

Рис. 4

Хроматическое число поверхности равно максимальному числу областей, которые можно отделить на поверхности так, чтобы каждая из них имела общую границу со всеми другими. Если каждая такая область будет иметь цвет, отличный от остальных, то любой цвет может находиться на соседней позиции с любым другим. Если разбить ленту Мёбиуса на две замкнутые горизонтальные полосы, каждая из которых содержит по три разных цвета, то получим, что хроматическое число ленты Мёбиуса равно шести. [2] (рис. 3)

**Заключение.** Таким образом, исследовав топологические модели тора и ленты Мёбиуса, мы нашли их хроматическое число и обосновали, что выбранные многообразия можно правильно раскрасить.

1. Атанасян Л. С. Геометрия : Учебное пособие для студентов физико-математических факультетов педагогических институтов: в 2 ч. / Л. С. Атанасян, В. Т. Базылев. – Москва : Просвещение, 1987. – 2 ч. – 352 с.
2. Долженков В. А. Элементы общей топологии : учеб.-метод. пособие / В. А. Долженков, Е. Г. Соловьева, И. В. Горчинский. – Курск : КГУ, 2006. – 63 с.
3. Келли Дж. Л. Общая топология / Дж. Л. Келли. – Москва : Наука, 1968. – 384 с.
4. Самохин А. В. Проблема четырех красок: неоконченная история доказательства // СОЖ. – 2000. – № 7. – С. 91–96.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ЗА СЧЕТ АДАПТАЦИИ ПОРТРЕТОВ К УГЛАМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА

*Свинарский М.В., Зайко Е.В.,*

*адъюнкты УО «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск, Республика Беларусь  
Научный руководитель – Ярмолик С.Н., канд. техн. наук, доцент*

Анализ современных вооруженных конфликтов показывает, что в условиях массированного налета авиации противника и ограниченных возможностей средств противовоздушной обороны существует необходимость первоочередного уничтожения наиболее опасных целей [1]. Успех противовоздушного боя существенно зависит от оптимальности распределения целей между имеющимися средствами поражения. Эффективное решение данных задач предполагает наличие информации о классах или типах наблюдаемых целей.

При решении задачи распознавания в радиолокационных системах в качестве классификационных признаков широко используются радиолокационные портреты (РЛП) объектов наблюдения [1]. Процесс принятия решения о классе наблюдаемого объекта предполагает сопоставление реализации наблюдаемого РЛП с имеющимися эталонными портретами. Эффективность принимаемого решения во многом зависит от оптимальности процедуры обработки элементов выделенного РЛП и степени соответствия портрета ожидаемому эталону [1]. При этом обрабатываемые РЛП являются функцией ряда информативных параметров [1]. В качестве одного из таких параметров, который определяет особенности выделенного РЛП, выступает ориентация летательного аппарата (ЛА) в пространстве  $\Theta^{ЛВ}$  [2].

Пространственную ориентацию радиолокационной цели в системе координат (СК) линии визирования (ЛВ) радиолокатора принято характеризовать совокупностью трех углов: курса, тангажа и крена

$(\Theta^{ЛВ} = \|\psi^{ЛВ} \quad \vartheta^{ЛВ} \quad \gamma^{ЛВ}\|^T)$  [2]. В процессе полета летательного аппарата (ЛА) постоянно изменяются его углы пространственной ориентации (УПО) относительно радиолокационной станции ( $\Theta^{ЛВ}$ ). Отмеченный факт обуславливает необходимость постоянной адаптации имеющихся эталонных РЛП к текущим условиям наблюдения ЛА [2]. Существующее число публикаций в отечественной и зарубежной литературе, посвященное вопросам адаптации систем распознавания, свидетельствует о существенном интересе ученых и инженеров к данному направлению исследований. При этом определенный интерес вызывает исследование влияния

методов адаптации к УПО на эффективность классификации объектов. Рассмотрению данного вопроса и посвящена данная работа.

