ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А. НОВИКОВА»

На правах рукописи

ПОНОМАРЕВ КИРИЛЛ ЮРЬЕВИЧ

# МЕТОД ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ НА КОНФЛИКТНОСТЬ ПОСРЕДСТВОМ ПОЛИХРОМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

*2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники»*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата

технических наук

**Научный руководитель:**

доктор технических наук,

профессор Г.А. Крыжановский

Санкт-Петербург - 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ..... 5
1. ВИЗУАЛЬНО-КОГНИТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ОЦЕНКЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ ..... 16
1.1. Развитие средств информационного обеспечения диспетчера УВД ..... 16
1.2. Проблемы оценки динамической воздушной обстановки на конфликтность в средствах информационного обеспечения ..... 21
1.3. Влияние визуально-когнитивной составляющей психической деятельности диспетчера УВД на оценку динамической воздушной обстановки ..... 30
1.4. Объемно-пространственные формы при полихромном отображении объектов в информационном обеспечении диспетчера УВД для формирования ситуационной осведомленности ..... 40
Выводы по главе 1 ..... 47
2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ЦВЕТОГРАФИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СРЕДСТВАХ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ..... 49
2.1. Принципы разработки цветографических решений информационного обеспечения диспетчера УВД ..... 49
2.1.1. Цветографические решения информационного обеспечения диспетчера УВД методами человеко-ориентированного проектирования ..... 50
2.1.2. Типовые концепции разработки цветографических решений в средствах информационного обеспечения диспетчера УВД ..... 52
2.2. Модели информационного обеспечения диспетчера УВД при разработке цветографических решений ..... 56
2.2.1. Модель информационного обеспечения диспетчера УВД с применением положений теории функциональных систем ..... 56
2.2.2. Модель информационного обеспечения диспетчера УВД с учетом сложности динамической воздушной обстановки ..... 63

2.2.3. Алгоритм конструирования ситуаций УВД с заданным уровнем сложности ДВО ..... 68
2.3. Методы оценки цветографических решений информационного обеспечения диспетчера УВД ..... 71
2.3.1. Метод сравнения реального и идеального информационного обеспечения диспетчера УВД ..... 71
2.3.2. Метод вектор-функционала характеристик личностного фактора диспетчера УВД ..... 75
2.3.3. Метод повышения семантической емкости информации о динамической воздушной обстановке ..... 78
2.3.4. Оценка безошибочной работы диспетчера УВД при использовании полихромии в средствах информационного обеспечения на основе теории возможностей ..... 81
2.4. Показатели эффективности цветографических решений динамической воздушной обстановки ..... 85
Выводы по главе 2 ..... 89
3. МЕТОД ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ НА КОНФЛИКТНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦВЕТОГРАФИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИХРОМИИ ..... 91
3.1. Создание информационного образа динамической воздушной обстановки в средствах информационного обеспечения при полихромном отображении объектов ..... 91
3.2. Метод полутоновой полихромной визуализации элементов динамической воздушной обстановки для улучшения ситуационной осведомленности диспетчера УВД ..... 101
3.3. Применение метода полутоновой полихромной визуализации элементов динамической воздушной обстановки для повышения ситуационной осведомленности диспетчера УВД ..... 105

3.4. Формирование визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД при оценке на конфликтность полихромной динамической воздушной обстановки ..... 113
3.5. Комплексный показатель эффективности визуально-когнитивных процессов диспетчера УВД при оценке динамической воздушной обстановки ..... 125
3.6. Компенсация остаточной энтропии полихромного отображения объектов в информационном обеспечении диспетчера УВД ..... 130
Выводы по главе 3 ..... 138
4. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛИХРОМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ВИЗУАЛЬНО-КОГНИТИВНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ..... 140
4.1. Оценка полихромного отображения и способов визуализации динамической воздушной обстановки в эксперт-группах ..... 140
4.2. Оценка влияния хроматической стереоскопии в динамической воздушной обстановке на обнаружение потенциально конфликтных ситуаций диспетчером УВД ..... 147
4.3. Оценка остаточной энтропии полихромной визуализации объектов управления динамической воздушной обстановки и её компенсация ..... 153
Выводы по главе 4 ..... 157
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 159
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ..... 163
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ..... 164
Приложение 1 ..... 179
Приложение 2 ..... 180
Приложение 3 ..... 181
Приложение 4 ..... 183

# ВВЕДЕНИЕ

Начиная с середины 1970-х годов показатели роста воздушного движения последовательно игнорируют циклы рецессии, возрастая вдвое каждые 15 лет, увеличивая нагрузку на различные компоненты аэронавигационной системы, включая систему управления воздушным движением (УВД) [9].

Понятие системы УВД объединяет такие элементы, как поток воздушных судов (ВС) и обеспечение его безопасного, экономичного и эффективного регулирования непрерывным контролем со стороны диспетчеров УВД, средства наблюдения, навигации и связи, установленные процедуры УВД, средства автоматизации многочисленных процессов и др. [14, 53].

Система УВД определяет главные характеристики по способности поставщиков аэронавигационного обслуживания удовлетворять потребности рынка авиаперевозок и выполнять ограничения по безопасности полетов, оставаясь приверженными принципам рентабельности, справедливости и экологичности [8].

Анализ элементов системы УВД, как системы «человек-информация-машина» (СЧИМ), показывает, что узким местом в ней является человек-оператор, т.е. диспетчер УВД.

На практике, в условиях высокой интенсивности потока ВС объем информации, требующей анализа, крайне велик. Это значительно повышает трудоемкость процесса восприятия и сбора информации для принятия решения, вызывает временной дефицит и повышает риск нежелательных событий: информационной перегрузки, пропусков конфликтных ситуаций, команд на совершение экстренных маневров ВС, потери состояния экономичного и безопасного потока воздушного движения [59, 125]. Данная ситуация имеет непосредственное отношение к профессиональным качествам диспетчера УВД, его ситуационной осведомленности и эффективности оценки ДВО на конфликтность, а также информационному обеспечению (ИО) при работе в АС УВД [75, 78, 84, 121, 143].

Логично и оправдано стремление оптимизировать количество необходимых функциональных затрат диспетчера УВД при реализации его деятельности, что подтверждает мировая практика наиболее удачных организационно-процедурных решений в системе УВД [8, 14, 138]:

- автоматизация процессов УВД;
- введение процедурного контроля за ДВО;
- перераспределение потока ВС по времени и в пространстве;
- машинный расчёт и индикация потенциально-конфликтных ситуаций (ПКС) на ряду с инструментами прогнозирования траекторий полета и средствами поддержки принятия решений (TCT, Probe, MONA, CORA, D/AMAN);
- совершенствование процедур УВД при развитии комплексов наблюдения, навигации и связи (АЗН-В, PBN, RTMODE-S, CPDLC и др.);
- автоматического согласования и обмена информацией (OLDI) и др.

В настоящее время инициативы мирового авиационного сообщества, в том числе в рамках концепций CNS/ATM и ASBU, затрагивают развитие и разработку средств обеспечения принятия решений (ASBU: SNET-B0/1, FRTO-B1/5, FRTO-B0/4; OCD: R06, 61-66, 118), а в части ОВД и улучшения ситуационной осведомленности диспетчера УВД [8, 9].

На данный момент продолжают свое развитие и международные, и национальные программы модернизации систем ОрВД («The Next Generation Air Transpotation System» – NextGen (USA), «Single European Sky ATM Research» - SESAR (EU), «Транспортная стратегии Российской Федерации на период до 2030 года», Программа «Транспортный комплекс» Республики Беларусь на 2021-2025) и др., направленные в первую очередь на снижение рисков в части неспособности некоторых элементов справляться на должном уровне безопасности полетов как с «непредвиденными всплесками активности», так и с прогнозируемыми темпами роста воздушного движения [10, 12, 138, 149].

При этом и четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0) актуализирует внедрение современных средств автоматизации и

интеллектуальных информационных систем, способных перерабатывать большие объемы данных (Big Data) и использовать алгоритмы машинного обучения [68, 120, 129] – что на современном этапе развития транспортных рынков, как в России и СНГ, так и за рубежом, определяют необходимость формирования новых компетенций у персонала по организации воздушного движения (ОрВД) [113], совершенствования технологий обслуживание воздушного движения (ОВД) и, в частности, способов взаимодействия диспетчеров УВД со средствами информационного обеспечения (ИО) в АС УВД [9, 69, 98, 138, 149].

Важным является исследование процессов УВД и характеристик деятельности диспетчера УВД, включая скорость и полноту формирования целостного информационного образа ДВО, при использовании средств ИО в АС УВД, которые осуществляют пикторально-аудиальное[1] представление основного объекта управления. При этом следует учитывать специфику процессов УВД и применимость к ним инноваций в сфере компьютерных технологий, инфографики, когнитивных наук, а также к личной деятельности диспетчера (либо в коллективе) в условиях стресса и дефицита времени на принятие управленческих решений [56].

Постановка перечисленных проблем и посик путей их решения являются актуальными вопросами на ближайшие годы для повышения эффективности управления большими и сложными системами, такими как система УВД.

**Актуальным и необходимым** является улучшение способа представления информации о динамической воздушной обстановки, как основы формирования информационного образа объекта управления, обеспечивающего единственную возможность рационально осуществлять процесс принятия решений (ППР) при высокой сложности УВД, посредством усовершенствования ее цветографического представления в средствах ИО, для повышения качества ее восприятия диспетчером УВД (сокращения времени восприятия, устранение «слепых зон»

[1] ГОСТ Р.43.0.3.-2009 [3]: Пикториально-аудиальное представление технических сведений – представление сведений в картинном и речезвуковом виде.

ДВО и проч.), и, как следствие, выполнения требований по безопасности полетов с наращиванием резерва пропускной способности системы УВД.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники», согласно направлениям исследований: п. 2 в части «Совершенствование методов и средств управления и планирования полетов»; п. 12 в части «Исследование опасных факторов на безопасность полетов. Структурный анализ и синтез иерархических и полиэргатических систем и анализ процессов в этих системах»; п. 16. в части «Информационное обеспечение процессов использования по назначению авиационной техники».

