЕНИЙ В АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

*Под редакцией  
А.В. Воробьёва и М.Б. Никифорова*



**МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2020**

УДК 004.932  
ББК 32.811.3  
В 24



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 20-18-00009, не подлежит продаже

Авторский коллектив:

Ефимов А.И., Колчаев Д.А., Логинов А.А., Муратов Е.Р.,  
Никифоров М.Б., Новиков А.И., Павлов О.В., Устюков Д.И.,  
Холопов И.С., Юкин С.А.

**Ввод–вывод изображений в авиационных системах технического зрения** / Под ред. А.В. Воробьева, М.Б. Никифорова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — 248 с. — ISBN 978-5-9221-1884-2.

Рассмотрены основные концепции построения систем ввода–вывода изображений в авиационных системах технического зрения, позволяющие оптимизировать обеспечение пилота графической информацией о закабинном пространстве и улучшить его ситуационную осведомленность с целью повышения безопасности полетов воздушных судов.

Предназначена специалистам в области разработки, производства и эксплуатации бортового радиоэлектронного оборудования, а также студентам и аспирантам авиационных и IT-вузов.

Рецензенты:

*Б.В. Костров* — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой ЭВМ,  
Рязанский государственный  
радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина;

*В.И. Бусурин* — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
«Системы автоматического и интеллектуального управления»,  
Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)

---

Научное издание

## **ВВОД–ВЫВОД ИЗОБРАЖЕНИЙ В АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

Редактор *Е.И. Ворошилова*  
Оригинал-макет: *Е.В. Сабаева*  
Оформление переплета: *А.В. Андросов*

Подписано в печать 16.09.2020. Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 15,5. Уч.-изд. л. 18,05. Тираж 300 экз. Заказ № 1405.

Издательская фирма «Физико-математическая литература»  
МАИК «Наука/Интерпериодика». 117342, г. Москва, ул. Бултерова, д. 17 Б  
E-mail: [pcorsova@fml.ru](mailto:pcorsova@fml.ru), [sale@fml.ru](mailto:sale@fml.ru)  
Сайт: <http://www.fml.ru>, интернет-магазин: <http://www.fmlib.ru>

Отпечатано с электронных носителей издательства  
в ООО «Типография «Перфектум»  
428000, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, 52

---

ISBN 978-5-9221-1884-2

© ФИЗМАТЛИТ, 2020

© Коллектив авторов, 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редакторов .....	7
<b>Глава 1. Сенсоры технического зрения .....</b>	<b>10</b>
1.1. Оптические сенсоры .....	11
1.1.1. Фотоприемная матрица .....	12
1.1.2. Разрешение матрицы .....	17
1.1.3. Геометрический размер матрицы .....	18
1.1.4. Светочувствительность матрицы .....	19
1.1.5. Битые и горячие пиксели на сенсоре .....	19
1.1.6. Объективы .....	20
1.1.7. Виньетирование .....	27
1.1.8. Светофильтры .....	27
1.2. Тепловизоры .....	28
1.2.1. Основные принципы тепловидения .....	28
1.2.2. Основные принципы построения тепловизионных при- боров .....	29
1.2.3. Полезные признаки и слабые стороны работы сенсоров оптического диапазона длин волн .....	49
1.3. Оптико-электронная система (ОЭС) .....	51
1.4. Радиолокаторы .....	53
1.4.1. Классификация современных радиолокаторов .....	55
1.4.2. Основные режимы работы обзорно-прицельных РЛС ..	61
1.4.3. Фильтрация РЛИ .....	67
1.5. Локационные лазерные системы (лидары) .....	73
1.5.1. Принцип действия лидара .....	73
1.5.2. Общее устройство лидаров .....	74
1.5.3. Структурная схема .....	75
1.5.4. Функциональная схема .....	78
1.6. Времяпролетные камеры Time-of-Flight (ToF) .....	81
Список литературы к главе 1 .....	87