**Материал и методы.** Вопросы адаптации алгоритмов распознавания к текущим условиям наблюдения объектов на сегодняшний день весьма далеки от полного рассмотрения. Проведенные исследования позволили разработать методику оценивания углов ( $\hat{\Theta}^{ЛВ}$ ), характеризующих пространственную ориентацию объекта в СК ЛВ [2]. В [2] предложен способ формирования оценок УПО наблюдаемого объекта ( $\hat{\Theta}^{ЛВ}$ ), обеспечивающий повышение эффективности принимаемых решений о классе объекта. Необходимо отметить, что обеспечение высокой точности оценивания УПО ЛА вынуждает использовать значительные временные ресурсы [2]. Необходимость использования компромиссного решения между точностью оценивания УПО ЛА и располагаемым временным ресурсом вынуждает совершенствовать подходы к построению адаптивных систем. В [3] предложен способ адаптации РЛП к текущим условиям наблюдения, основанный на учете закона распределения (ЗР) оценок УПО ЛА.

Принимаемые решения о классе наблюдаемого объекта носят статистический характер. Эффективность функционирования устройств распознавания характеризуется вероятностными показателями качества, которые определяют характеристики распознавания [1]. В рамках проводимых исследований методом математического моделирования оценивались характеристики распознавания при использовании анализируемых методов адаптации к УПО: метод максимального правдоподобия (ММП) и метод учета ЗР УПО ЛА (МУЗР) [3]. Исследования проводились с использованием дальномерных радиолокационных портретов наблюдаемых объектов (ДРЛП).

**Результаты и их обсуждение.** При моделировании использовались следующие исходные данные:  $r_n = 380$  [км] – начальная дальность полета ЛА;  $\beta_n = 30^\circ$  – начальный азимут полета ЛА;  $H_n = 3$  [м] – начальная высота полета ЛА;  $\psi_n = 180^\circ$  – начальный курс полета ЛА;  $T_{обз} = 10$  [с] – период обзора радиолокатора;  $V = 900$  [км/ч] – модуль вектора полной скорости полета ЛА;  $N_{обз} = 150$  – количество точек траектории полета ЛА.

Для расчета характеристик распознавания класса наблюдаемого объекта использовалась выборка размером  $N = 10^8$ . В процессе исследований анализировались ДРЛП целей трех классов: 1 класс – ракета (ALCM); 2 класс – истребитель (Tornado); 3 класс бомбардировщик (B-52). Проводились следующие исследования:

- на вход устройства радиолокационного распознавания подавался зашумленный радиолокационный портрет анализируемого класса объекта, соответствующий заданному отношению сигнал/шум.

- в устройстве распознавания воспроизводятся модели распознаваемых классов целей (эталонные) для двух анализируемых методов (ММП и МУЗР).

- реализация ДРЛП наблюдаемого объекта сравнивается с имеющимися эталонными портретами. За истинную принималась гипотеза, соответствующая максимальному сходству ДРЛП наблюдаемой цели и одного из используемых эталонных портретов.

Результаты моделирования в виде характеристик распознавания представлены на рисунках 1 и 2 (для 3-го и 30-го контакта с объектом наблюдения).

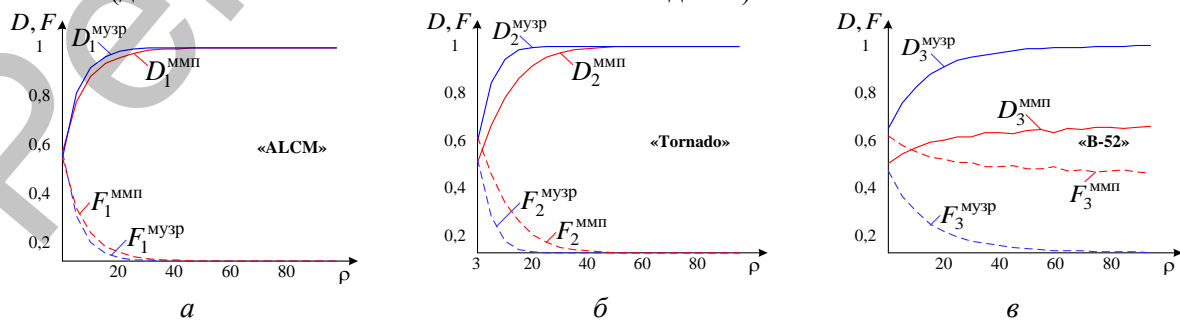


Рисунок 1. – Характеристики распознавания для 3-го контакта с целью  
а – 1 класс; б – 2 класс; в – 3 класс