**Степень разработанности и методологические основы исследования**.

Постановки задач и методы их решения в представляемой работе базируются на теории и практике системного моделирования и исследования операций в транспортных системах, отраженных в работах А. Б. Байрамова [60], Н. П. Бусленко [26], И. С. Голубева [34], А. В. Губенко [35], В. М. Затонского [43], Д. Ю. Каталевского [46], Г.А. Крыжановского [53, 56], Е. А. Куклева [59, 60], Ю. А. Лоскутова [66], М. Ю. Смурова [60], В. Г. Старосельца [89] и др.; теории информаци, теории вероятности и ее инженерных приложений, а также теории возможностей в работах: Е.С. Вентцеля [29], Д. Дюбуа, А. Прада [38], А.Н. Колмогорова [49], Ю.П. Пытьева [82]; на теории принятия решений, теории функциональных систем и системной организации психической деятельности: П. К. Анохина [17, 18], О. И. Ларичева [62], А.Н. Леонтьева [64], П.П. Новикова [74], К. В. Судакова [92], А. В. Тиханычева [94], Дж. Миллера, [71] и др.; переработки информации у человека, как оператора человеко-машинных систем, эрогомики и инженерной психологии – А. А. Денисова [37], А.С. Баканова [21], П. Линдсея (P. Lindsey) [65], Ф. Блума (F. Bloom) [25], Н.Н. Волкова [30], А.И. Галактионова [32], М.И. Еникеева [39], М.А. Котика [50], M.R. Endsley [114]; основах визуального восприятия человека, когнитивной науки и психологии познания – Б.М. Величковского [27], В.Ф. Венда [28], С.В. Кравкова [51], В.И. Комашинского, М.С.

Кухты [61], И.Г. Малыгина [69], С. А. Семенова [88]; колористике, цветоведения, фотометрии и цветовых моделей – Р. Арнхейма (R. Arnheim) [19], С. Н. Беляевой-Экземплярской [24], А. В. Ефимова [40, 41], В.А. Зернова [44], И. Иттена (J Itten) [45], М.В. Матюшина [70], М. Фершильда (M. Fershild) [96], и др.; информационного обеспечения человека-оператора, теории УВД и АС УВД, а также средств поддержки принятия решений в работах: И.Н. Глухих [33], А.И. Задорожного [42], С.В. Кругликова [52], Г.А. Крыжановского [53, 56], А.П. Плясовских [75, 76], А.В. Тиханычева [94], Ю.Г. Шатракова [14], И.Н. Шестакова [98], H. Brian [103], P. Brooker [104], T. J. Callantine [105], M.R. Endsley [114], E. Gabasova [120], A Neal [137], R. Parasuraman [143], R. Remington [145], T. Yuditsky [102] и др.

Конкретные проблемы использования цветографических решений в ИО исследовались в работах А. И. Галактионова [32], М. А. Котика [50], М. С, Кухта [61], ВВ Цаплина [97], в том числе ИО диспетчера УВД в штатных и нештатных ситуациях в современной АС УВД – T. Yuditsky [102] , H. Brian [103], C. S.Narborough-Hall 136, L. Reynolds и C. Metcalfe [146], наряду с исследованиями и рекомендациями ICAO [8, 9], EUROCONTROL [108, 116-119, 135, 141, 149], FAA [138], институтов СНГ, США, ЕС [57, 75, 76, 80, 105-111, 114, 121, 125] и др. компаний [124, 146, 150], при изучении которых можно сделать вывод о том, что использование цветовых (полихромных) сочетаний для создания пространственно-объемных форм в ИО диспетчера УВД, как это происходит, например, в архитектурной колористике [15, 40, 41], не осуществлялось, за исключением цветовой аварийной сигнализации и классификации предупреждений.

**Объектом** исследования диссертации является информационное обеспечение диспетчера УВД.

**Предмет исследования** – метод оценки динамической воздушной обстановки на конфликтность на основе полихромного отображения объектов в информационном обеспечении диспетчера УВД.

Развитие возможностей вычислительной техники и информационных

технологий позволяет предоставлять диспетчеру УВД большее количество различной информации, однако, увеличивающееся количество дополнительной информации может привести к информационной перегрузке. Однако и открывает новые возможности взаимодействия диспетчера УВД с человеко-машинным интерфейсом (ЧМИ) информационной среды средств наблюдения за ДВО в АС УВД.

Этот прогресс проявляется в создании таких технологий и методик когнитивной машинной графики [73], которые направленны и на проекцию в сознание образа предметного содержания данных наиболее близкого психофизиологии человека или, не боясь этого слова, интуитивным механизмам переработки информации и на повышение ее содержательности (семантической емкости данных) - суть ноон-технологии.

***Цель работы.*** Повышение эффективности оценки динамической воздушной обстановки на конфликтность путем сокращения времени обнаружения потенциальных конфликтных ситуаций и улучшения их выявляемости за счет полихромного представления объектов в информационном обеспечении диспетчера УВД.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

1. Анализ визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД, а также способов представления цветографической информации в интерфейсе АС УВД для определения проблем при восприятии ДВО диспетчером УВД и её оценке на конфликтность;

2. Разработка модели информационного обеспечения – ИО – диспетчера УВД с учетом профессионально-мотивационной составляющей деятельности для применения в проектировании имитационных моделей и оценке результатов экспериментов.

3. Разработка в модели ИО диспетчера УВД функционального блока, отражающего условия дефицита времени и различную сложность ДВО, а также аналитической модели процесса формирования информационного образа ДВО при

полихромии объектов управления в средствах ИО диспетчера УВД для обоснования преимущества цветографических решений;

4. Разработка метода полутоновой полихромной визуализации элементов ДВО в ИО диспетчера УВД, улучшающего его ситуационную осведомленность:

- для снижения времени оценки ДВО на наличие потенциально-конфликтных ситуаций (ПКС) и конфликтных ситуаций (КС) при минимальном количестве ошибок;

- для снижения времени восприятия состава ВС в эшелон-уровнях;

- для повышения выявляемости ПКС и КС, а также устранения «слепых зон» при анализе ДВО;

- для поддержки принятия решений при дефиците времени и повышенной сложности УВД.

5. Разработка метода оценки ДВО на конфликтность посредством полихромного отображения объектов в ИО диспетчера УВД;

6. Оценка результатов деятельности различных групп испытуемых в полунатурных моделях ДВО при использовании временных показателей эффективности ЛПР, а также безошибочности работы с цветографическими решениями визуализации в ЧМИ.

**Методология исследования** базируется на комплексном подходе к анализу системы УВД при решении поставленных задач с использованием фундаментальных исследований моделирования ППР при УВД в рамках функциональных систем человека, исследований отечественных и зарубежных специалистов в области разработки ИО в АС УВД, а также установленных стандартов человеко-ориентированного проектирования интерактивных систем и ИО техники и операторской деятельности (ИОТОД), эргономики пользовательских интерфейсов и инженерной психологии, колористики, цветоведения и информационного дизайна.

Информационную и статистическую базу исследования составляют: отраслевая нормативно-справочная информация и нормативно-правовые

документы по технологиям работы на АРМ диспетчеров УВД; руководства пользователей и мануалы по ИО в системах УВД, в том числе ODID-IV, REFGHMI, CORA; государственные и международные стандарты по проектированию человеко-машинных систем и ИОТОД; диссертационные исследования в области архитектурной колористики, психологии, ОрВД и УВД; отчеты, протоколы, докладные записки работы экспертных групп, семинаров, конференций по вопросам модернизации систем УВД на предприятиях отрасли и др.

**Научной новизной** обладает метод полутоновой полихромной визуализации элементов ДВО, который позволяет повысить ситуационную осведомленность диспетчера УВД посредством сокращения времени восприятия объектов управления в ИО АС УВД за счет повышения содержательности информации при проекции полихромных динамических данных информационного пространства отображения ДВО в пространство цвето-хроматической когнитивной перспективы человека.

Научной новизной также обладает подход к конструированию имитационных моделей ДВО, отличающийся использованием разработанных функциональных блоков сложности УВД/ДВО и дефицита времени при ППР, как дополнения к существующей модели ИО диспетчера УВД.

**Теоретическая значимость** заключается в том, что применение полихромной визуализации объектов управления в средствах ИО диспетчера УВД с основными принципами разработки цветографических решений идеального и реального ИО диспетчера УВД позволяет иметь надежный инструментарий для совершенствования визуально-когнитивной составляющей УВД и проектирования прорывных технологий человеко-машинного взаимодействия, а также возможного повышения пропускной способности системы УВД.

**Практическая значимость** заключается в следующем:

1. Формализация функциональных процессов визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД даёт возможность разработать подход к оценке эффективности применения конкретных цветографических

решений визуализации в ИО АС УВД с учетом личностного фактора и остаточной энтропии.

2. Предлагаемые модели ИО диспетчера УВД с функциональными блоками, связывающими параметры сложности УВД/ДВО и дефицита времени при УВД с личностным фактором, являются необходимыми при проектировании цветографических решений ИО и при использования разработанных в натурных и полунатурных моделях ИО при проведении исследований их эффективности.

3. Применение разработанного метода полутоновой полихромной визуализации элементов ДВО в современных графических интерфейсах ИО АС УВД позволяют устранить:

- неизбежное нагромождение информационных элементов при высокой плотности ВД, требующие их упорядочения;
- существование «слепых зон», пробелов восприятия и не выявление ПКС и КС при анализе ДВО и согласованиях действий по УВД со смежными ДП в виду особенностей графического представления секторизации, алгоритмов распределения потока ВС, деятельности сопутствующих ведомств и др.;
- избыточную сигнализацию о конфликтующих ВС в окне потенциальных конфликтов;
- наложение нескольких графических инструментов АС УВД при их одновременном использовании;
- нарушения цветовых контрастов, влекущие пробелы в восприятии ДВО (включая сигнализацию STCA и SSA), при активизации зон ограничений, делающих практически невозможным корректный анализ ДВО.

4. Прикладное значение визуализации ДВО заключается в том, что при её использовании повышается ситуационная осведомленность и сокращается время восприятия объектов управления, в частности, диспетчера УВД, а в целом – «человека-оператора» СЧИМ в смежных областях УВД – системе ОВД и ОрВД.

5. Возможность применения полихромии и связанного с ней явления хроматической стереоскопии к отображению динамических элементов ИО других

подсистем ОрВД: планирования и организации потоков, предполетного брифинга, метеорологической службы, службы аэронавигационной информации, службы радио-технического обеспечения полетов, службы поиска и спасания и др., – для повышения эффективности работы авиационных специалистов, снижения неопределенности обрабатываемых данных и уменьшения времени на анализ элементов соответствующего ИО.