<b>Глава 2. Индикаторы информационно-управляющего поля кабины летательного аппарата</b> .....	89
2.1. Информационно-управляющее поле кабины .....	92
2.1.1. Классификация индикаторов ИУПК .....	93
2.1.2. Принцип построения индикаторов ИУПК .....	98
2.2. Индикаторы и пульта на приборной панели .....	101
2.2.1. Многофункциональный индикатор/дисплей (МФИ) (Multi-Functional Display (MFD)) .....	101
2.2.2. Комплексный пилотажный индикатор — Primary Flight Display (PFD) .....	101
2.2.3. Комплексный индикатор навигационной обстановки (КИНО) — Navigation Display (ND) .....	105
2.2.4. Дисплей наземного движения — Electronic Moving Map Display (EMM) or Electronic Moving Display .....	109
2.2.5. Индикатор вертикальной обстановки — Vertical Situation Display (VSD) .....	110
2.2.6. Индикатор отклонения курса — Course deviation indicator (CDI) .....	110
2.2.7. Система индикации параметров работы двигателя и предупреждения об отказах — Engine Indication and Crew Alerting System (EICAS) .....	111
2.3. Распределение форматов окон на многофункциональных индикаторах и семантика отображаемой информации .....	114
2.3.1. Система отображения информации и управления самолета МС-21 .....	114
2.3.2. Пульта управления на приборной доске .....	120
2.3.3. Способы и формы визуализация данных в системах технического видения параметров отдельных подсистем вертолета .....	121
2.4. Индикаторы на лобовом стекле .....	128
2.4.1. Принцип действия индикатора на лобовом стекле .....	128
2.4.2. Широкоформатные индикаторы на лобовом стекле .....	139
2.5. Носимые очки .....	141
2.6. Электронный портфель летчика .....	143
2.6.1. Классификация EFB .....	145
2.6.2. Программное обеспечение для EFB .....	147
Список литературы к главе 2 .....	149
<b>Глава 3. Нашлемная информационно-управляющая система (НИУС)</b> .....	151
3.1. Назначение и основные требования, предъявляемые к НИУС .....	151
3.2. Зарубежные НИУС .....	157

---

3.3. Отечественные НИУС .....	159
3.3.1. НСЦ «Щель-ЗУМ» .....	159
3.3.2. НСЦИ с комбинированной системой позиционирования .....	161
3.3.3. Основные технические характеристики отечественных НИУС .....	165
3.4. Основные варианты построения систем индикации, применяемых в НИУС .....	166
3.4.1. Визуализаторы и оптические системы НИУС .....	166
3.4.2. Принцип действия проекционных систем индикации... ..	168
3.4.3. Типы проекционных систем индикации .....	170
3.5. Обзор физических принципов построения систем позиционирования НИУС .....	173
3.5.1. Электроакустические СП .....	174
3.5.2. Электромагнитные СП .....	174
3.5.3. Оптико-электронные СП .....	176
3.5.4. Инерциальные СП .....	177
3.5.5. Сравнительные характеристики различных типов СП .....	178
3.6. Основные принципы построения оптико-электронных СП ....	179
3.6.1. Математическая модель проективной камеры .....	179
3.6.2. Оценка параметров дисторсии .....	181
3.7. Алгоритмы определения пространственной ориентации объекта с реперными излучателями по информации от одной камеры .....	182
3.7.1. Алгоритмы $PnP$ .....	182
3.7.2. Решение задачи $P4P$ с применением SVD-разложения .....	184
3.7.3. Решение задачи $P4P$ с применением алгоритма $EPnP$ .....	184
3.7.4. Решение задачи $P4P$ с применением алгоритма $RPnP$ .....	185
3.7.5. Уточнение решения задачи $P4P$ с применением алгоритма минимизации Левенберга–Марквардта .....	185
3.8. Алгоритмы определения пространственной ориентации объекта с реперными излучателями по информации от двух камер .....	189
3.9. Основные принципы построения инерциальных СП на микроэлектромеханических датчиках .....	194
3.10. Алгоритм вычисления угловых координат инерциальной системы позиционирования .....	196
3.11. Комплексование угловых координат от оптико-электронной и инерциальной систем позиционирования на основе фильтра Калмана .....	198
Список литературы к главе 3 .....	199

<b>Глава 4. Способы представления информации от системы технического зрения на индикаторах информационно-управляющего поля кабины летательного аппарата</b> .....	207
4.1. Назначение комбинированной визуализации видеоинформации.....	207
4.2. Способы слияния графической информации в многоспектральных системах технического зрения авиационного применения .....	209
4.2.1. Способы визуализации видеоинформации оптико-электронной системы .....	209
4.2.2. Способы визуализации видеоинформации от ОЭС и ВММ .....	210
4.3. Способы визуализации информации от лазерной локационной системы.....	215
4.3.1. Визуализации информации от ЛЛС .....	215
4.3.2. Способы визуализации информации от ЛЛС и ОЭС ...	217
4.3.3. Способы визуализации информации от ЛЛС и ВММ	223
4.4. Способы визуализации информации от системы датчиков малых высот .....	227
4.4.1. Визуализации информации от СДМВ .....	227
4.4.2. Способы визуализации информации от ОЭС и СДМВ	231
4.4.3. Способы визуализации информации от ЛЛС и СДМВ	233
4.5. Способы визуализации информации от радиолокационной станции .....	234
4.5.1. Визуализация информации от РЛС .....	234
4.5.2. Способы визуализации информации от РЛС и ВММ ..	235
4.6. Способы визуализации информации от РЛС и ОЭС.....	236
4.6.1. Алгоритм преобразования РЛИ к ТВ-изображению ...	236
4.6.2. Нахождение координат образов угловых точек на виртуальной камере .....	237
4.6.3. Построение проективного преобразования и получение панорамного изображения .....	239
4.7. Наиболее эффективные способы комбинированной визуализации видеоинформации .....	243
Список литературы к главе 4 .....	244
Об университете.....	247
Об авторах .....	248