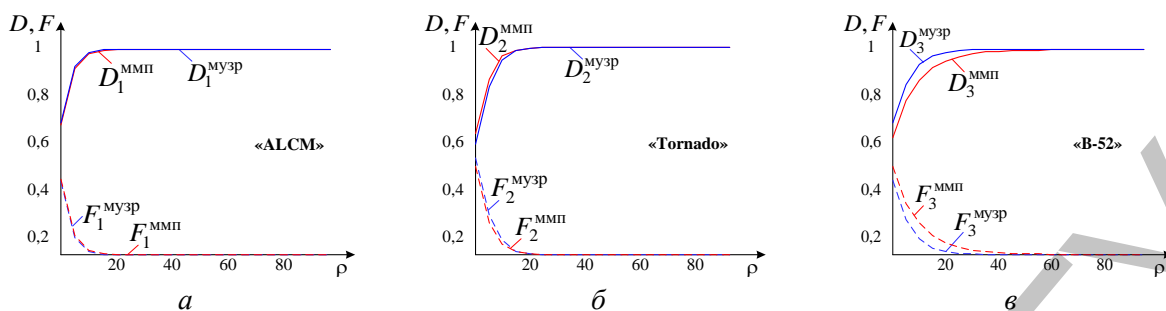


Рисунок 2. – Характеристики распознавания для 30-го контакта с целью  
а – 1 класс; б – 2 класс; в – 3 класс

Результаты моделирования, представленные на рисунках 1 и 2, позволяют утверждать, что наличие процедуры адаптации к УПО существенно увеличивает эффективность классификации объектов. Важно отметить, что на практике решение о классе наблюдаемого объекта необходимо принимать в условиях дефицита времени, т.е. на первых контактах с целью. В связи с этим использование метода адаптации, основанного на учете ЗР УПО ЛА, является более эффективным.

**Заключение.** Показано, что при распознавании в условиях дефицита времени на принятие решения о классе объекта использование метода адаптации, основанного на учете ЗР УПО ЛА, является более эффективным. Увеличение длительности процедуры наблюдения объекта, позволяет использовать в интересах адаптации как метод МУЗР, так и метод ММП.

1. Курлович, В. И. Основы теории радиосистем: учеб. пособие / В.И. Курлович, С.В. Шаляпин. – Минск : ВА РБ, 1999. – 342 с.
2. Ярмолик, С.Н. Повышение точности оценивания ориентации летательного аппарата в интересах адаптации радиолокационных портретов к условиям наблюдения / С.Н. Ярмолик, М.В. Свинарский, А.С. Храменков, Е.В. Зайко // Доклады БГУИР. № 5, 2018. С. 57–64.
3. Ярмолик, С.Н. Учет распределения углов пространственной ориентации ЛА при адаптации радиолокационных портретов к изменяющимся условиям наблюдения / С.Н. Ярмолик, М.В. Свинарский, А.С. Храменков, Е.В. Зайко // Доклады БГУИР. № 6, 2018. С. 28–36.

## АДАПТАЦИЯ К ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМ ЭТАЛОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НА ПОТОКЕ ВИДЕОДАННЫХ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ-ИЗМЕРЕНИЯ

*Цуприк С.В., Солонар А.С.,*

*адъюнкт УО «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск, Республика Беларусь  
Научный руководитель – Солонар А.С., канд. техн. наук, доцент*

Обработка изображений в системах технического зрения, является одним из интенсивно развивающихся направлений научных исследований [0, 5]. Большую популярность приобрели системы технического зрения, реализованные в виде оптико-локационных систем (ОЛС). Они предназначены для установки как стационарно, так и на автономных носителях, таких как самолёты, вертолёты, автомобили, беспилотные летательные аппараты (БЛА). Основными задачами ОЛС являются поиск и обнаружение объектов в пространстве, измерение их координат и параметров. Особый интерес представляют корреляционные методы обнаружения объектов и измерения координат, основанные на сопоставлении наблюдаемого изображения с эталоном. Интерес вызван высокой точностью и помехоустойчивостью обнаружения и измерения координат объектов на изображении. Однако корреляционные алгоритмы обладают высокой вычислительной сложностью и неустойчивостью к геометрическим преобразованиям изображений объектов с течением времени.

Цель – рассмотреть корреляционный метод, обеспечивающий в реальном масштабе времени решение задачи обнаружения объектов и измерения их координат для -локационных систем, в различных условиях обстановки с адаптивным формированием эталонных изображений.

**Материал и методы.** Для решения задачи адаптации эталонных изображений к геометрическим преобразованиям изображений объектов, была разработана структурная схема устройства формирования и коррекции эталонных изображений, представленная на рисунке 5. Одним из ключевых элементов в структуре является устройство формирования и коррекции эта-