**На защиту выносятся следующие положения**:

1. Алгоритм конструирования ситуаций УВД с заданным уровнем сложности на основе разработанных дополнений к существующей модели информационного обеспечения диспетчера УВД в виде функциональных блоков сложности УВД и факторов дефицита, который позволяет разрабатывать цветографические решения в интерфейсе АС УВД для оценки динамической воздушной обстановки – ДВО – на конфликтность;

2. Метод полутоновой полихромной визуализации ДВО для повышения ситуационной осведомленности диспетчера УВД при оценке конфликтности воздушного движения высокой плотности и его применение к представлению радиолокационных меток ВС и их формуляров в средствах информационного обеспечения диспетчера района УВД, отличающийся созданием объемно-пространственных цветовых плоскостей ДВО;

3. Метод оценки ДВО на конфликтность посредством полихромного отображения объектов в информационном обеспечении диспетчера УВД, позволяющий сократить время восприятия элементов ДВО при анализе состава эшелон-уровней вдвое и при оценке ДВО на конфликтность в среднем на 25,8%.

**Апробация работы**. Основные результаты и идеи диссертационного исследования докладывались на Белорусском промышленном форуме в 2018 г., а также 5 научных конференциях, в т.ч.: IV международной научно-практической конференции курсантов, студентов и слушателей (Минск, 2007 г.), II международной молодежной научная конференции «Гражданская авиация: XXI век» (Ульяновск 2010 г.), II научно-практической конференции студентов и

курсантов Минского государственного высшего авиационного колледжа (Минск, 2010 г.), III международной заочной научно-практической конференции «Авиация: история, современность, перспективы развития» (Минск, 2018 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Технологии построения когнитивных транспортных систем» (СПБ, 2018).

Степень достоверности результатов исследования подкреплена:

- проведением экспериментальных исследований среди действующих диспетчеров УВД Минского центра УВД, студентов последнего курса по соответствующей специальности Белорусской государственной академии авиации согласно методикам проведения экспериментов и представления результатов, основанных на теории и практике инженерно-психологического проектирования и экспертизы, разработанных в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники под руководством специалистов Объединенного института проблем информатики НАН Республики Беларусь [99] с учетом дополнений, требовавшихся в рамках тематики диссертации;
- полученными практическими рекомендациями, принятыми при внедрении разработанной системы оперативной оценки ДВО «Скроллинг» в белорусских компаниях-разработчиках ПО для АС УВД ОАО «АГАТ-системы управления» и ООО «ATMsystems», по реализуемости соответствующих цветографических решений и формированию производственных процессов, применяя разработанный метод, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

**Публикации.** По результатам исследования опубликовано 12 печатных работ, в том числе: 7 публикаций в рецензируемых научных изданиях, 5 в рекомендованных ВАК РФ и 2 – в ВАК РБ; 5 публикаций в других изданиях.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, выводов по главам, заключения, списка литературы и 4-х приложений. Диссертация содержит 183 страниц, иллюстрированных 6 таблицами, работа содержит 44 рисунква. Список литературы насчитывает 151 наименование, из которых 50 на иностранном языке.

# 1. ВИЗУАЛЬНО-КОГНИТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ОЦЕНКЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ

## 1.1. Развитие средств информационного обеспечения диспетчера УВД

Необходимость разработки средств и методов оптимизации процессов системы ОрВД вызвана ростом интенсивности мирового воздушного движения (Рисунок – 1.1) и нарастанием дефицита пропускной способности [9].

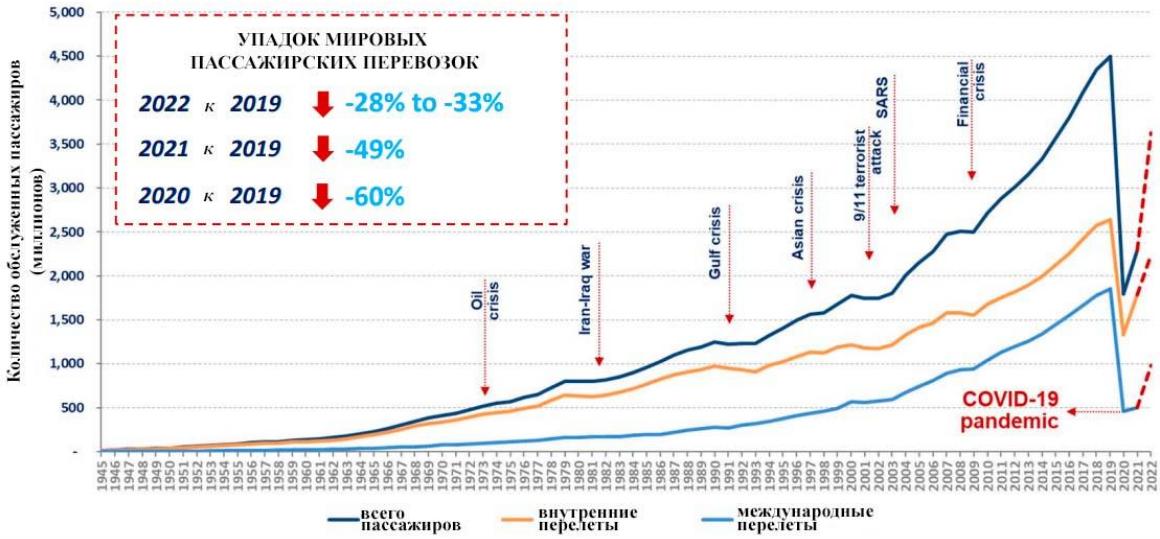



Рисунок 1.1 – Динамика мирового пассажиропотока, 1945-2022 гг. [112]

Преодолевая спады, в частности тяжелейший в истории пассажирских авиаперевозок, вызванный неблагоприятной эпидемиологической обстановкой 2020-2022 гг., авиационное сообщество оптимистично смотрит в будущее, с присущей ему рациональностью и последовательным целеполаганием. Об этом свидетельствует приверженность перспективному развитию авиационной отрасли, которая находит отражение в различного уровня программах модернизации гражданской авиации, аэронавигационных планах и инициативах, консолидированных с Глобальной эксплуатационной концепцией ОрВД (далее - Концепция) [8, 12, 138, 149].

Так, Глобальный аэронавигационный план (ГАНП), опираясь на положения

Концепции, определил эволюцию системы ОрВД во всем мире [9]. Определяющими компонентами перспективного развития являются:

-структуризация и организация воздушного пространства;

-операции на аэродроме;

-согласование спроса и пропускной способности и синхронизация движения;

-**управление конфликтными ситуациями**;

-операции пользователей воздушного пространства и управление предоставлением услуг ОрВД.

В ранних версиях ГАНП обозначились инициативы такие, как GPI-16: «Системы обеспечения принятия решений и оповещения», в которой ставилась задача внедрения средств обеспечения принятия решений в целях оказания помощи диспетчерам УВД по обнаружению и разрешению конфликтных ситуаций при воздушном движении. Тогда как уже в 6-ом издании (2019 год) ГАНП окончательно сформулирована концепция ASBU – блочной модернизации авиационной системы – с расширенным элементным списком, в который вошли следующие относящиеся к теме диссертации позиции:

- FRTO-B0/4: «Basic conflict detection and conformance monitoring/Базовое обнаружение конфликтов и контроль соответствия».

Основные средства обнаружения конфликтов - среднесрочный инструмент обнаружения конфликтов - MTCD и вспомогательных средств мониторинга - MONA.

- FRTO-B1/5: «Enhanced Conflict Detection Tools and Conformance Monitoring/ Расширенные средства обнаружения конфликтов и контроль соответствия».

- SNET-B0/1: «Short Term Conflict Alert (STCA)/Предупреждение о краткосрочном конфликте».

- SNET-B1/1: «Enhanced STCA with aircraft parameters/Расширенная STCA с параметрами воздушного судна»

- SNET-B1/2: «Enhanced STCA in complex TMAs/Усовершенствованная STCA в сложных ТМА».

Системный взгляд на планирование развития системы ОрВД объединяет и стратегическую, и тактическую эволюцию ее элементов, взаимосвязанных широким спектром функций, параметров и требований безопасности, эффективности и экономичности.

При разработке технических устройств, предназначенных для взаимодействия с диспетчером УВД, всегда учитывались эргономика, психология человека в труде, а также присутствовал новаторский дух.

С конца 1960-х гг. научные учреждения ГА и радиопромышленности разрабатывают автоматизированных систем с использованием РЛС, обеспечивающих контроль полетов, возможность передачи обработанной информации по различным каналам связи, автоматическое сопровождение радиолокационных меток ВС, сбор и ввод в ЭВМ информации об элементах полета, отображение метеоинформации и т.д. [72]. Среди которых наиболее известны АС УВД «Стрела» (1974), АС УВД «Старт» (1975), АС УВД «Спектр» (1986) и др.

Большой вклад в проектирование, разработку и ввод в эксплуатацию первой отечественной районной АС УВД внесли: Т. Г. Анодина, В. Н. Азаров., Ю. В. Асафьев, Ю. А. Толпышкин, Г. Э. Трибулович, Г. А. Ларионов и др. [13].

Отдельно стоит отметить труд лауреата Государственной премии СССР, главного конструктора систем УВД Анищенко П.М., который с 1956 по 2014 гг. осуществлял научно-техническое и организационное руководство разработкой и внедрением отечественных АС УВД. В 90-х годах под руководством Анищенко П.М. создан унифицированный ряд автоматизированных систем и средств УВД «СИНТЕЗ» наивысшего уровня автоматизации, удовлетворяющего рекомендациям ИКАО и Eurocontrol.

Перечень российских разработок комплексов автоматизации наблюдения за воздушной обстановкой 90-х годов может быт дополнен «Коринф» (Радар ГА, Москва), «Строка-Ц» (РИМР, СПб), «Карм-ДРУ» (СПАС, Москва), «Топаз-2000» (ЛЭМЗ, Москва), «Норд» и «Альфа» (НИТА, СПб.).

С тех пор и по настоящее время продолжается активная отечественная

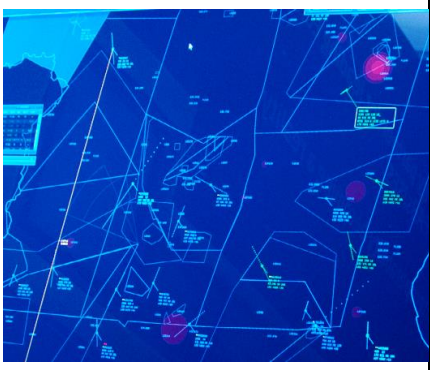
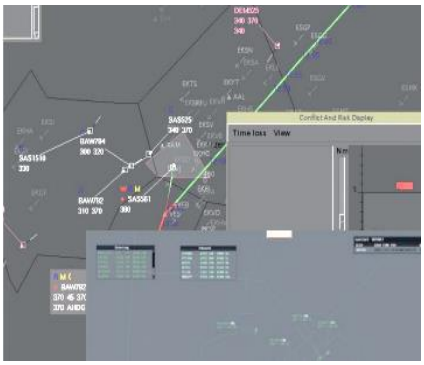
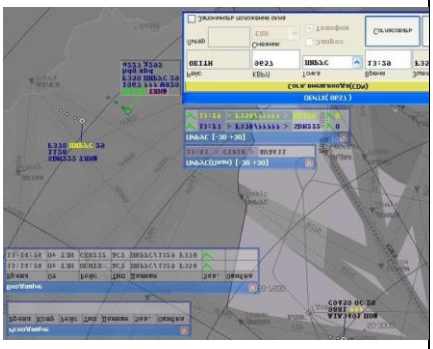
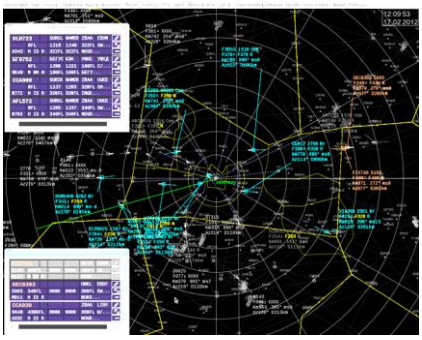
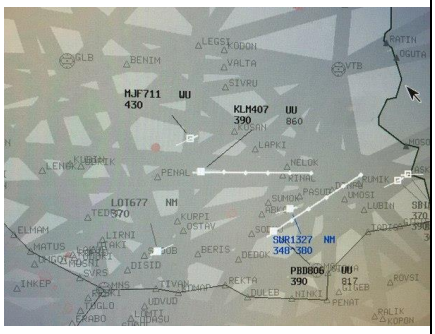
инновационно-инженерная деятельность, о чем свидетельствуют изобретения по тематике УВД. Среди которых в теме исследования находит отклик изобретение авторов Крыжановского Г.А., Плясовских А.П. (Патент РФ №2134910). Здесь авторы используют разделение всех ВС, находящиеся в зоне управления диспетчера, на три группы по вероятности требуемого управления с соответствующим цветовым отображением по принадлежности.

Высокий уровень современной разработки отечественных и российский АС УВД представляется рядом компаний на рынке оборудования для аэронавигационных систем, например, ООО «Фирма «НИТА», ЗАО «ВНИИРА-ОВД», ОАО «НИИСА» ЗАО «Пеленг», ОАО «АГАТ – системы управления» и др.

Стоит отметить также выдающий и глубокий зарубежный опыт по исследованию человеко-машинного взаимодействия и проектирования АС УВД, в частности европейскую организацию по безопасности воздушной навигации - EUROCONTROL, разработавшую, с 1993 по 2002, можно сказать, классические требования к элементам пользовательского интерфейса при УВД – ODID-IV [141], REFGHMI [108, 116, 118], CORA [107, 119]. В параграфе 15.4 - Colour ODID-IV представлены выводы о том, что использование цвета способствует исполнению диспетчерских задач, а также отмечается, что есть необходимость в разработке руководства по применению цветовых, числовых и комбинированных отображений. Не следует оставлять без внимания передовой опыт таких компаний как Altys Technologies, ARTISYS, DFS Deutsche Flugsicherung, Indra, NATS, Si ATM, SkySoft-ATM, Top-sky и др.

Существенный вклад в мировую исследовательскую практику цветографических компонентов интерфейса АС УВД и визуально-когнитивной составляющей УВД принадлежит деятельности научных институтов Соединенных Штатов Америки [102, 115, 145], в том числе, в рамках программ Федерального управления гражданской авиации, среди которых видное место в настоящее время занимает NextGen [138].

Таблица 1.1 – Современные ЧМИ в АС УВД [информация из официальных сайтов соответствующих компаний]

| | | |
|---|---|---|
| iSkysoft, Switzerland<br>  | Indra, Spain<br> | THALES Group, France<br>  |
| ANSART, Netherlands, РБ<br> | NATS, UK<br> | ERAM, USA<br> |
| Нита, РФ<br>  | Азимут, РФ<br>  | ВНИИРА, РФ<br>  |

Развитие визуализации данных в ИО АС УВД является важным и актуальным комплексом развития системы ОрВД в части повышения ситуационной

осведомленности диспетчера УВД при управлении конфликтными ситуациями и создании образа опасности ДВО в периоды высокой информационной нагрузки. Реализация этого комплекса возможна благодаря располагаемым инструментам: человеко-машинному интерфейсу (ЧМИ) АС УВД и принципам взаимодействия диспетчера УВД с ЧМИ в рамках ноон-технологии – технологии создания информации в виде, соответствующем психофизиологии человека, для реализации оптимизированных информационно-обменных процессов в системе «человек-информация» при создании, хранении, передаче, применении сообщений [3].

В настоящее время этапу совершенствования когнитивных составляющих процесса УВД в АС УВД уделяется достаточно внимания как их разработчиками, так и специалистами авиационных предприятий, что связано с актуальностью вопросов оперативного анализа большого объема динамически изменяющихся параметров системы УВД в рамках ППР по обеспечению безопасности полетов [32, 34, 57, 60, 66, 75, 76, 80, 97, 98, 105-109, 116-119, 121, 124, 125, 135, 141, 146, 150].

Синтез когнитивной психологии, гносеологии и информационных технологий открывает новые возможности, в частности и взаимодействия диспетчера УВД с интерфейсом информационной среды средств наблюдения за ДВО [73]. Этот прогресс проявляется в создании таких технологий и методик когнитивной машинной графики [97], которые направленны и на проекцию в сознание образа предметного содержания данных наиболее близкого к интуитивным механизмам переработки информации, и на повышение семантической емкости данных – суть ноон-технологии.

## 1.2. Проблемы оценки динамической воздушной обстановки на конфликтность в средствах информационного обеспечения диспетчера УВД

Оценка ДВО на конфликтность заключается в поиске, обнаружении и классификации по степени опасности потенциально конфликтных ситуаций (ПКС)

диспетчером УВД. ПКС между двумя ВС называется ситуация, при которой без изменения режима полета произойдет опасное сближение ВС. Под опасным сближением понимается не предусмотренное заданием на полет сближение воздушных судов между собой или с другими материальными объектами на интервалы менее половины установленных в результате которого возник риск столкновения[2].

ПКС возникают при нарушении норм вертикального, продольного и бокового эшелонирования, которые устанавливаются правилами аэронавигационного обслуживания [11], а также государствами правилами использования воздушного пространства.

Анализ правил показал, что нормы вертикального эшелонирования зависят от высоты и скорости полета ВС, используемых ВС правил полета, полетов с сокращенным интервалом вертикального эшелонирования, зоны ответственности, в которой находятся ВС, использования АС УВД и др.

Нормы продольного эшелонирования устанавливаются при полетах ВС по правилам полетов по приборам, и задаются расстоянием между ВС в километрах или минутах. Нормы продольного эшелонирования зависят от:

- высоты полета (ВС находятся на одной высоте; один или оба ВС выполняют переход на новый эшелон полета);
- направления движения воздушных судов – попутное, встречное или движение по пересекающимся курсам;
- зоны ответственности, в которой находятся воздушные суда;
- использования автоматизированных систем управления воздушным движением, или комплекса средств автоматизации, или радиовещательного автоматического зависимого наблюдения.

Нормы бокового эшелонирования применяются при осуществлении маневров конфликтующих ВС [94].

---

[2] Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации»: утв. приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 25 ноября 2011 г. № 293

Таким образом, поиск ПКС осложняется большим разнообразием возможных вариантов движения ВС относительно друг друга (Рисунок – 1.2).

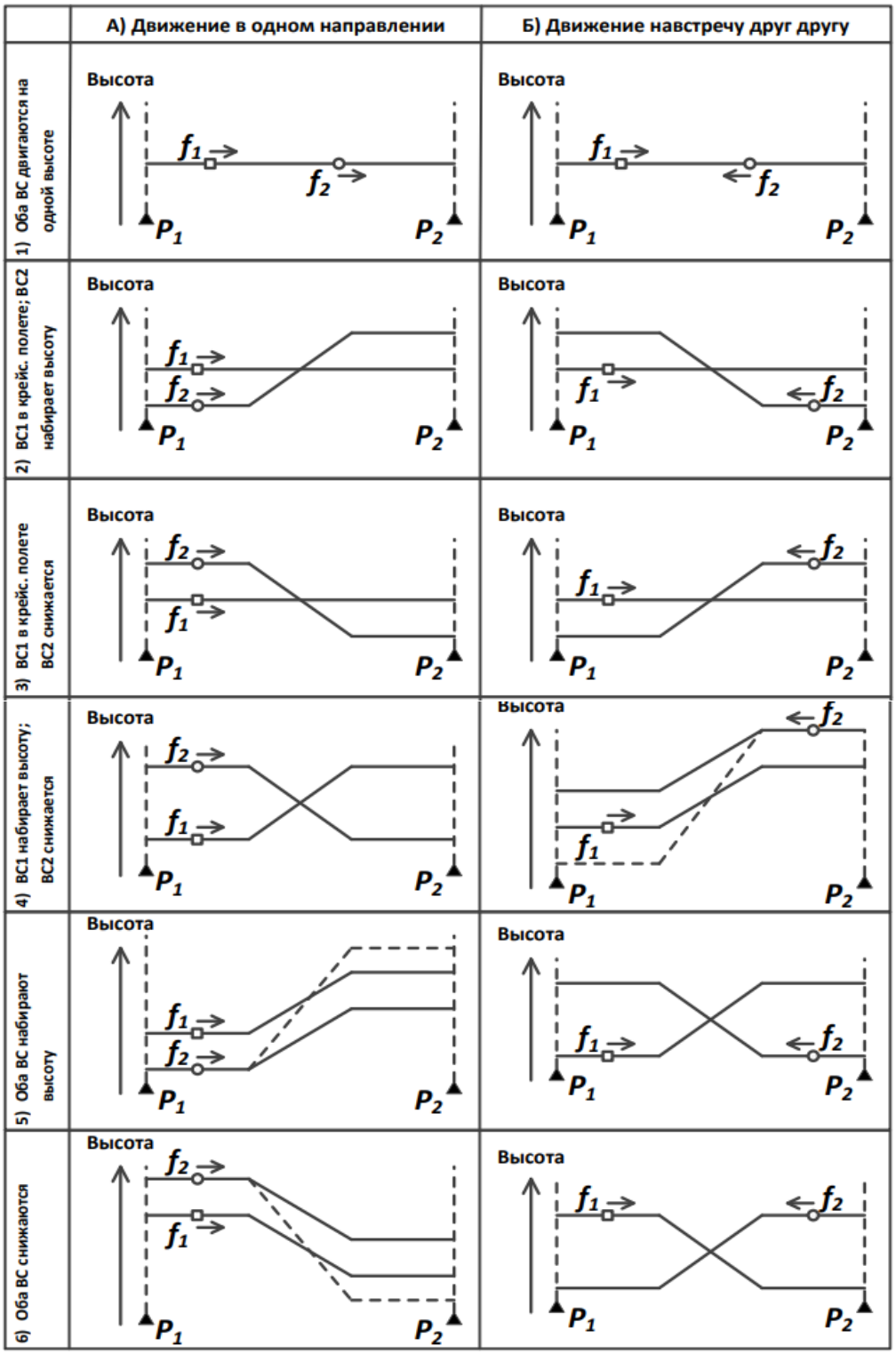



Рисунок 1.2 – Варианты движения воздушных судов f1 и f2 на участке P1 - P2 [94]

Таким образом, показанные на Рисунке – 1.2 варианты взаимного движения ВС на основных участках маршрута сводятся к трем вариантам взаимного движения ВС [94]:

1) ВС двигаются на одной высоте полета (эшелоне) и их траектории пересекаются при движении навстречу друг другу или при обгоне одним ВС другого;

2) траектории ВС пересекаются при изменении высоты полета хотя бы одним из ВС;

3) одно или оба ВС меняют высоту полета, но их траектории не пересекаются.

Данные три варианта получены исходя из того, что воздушное судно сохраняет определенный режим вертикального движения: двигается в горизонте, выполняет набор высоты или снижается.

Для каждого из трех вариантов диспетчер УВД реализует определенную логику проверки наличия ПКС и расчета ее параметров (прогнозное время, положение и высота полета ВС).

Общую модель наличия ПКС можно записать в виде неравенств (1.1):

$$\begin{cases} d_{ij}(\mathrm{t}) \geq \Delta d_{\mathrm{BC}} \\ h_{ij}(\mathrm{t}) \geq \Delta h_{\mathrm{BC}} \end{cases}, \tag{1.1}$$

$d_{ij}$, $h_{ij}$ – фактическое расстояние между $\mathrm{BC}_i$ и $\mathrm{BC}_j$ по горизонтали и вертикали, соответственно;

$\Delta d_{\mathrm{BC}}$, $\Delta h_{\mathrm{BC}}$ – установленные интервалы горизонтального и вертикального эшелонирования.

Оперативный анализ большого объема динамически изменяющихся параметров диспетчером УВД сохраняет свою актуальность. Поэтому вопросы о целесообразности его участия преждевременны, основная проблема заключена в его роли, как ЛПР и, соответственно, рационального процесса принятия решения. Что едва ли представляется возможным без развития визуально-когнитивной составляющей его деятельности – основы получения и обработки данных об объекте управления.

Несмотря на простоту, рациональность и результативность уже внедренных цветографических элементов ДВО, в ходе длительных наблюдений и на основании практики ОВД в АС УВД, а также профессионально-целевых опросов диспетчеров УВД стран СНГ, ЕС и Великобритании, сопоставив их с исследованиями ICAO, EUROCONTROL, NATS [108, 116-119, 135, 141, 145 149], FAA [138], институтов СНГ, США, ЕС [57, 75, 76, 80, 105-111, 114, 121, 125] и др. компаний [124, 146, 150], был выявлен ряд недостатков визуально-когнитивных компонентов взаимодействия диспетчера УВД с информационной средой интерфейса средств наблюдения за ДВО в АС УВД, требующих дальнейшего поиска способов их устранения.

Выявленные **недостатки оценки ДВО на конфликтность диспетчером УВД** при использовании существующего цветографиеского отображения объектов в ИО заключаются в следующем:

**1)** Не выявление конфликтных ситуаций движения ВС в связи:

- с наложением формуляров сопровождения радиолокационных меток ВС (далее – формуляров) в часы высокой интенсивности воздушного движения;
- с пересечением цветографической реализации одних элементов интерфейса АС УВД с другими (например, при изменении высоты полета воздушного судна, затрагивающего интересы смежных секторов или функционирующих на соседних высотах);
- нерациональным использованием возможностей визуальной информационной среды в современных условиях компьютеризации автоматизированных процессов и визуально-когнитивных методов овладения ситуационной осведомленностью (включая условия освещенности помещения, наличие бликов, некорректная цветопередача и пр.).

**2)** Некорректное восприятие цветогорафических объектов диспетчером УВД и последующее снижение его быстродействия:

- при необходимости постоянного перемещения формуляров сопровождения ВС в интерфейсе АС УВД для организации их «читаемого» визуального

расположения при наложении цифр, букв, сигнализаций (автоматический разброс формуляров значительно усугубляет формирование ситуационной осведомленности при высокой плотности воздушного движения);

- при нагромождении визуальной информации о деятельности государственных и др. ведомств, осуществляющих использование воздушного пространства, влечет нарушение качества восприятия ДВО;
- при необходимости изменения высоты полета более, чем на один эшелон из-за отсутствия перспективы цветового пространства (трехмерности) в функции выделения ВС одним цветом (желтым);
- нарушения раздельного восприятия объектов при определении продольных интервалов с использованием одновременно нескольких векторов экстраполяции в потенциальном конфликте ВС попутного направления.

**3)** Пропуск сигнализации, предупреждений и уведомлений АС УВД о тенденции к нарушению безопасности полетов из-за:

- дефицита времени на выполнение пультовых и технологических операций в процессе УВД высокой интенсивности;
- избыточности однотипных сигнализаций для различных функций АС УВД;
- отсутствия хроматической стереоскопии в средствах поддержки принятия решений по устранению КС и др.

**4)** Избегание (либо же невозможность) использования окна среднесрочных потенциальных конфликтов в условиях высокой загруженности в связи с дефицитом времени на функциональные операции (особенно, при наличии большого количества отметок о ПКС), а также в связи с энергоемкой операцией поиска конфликтующих воздушных судов в условиях, описанных первым замечанием.

Выше представленный перечень замечаний не является исчерпывающим, но подчеркивает актуальность темы диссертационной работы.

Основная трудность разработки средств оптимального взаимодействия человека-оператора (кем является диспетчер УВД в СЧИМ) с ИО представляет

создание ЧМИ, адаптированного под когнитивные составляющие и творческий потенциал человека в процессе принятия решений.

Это в свою очередь поднимает также и вопросы моделирования и оптимизации самого ППР при УВД, при которых требуется:

- учет факторов неопределенности в задании математических моделей процессов, управление которыми входит в задачу ЛПР;
- учет различных показателей эффективности у различных ЛПР или наличие у них различных предпочтений;
- анализ деятельности ЛПР с учетом его личностного фактора, при котором целесообразна совместная экспликация личностного фактора и информационного обеспечения в АС УВД [33, 54, 56].

В этой связи актуальными являются:

- разработка путей повышения эффективности проектирования;
- разработка реального ИО, при использовании методологических основ человеко-ориентированного проектирования, ноон-технологии, модели «идеального» информационного обеспечения;
- применение положений теории функциональных систем как на этапе оценки результатов деятельности в проектируемых решениях ЧМИ, так и выработки-проверки гипотез.

Использование принципов информационного дизайна и инфографики с применением полихромии объектов во многих отраслях способствует повышению эффективности взаимодействия человека-оператора СЧИМ (пользователя) с информационной средой информационных систем разного назначения. Например:

- географические, физические карты, картографические проекции, обобщённые изображение поверхности, рельефа или другого пространства, показывают расположенные на объекты или явления в определённой системе условных знаков;
- автомобильные интерфейсы парковочных систем или парктроников, устанавливаемых на автомобилях, облегчают маневрирования при парковке и

предупреждают водителя о приближении к препятствию;

- интерфейсы для разработки программного обеспечения используют цветовое представление архитектурной конструкции кода в рамках часто возникающего контекста;

- аппаратные интерфейсы промышленных установок и систем, контроллеры, пульты и манипуляторы отображают процессы и их состояния, объекты и подсистемы;

- интерфейсы для работы в финансовой сфере с динамическими параметрами операций, к примеру, на бирже - брокерские инструменты на торгах, системы визуализации фактического состояния рынков и тренды;

- цветографические интерфейсы программных средств обработки видео, цветокоррекции, монтажа, рендеринга;

- интерфейсы 3D-моделирования и др.

Визуализация и отображение объектов ИО при помощи полихромии обеспечивает поддержку формирования иерархии восприятия по различным аспектам: актуальности, свойств и характера явлений, их применимости и другим, – и как следствие фокусирования внимания и мотивации специалиста (пользователя) на объекте управления с наиболее благоприятным исходом [73, 97].

Отметим ряд полихромных функций (Рисунок – 1.3) и элементов в ЧМИ, реализованных в АС УВД, и эффективно применяемых при решении задач УВД, например [85]:

- цветового выделения ВС одного эшелона полёта (в частности, АРАС УВД «Синтез-АР2» (Рисунок – 1.3, слева), при этом замена числовой дифференциации высот на цветовую формирует восприятие ВС селективными группами;

- функцию цветового разделения ВС по принадлежности к зоне ответственности (Рисунок – 1.3, справа);

- сигнализации конфликтующих ВС (STCA, SSA);

- индикации предупреждений об отклонениях от заданной траектории полета (LAT DEV, FL DEV);

- приближению к препятствию, ограничениям и проч.

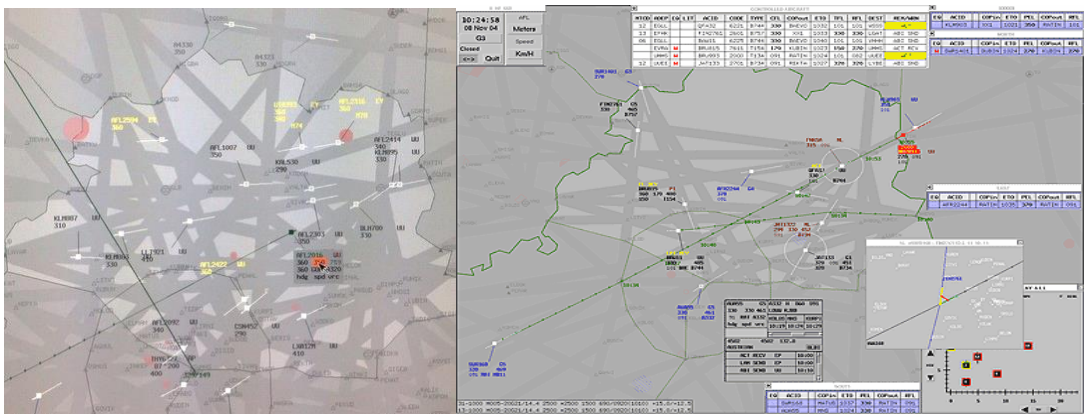


Рисунок 1.3 – Полихромные элементы ЧМИ в АС УВД [85]

Развитие возможностей вычислительной техники и информационных технологий позволяет предоставлять диспетчеру УВД большее количество различной информации о текущем $I_т$ и прогнозируемом $I_{пр}$ состоянии ДВО - $S(t)$.

Однако, экстенсивный способ развития ИО диспетчера УВД содержит противоречие: для повышения эффективности деятельности диспетчера УВД потребуется предоставлять ему больше информации, но, в тоже время, увеличение количества дополнительной информации может привести к информационной перегрузке [75]», т.е. событию (1.2).

**Информационная перегрузка при УВД:**

$$I_т(S(t), \zeta_\Lambda(t)) \cup I_{пр}(S(t), \zeta_\Lambda(t), U_{S_t}^{(k)}) > И^{доп}(\Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t), \quad (1.2)$$

$S(t)$ – динамическая воздушная обстановка – ДВО;

$\zeta_\Lambda(t)$ – совокупность различных видов информации о ДВО (графической, цветовой, звуковой и проч.);

$I_т(S(t), \zeta_\Lambda(t))$ – информация о текущем $S(t)$;

$I_{пр}(S(t), \zeta_\Lambda(t), U_{S_t}^{(k)})$ – информация прогнозируемом $S(t)$;

$U_{S_t}^{(k)}$ – предполагаемое управленческое решение в $S(t)$ (или отсутствие решения);

$И^{доп}(\Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t)$ – предельно допустимая информационная нагрузка k-го ЛПР для состояния ДВО – $S_t$ – в момент времени t, с продолжительностью в

процессе УВД – $\Delta t$.

$\Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t)$ – состояние k-го ЛПР (включая психофизиологическое состояние, квалификацию, опыт работы и др.).

Таким образом, свойственные для человека естественные ограничения по восприятию и переработке информации – $И^{доп}\left(\Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t)\right)$ – делают неэффективным механическое наращивание объемов информации» [75]. Проблема также заключается еще и в том, что $И^{доп}$ определено не точно.

В диссертационной работе решается прикладная задача устранения выявленных факторов опасности при УВД – некорректной оценки ДВО на конфликтность диспетчером УВД в существующем ИО и информационной перегрузки. Способом решения данной задачи выступает полихромное отображения объектов управления в ИО диспетчера УВД с использованием ноон-технологии при разработке цветографических решений ДВО в интерфейсе АС УВД. Данный способ предполагает рациональное использование визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД в процессе обеспечения безопасности полетов. Для этого разрабатываются цветографические решения интерфейса ИО диспетчера УВД, которые позволяют снизить количество визуальной информации, повысить выявляемость объектов ДВО, управлять вниманием за счет свойств восприятия цвета и создавать объемно-пространственные формы зрительных объектов в ИО.

## 1.3. Влияние визуально-когнитивной составляющей психической деятельности диспетчера УВД на оценку динамической воздушной обстановки

При исследовании основной задачи УВД пользуются декомпозиция на отдельные взаимосвязанные задачи, которые определены субъектно-объектной связями простейшего контура УВД (Рисунок – 1.4.) [32, 47, 53, 56, 60, 89].

Характерная задача диспетчера УВД в простейшем контуре – воздействие на перемещение ВС посредством выдачи управленческих команд для обеспечения безопасности, экономичности и регулярности полетов, согласно установленным законодательством критериям [53, 67].

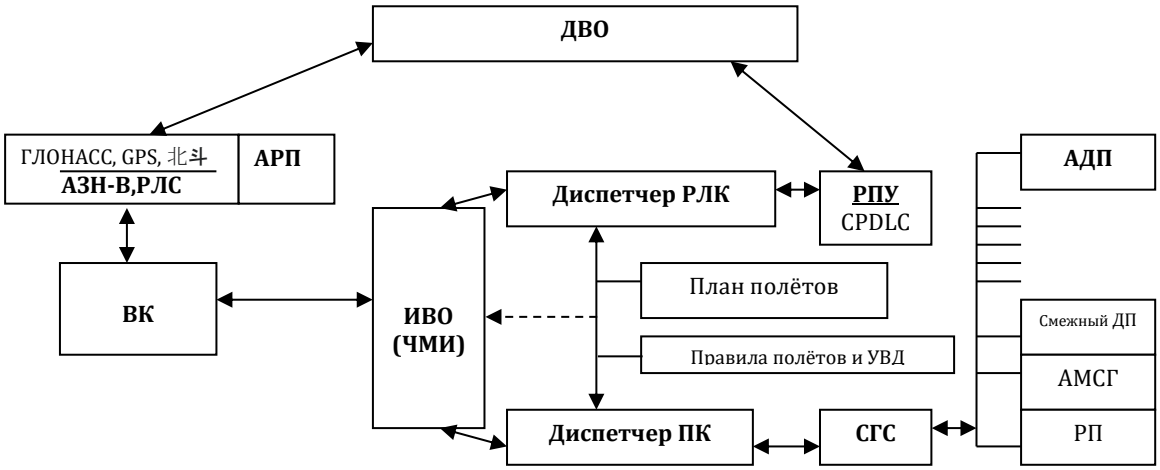



Рисунок 1.4 – Простейший контур УВД [53]

Выбор команды и управленческое решение формируются после оценки ДВО на конфликтность. Т.е., когда ДВО на основе воспринятого взаиморасположения ВС (состояния ДВО – $S_t$ ) и прогнозах их движения оказывается понятой диспетчером УВД и сопоставленной с целями УВД по обеспечению безопасности полетов.

Чувственное восприятие элементов и событий окружающей среды по отношению ко времени и пространству, понимание их значения и проекция их будущего развития составляют понятие ситуационной осведомленности [114] – Рисунок 1.5, которое логически предшествует оценке конфликтности движения.

Рисунок 1.5 – Трехуровневая модель ситуационной осведомленности [Endsley, M.R.]

Для понимания текущей ситуации диспетчеру УВД необходимо «построить» мысленно информацию об объектах управления – $I_{S_t}^{(k)}$ (1.3), отображаемых на индикаторе при помощи ЧМИ АС УВД (таблица 1.2), для этого:

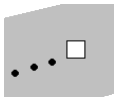
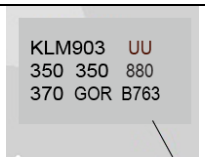
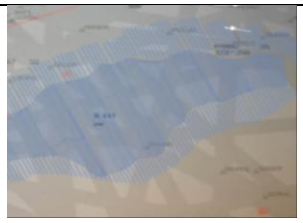
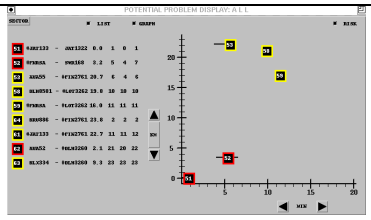
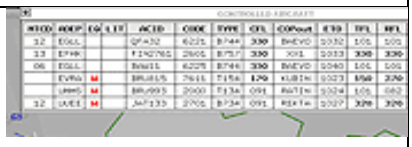
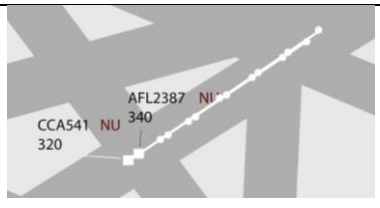
1. Анализируется информация – $I_{W(S_t)}^{(k)}$ всех формуляров сопровождения (ФС) радиолокационных меток ВС, которые представляют собой массив параметров $W_i$: позывной, типы ВС, x, y-координаты, текущие и заданные эшелоны полёта, курсы, горизонтальные и вертикальные скорости ВС, контрольные точки и т.д. (соответственно (1.3)):

   $$W_i =< BC_i, BC_T, x_i(t), y_i(t), h_i(t), h_i^*(t), \psi_i(t), V_i(t), V_i^*(t), EP \dots etc >, \quad (1.3)$$

   а также необходимая информация о движении ВС из других источников (бумажных, голосовых сообщений и проч.) – $I_{(S_t)+}^{(k)}$, для исследования ЧМИ принимаем $I_{(S_t)+}^{(k)} \in \emptyset$;
2. Производится построение положений отметок ВС в горизонтальной ($W_i^{гор}$) и вертикальной плоскости ($W_i^{верт}$) по данным из ФС в $S_t$ – $W_i(S_t)$:

   $$W_i(S_t) = W_i^{гор} + W_i^{верт}.$$
3. Анализируется информация об имеющихся ограничениях (информация о метеорологической обстановке, деятельности смежных служб и ведомств, применяемых мерах ОПВД и т.п.) – $I_{огр(S_t)}^{(k)}$.

Таблица 1.2 – Элементы ДВО в ЧМИ, как объекты управления в АС УВД [85].

| № | Объект управления | Условное отображение |
|---|---|---|
| 1. | Геометрические фигуры радиолокационных отметок ВС; |  |
| 2. | Формуляры сопровождения (ФС) с числовой информацией о параметрах движения ВС; |  |
| 3. | Линии маршрутов ОВД и схем движения, границы секторов, зон, районов ОВД, картографическая информация; | |
| 4. | Геометрические фигуры зон ограничений ИВП; | |
| 5. | Цветографические сигнализации о конфликтующих элементах ДВО; | |
| 6. | Фигуры свободной формы, отображающие метеорологическую обстановку; |  |
| 7. | Окно потенциальных конфликтов ВД и его цветографические фигуры, линии осей, подписи; |  |
| 8. | Окна плановой, метеорологической информации; |  |
| 9. | Линии экстраполяции и упреждения. |  |

Таким образом, информация об объектах управления в ИО диспетчера УВД, к которой добавиться проекция её развития, примет вид (1.4):

$$I_{S_t}^{(k)} = F\left[\sum_{i=1}^{N_{S_t}^{(k)}} I_{W_i(S_t)}^{(k)}, I_{огр(S_t)}^{(k)}, \Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t)\right] + I_{пр(S_t)}^{(k)}, \quad (1.4)$$

где $\sum_{i=1}^{N_{S_t}^{(k)}}$ – символическая сумма отображает количественный состав $S_t$;

$S_t$ – состояние ДВО;

$N_{S_t}^{(k)}$ – ВС, принадлежащие $S_t$ и воспринятые k-ым ЛПР;

$\Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t)$ – особенности функционирования (в т.ч. восприятия и внимания) $ЛПР_k$ в определенный момент времени $t$, при некоторой продолжительности его работы $\Delta t$;

$I_{пр(S_t)}^{(k)}$ – информация о проекции развития $S_t$.

Для успешного управления диспетчеру УВД следует непрерывно получать актуальные, адекватно и корректно отображенные в ЧМИ данные о реальном целевом объекте: текущем состоянии и пространственном положении ВС, а также внешних условиях, воздействующих на поток ВС [3-6, 28].

Поскольку непосредственное взаимодействие с целевым объектом, за исключением аэродромной зоны, практически невозможно, поэтому при выработке управляющего воздействия возникает необходимость интерпретировать данные от виртуального целевого объекта, представленного ИО диспетчера УВД в виде ЧМИ АС УВД (Рисунок – 1.6) [6, 7].

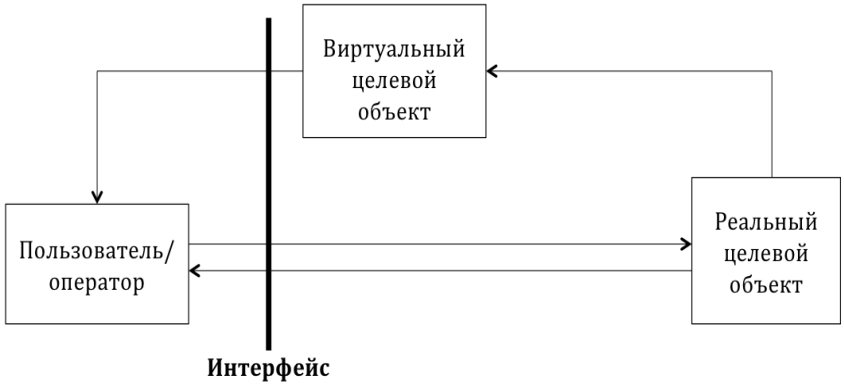



Рисунок 1.6 – Прямое взаимодействие с реальным целевым объектом с помощью информации от виртуального целевого объекта [на основе [3]]

Интерпретация данных и информации от виртуального целевого объекта реализуется диспетчером УВД при помощи визуально-когнитивной составляющей его психической деятельности.

Известны три разновидности психических процессов – когнитивные (познавательные), эмоциональные и волевые, которые образуют в своей совокупности психическую деятельность человека. Когнитивные процессы – ощущение, восприятие, мышление, воображение, память, речь – создают информационную базу психики, т.е. ориентировочную основу взаимодействия человека со средой [64, 92].

При УВД можно выделить ряд характерных психических процессов, сущность которых вытекает из анализа простейшего контура УВД:

- зрительное (визуальное) и слуховое восприятие ДВО;
- мышление и использование памяти при анализе и оценке ДВО;
- воображение при прогнозировании ситуаций ДВО;
- принятие решения, выработка рече-функциональных актов и интуиция;
- производство эмоций.

Для целей настоящей работы рассматривается визуальное восприятие цветовых образов (а также зрительное ощущение при работе с цветографическими решениями ДВО с использованием дисплеев) и их интерпретация диспетчером УВД [39, 50, 51].

Современные нейронауки в России теснейшим образом связаны с именами выдающихся ученых — И.М. Сеченова, И.П. Павлова, В.М. Бехтерева, А.А. Ухтомского и П.К. Анохина. Они заложили основы интегративной физиологии целого организма, где психические явления включены в целостный рефлекторный акт – ответ организма на воздействие окружающей среды, регулируемый головным мозгом человека. [17, 39].

В терминах нейронауки результативная психическая деятельность диспетчера УВД определяется церебральной архитектоникой его функциональных систем [92]. Приоритетная отечественная теория функциональных систем

предложена П.К. Анохиным [17, 18].

Функциональные системы — динамические, саморегулирующиеся построения, все составные компоненты которых взаимодействуют с целью достижения полезных для организма приспособительных метаболических, гомеостатических и поведенческих результатов.

Согласно положениям этой теории, основными стадиями системной организации поведенческих и психических актов являются следующие [55, 91, 92]:

1. Афферентный синтез (постоянный поток нервных импульсов, поступающих в центральную нервную систему (ЦНС) от органов чувств, воспринимающих некоторые воздействия внешних сил среды в некоторый момент времени).

Для построения деятельности клетки коры головного мозга «выбирают» из массы возбуждений, обусловленных действием на организм внешних и внутренних раздражителей, главное и наиболее важное для удовлетворения соответствующей его потребности в каждый момент времени (1.5):

$$\mathrm{imp}_{k}^{(t)} \Rightarrow \mathrm{KE}^{(k)} \Rightarrow \mathrm{m}_{q}^{(k)}, \qquad (1.5)$$

где знаком “⇒” обозначается логическая связка “последует”

$\mathrm{imp}_{k}^{(t)}$ – нервные возбуждения в ЦНС ЛПР;

$\mathrm{KE}^{(k)}$ – возникающие потребности;

$\mathrm{m}_{q}^{(k)}$ – мотивационные возбуждения (психические тенденции к достижению цели), q - контекст или психоэмоциональная среда, в которой протекает деятельность диспетчера УВД, что может быть представлено в форме целевой и контекстуальной пирамид мотиваций (Рисунок – 1.7).

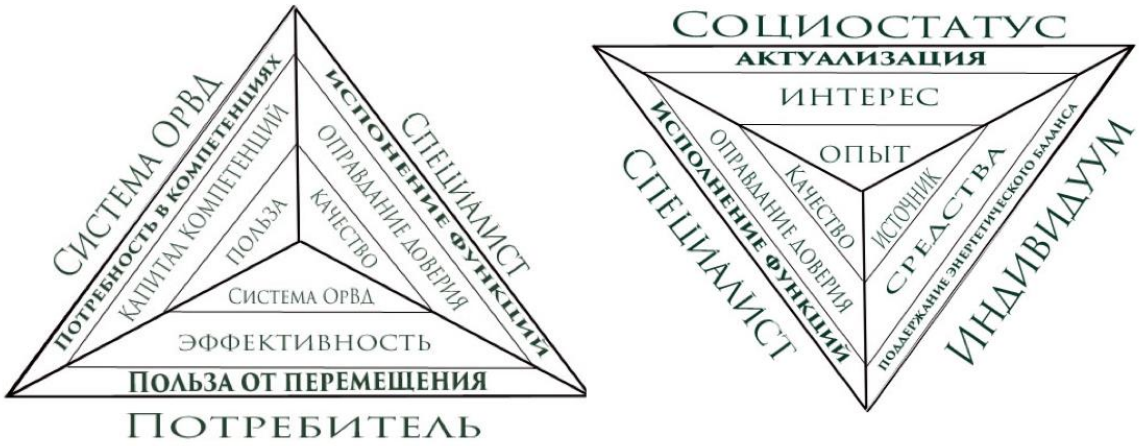



Рисунок 1.7 – Целевая (слева) и контекстуальная (справа) пирамиды мотиваций в системе ОрВД – расшифровка граней от основания к вершине: потребность, мотив, цель [собственная разработка]

2. Принятие решений.

Процессы, определяющие выбор главного – доминирующей мотивационной тенденции (ДМТ) [91], составляют процесс принятия решения (ППР) и выработку рече-функционального акта (РФА) и называются волевыми процессами (1.6):

$$m_q^{(k)} \Rightarrow imp_B^{(t)} \Rightarrow \text{ДМТ}, \quad (1.6)$$

где $imp_B^{(t)}$ – волевой импульс при выборе ДМТ;

ДМТ – доминирующая мотивационная тенденция.

На структурах мозга ДМТ продолжает постоянно взаимодействовать с информационными элементами среды в виде ее афферентации, поступающей от зрительных, слуховых и других рецепторов диспетчера УВД. При этом на процесс афферентного синтеза воздействуют также эмоциональные ощущения и механизмы памяти, связанные с прошлым опытом по удовлетворению соответствующей потребности и являющиеся частью его мотивации.

3. Прогноз ожидаемого (желаемого) результата рече-функционального акта – РФА (акцептор результатов действия).

Внутренняя системная архитектоника психической деятельности

оценивается субъективно с помощью эмоций. Отрицательной эмоцией при возникновении потребности и ее неудовлетворении и, наоборот, положительной эмоцией при удовлетворении исходной потребности, а также при предвидении потребного результата (1.7):

$$\text{ДМТ} \Rightarrow u^{*(k)}(S_t^*) \Rightarrow Э^{(k)}, \tag{1.7}$$

где $u^{*(k)}(S_t^*)$ – ожидаемый результат – РФА;

$S_t^*$ - состояния ДВО в процессе психической деятельности ЛПР;

$Э^{(k)}$ – эмоция.

4. Эфферентный синтез (программы действий (1.8)):

$$\begin{gathered} u^{*(k)}(S_t^*) \Rightarrow Э^{(k)} \Rightarrow z^{*(k)}, \\ z^{*(k)} = Z\left[m_q^{(k)}, q^{(k)}, u^{*(k)}(S_t^*), Э^{(k)}\right], \end{gathered} \tag{1.8}$$

где $z^{*(k)}$ – программа действий (поведения) k-го ЛПР при $S_t^*$.

5. Осуществление рече-функционального акта (РФА) и достижение результата действия (1.9):

$$z^{*(k)} \Rightarrow u^{(k)}, \tag{1.9}$$

где $u^{(k)}$ – рече-функциональный акт k-го ЛПР.

6. Оценка достигнутых результатов путем обратной афферентации (1.10):

$$u^{(k)} \Rightarrow S_t\left(u^{(k)}\right) \Rightarrow imp_k\left(u^{(k)}\right) \Rightarrow \cdots \Rightarrow \text{ДМТ}(u^{(k)}) \Rightarrow Э^{(k)}. \tag{1.10}$$

$S_t\left(u^{(k)}\right)$ – состояние ДВО $S_t$ после реализованного РФА;

$imp_k^{(t)}\left(u^{(k)}\right)$ – нервные возбуждения в ЦНС ЛПР на основе $S_t\left(u^{(k)}\right)$;

$\text{ДМТ}(u^{(k)})$ – доминирующая мотивационная тенденция при $imp_k^{(t)}\left(u^{(k)}\right)$.

Обратная афферентация о параметрах, достигаемых субъектами потребных результатов в функциональных системах может поступать к мозгу по интероцептивным, зрительным, слуховым, тактильным, обонятельным и другим афферентным каналам. Все это обусловливает то, что в каждой функциональной системе на структурах акцепторов результатов действия создается свой, специфический информационный образ, который динамически меняется при изменении параметров, достигаемых субъектами адаптивных результатов [92].

Эти информационные образы обогащаются в динамике поведенческой деятельности субъектов, направленной на удовлетворение их исходных потребностей.

В результате формируется информационное отражение действительности, что позволяет сделать следующие выводы о влиянии визуально-когнитивной составляющей психической деятельности на ситуационную осведомленность диспетчера УВД:

- получение информации о ДВО связано с ее носителями (материальными физико-химическими процессами) и их соотношениями;
- интерпретация диспетчером УВД данных о ДВО связана со структурой его когнитивной, эмоциональной и мотивационной систем организма.

Такие характеристики деятельности диспетчера, как число ошибок интерпретации данных и проекций развития ДВО, скорость восприятия информации, число пропусков в решении конкретного вида задач по УВД в определённой ситуации при определённом уровне профессиональной подготовки и качества плана движения, находятся в зависимости от качества решения задач организации УВД [50, 52-56, 75, 99]. К которым можно отнести и задачу поиска рационального взаимодействия диспетчера с его ИО в АС УВД [6, 21, 148].

В диссертационной работе решаются задачи снижения времени оценки ДВО на конфликтность диспетчером УВД, а также определения состава эшелон-уровней ВС при минимальном уровне ошибок, повышения выявляемости ПКС и устранения «слепых зон» для улучшения его ситуационной осведомленности за счет создания объемно-пространственных форм визуальных объектов в средствах ИО при использовании полихромного отображения.

## 1.4. Объемно-пространственные формы при полихромном отображении объектов в информационном обеспечении диспетчера УВД для формирования ситуационной осведомленности

Формирование ситуационной осведомленности при оценке ДВО на конфликтность у диспетчера УВД может происходить несколькими способами:

1. При восприятии и анализе визуальных данных без объемно-пространственных форм объектов ИО графическими, численными обозначениями, кодами или голосовыми сообщениями с последующими мыслительными преобразованиями информации в собственную систему координат времени и пространства и проекцией на будущие цели;

2. При восприятии и анализе данных – с использованием объемно-пространственных форм посредством машинной графики, пространственно-временной перспективы в известной заранее системе координат;

3. Комбинированием двух предыдущих способов (например, при получении аварийной визуальной сигнализации и голосовой информации о высоте радиолокационной метки).

Соединение образности (наглядности) и значения (смысла) формирует в «информационном эквиваленте действительности» у диспетчера УВД образ ДВО с обобщённым значением об отражаемых объектах, в котором выступают в единстве чувственные и логические компоненты мышления – что сокращает количество мыслительных операций.

Объёмно-пространственная форма воспринимается как совокупность формы и цвета, которая может иметь множество состояний и сочетаться с другими состояниями. При изменении состояний цветов в некоторой форме нарушается установившиеся до этого сочетания отдельных свойств, и появляется ощущение новой формы. Таким образом, изменение объёмно-пространственной формы может происходить при изменении только цвета, т. е. речь ведется уже о формообразовании с помощью цвета [40].

Цвет – свойство объёмно-пространственной формы наряду с геометрическим параметрами, величиной, расположением в пространстве, фактурой и светотенью.

Объёмно-пространственная форма по цвету может быть построена в трёх основных направлениях:

I. Ахроматический ряд - в пределах от белого до чёрного.
II. Хроматический ряд - цветовой круг.
III. Ряд, переходящий из хроматического в ахроматический, например, от красного к белому, от красного к серому, от красного к чёрному.

Сочетания цветов по вышеуказанным типовым признакам образуют более сложные ряды изменений цветов в объёмно-пространственной форме.

Одним из методов полихромии является хроматическая стереоскопия, с которой связано явление «выступание - отступание» различных цветов (Рисунок – 1.8), в силу которого цвета, лежащие в одной фронтальной плоскости, воспринимаются лежащими в нескольких плоскостях - ближе или дальше реальной. Этот эффект лежит в основе формообразования с помощью цвета и понимания глубины пространства [40, 41].

Рисунок 1.8 – Выступание-отступание цвета на цветовом круге [45]

При рассмотрении цветового круга на чёрном фоне (Рисунок – 1.8) жёлтая часть доминирует в восприятии, выступая вперёд, в отличие от красной или синей, которая подается к чёрному фону. Зелёный цвет занимает примерно равное положение с красным, а оранжевый выступает более красного, но менее жёлтого. Фиолетовый западает за красный, но ощущается ближе синего.

Цвет является субъективно обусловленной величиной, на которую влияют:

- физиология человека и опыт наблюдения;
- зрительная память;
- отношение к этому предмету самого наблюдателя [44].

На основании природных ассоциаций цвета с меньшей насыщенностью и светлотой воспринимаются отдалёнными, цвета с противоположными свойствами выступают вперёд. Более сложные ассоциаций появляются под влиянием культурных, социальных, психологических, профессиональных, национальных и географических факторов.

Конкретное ощущение выступания или отступания цветовых пятен обуславливается тремя группами причин:

1 группа – соотношение цветовых пятен по трём основным цветовым характеристикам (цветовой тон, светлота, насыщенность (1.11)).

Цветовой тон – характеристика цвета, определяющуюся доминирующей длиной волны излучения, действующего на глаз [51]. Обозначается словами: «красный», «синий», «зелёный» и др.

В колориметрии цветовой тон задается вектором цветности на диаграмме или пространстве цветности в зависимости от принимаемой для измерения стандартной цветовой модели (LAB, HSB, RGB, XYZ, CMYK, CIELUV и др.) [96]. Удаленность от точки белого задается в процентах и называется насыщенностью. Светлота определяется как субъективная яркость участка изображения, отнесённая к субъективной яркости аналогично освещённой поверхности, воспринимаемой человеком как белая.

$$X_{\text{ТОН}}[\text{цветовой тон}] = \{x(\text{красный}), y(\text{зеленый}), z(\text{синий})\},$$
$$X_{\text{НАСЫЩ}}[\text{насыщенность}] = k * \nu_0(\text{цветность опорного белого}) * 100\%, \quad (1.11)$$
$$X_{\text{СВЕТ}}[\text{светлота}] = \frac{L_i(\text{измеряемый цвет})}{L_{\nu_0}(\text{яркость белого})},$$

Здесь, $X$ – характеристика цветового пятна;

$x(\text{красный}), y(\text{зеленый}), z(\text{синий})$ – координаты в цветовом пространстве;

$\nu_0$ – цветность опорного белого цвета;

$k$ – коэффициент уменьшения, увеличения насыщенности;

$L_i$ – светлота измеряемого цвета (спец. прибором или субъективно);

$L_{v_0}$ – яркость опорного белого (определяемого прибором или субъективно).

Если холодные и тёплые цвета имеют одинаковую светлоту, то тёплые цвета выходят вперёд, а холодные стремятся в глубину. Синий и красный одинаковой светлоты находятся на чёрном основании, - синий уходит в глубину, а красный выходит вперёд. Если синий высветлить значительно сильнее, то он даже выходит вперёд, а красный отступает назад.

2 группа – соотношения цветовых пятен по некоторым относительным свойствам цвета (тёплое-холодное, броскость, плотность, тяжесть и др.) и по количеству цвета сравниваемых цветовых пятен.

Тепло-холодный контраст заставляет выступать вперёд на сером фоне тёплые цвета - жёлтый, оранжевый, красный; холодные цвета - синий и фиолетовый отступают назад; зелёный - нейтральный в отношении к тёплому и холодному, воспринимается ближе относительно холодных, но дальше относительно тёплых цветов. А, например, броскость выражается сочетанием цветового тона, насыщенности, светлоты и размера цветового пятна.

3 группа - закономерности восприятия (иррадиация, фигура и фон).

Иррадиация проявляется как зависимость величины площади цвета от контрастов по светлоте и теплоте между этим цветом и фоном. Светлый тёплый элемент на тёмном и холодном фоне ощущается несколько крупнее своих реальных размеров. В силу этой закономерности светлые и тёплые цветовые элементы воспринимаются выступающими на тёмных и холодных фонах.

Закономерность «фигура-фон»: цвет, соответствующий фигуре, всегда воспринимается выступающим, а соответствующий фону – отступающим, независимо от каких бы то ни было других факторов.

На явление «выступание – отступание» ссылался Гёте, Брюкке, Гельмгольц и Грюнберг, В. Кандинский и другие учёные исследователи причины его возникновения [40].

Важная работа в этой области принадлежит С. Беляевой-Экземплярской [24], установившей (1924) соотношения хроматических цветов по их выступанию, их устойчивости и очевидности, а также индивидуальные различия в восприятии. Причина смещения для цветов одного цветового тона – светлота, насыщенность и броскость; для цветов, различных по цветовому тону, имеющих равную насыщенность и светлоту – это плотность, сконденсированность.

Ф. Биррен заключает, что ключевыми в выступание цвета являются механические изменения зрительного аппарата. Фокусировка красных оттенков происходит за сетчаткой, синих – перед.

И. Иттен определяет пространственное действие цвета в связи с цветовыми контрастами. Он отмечает важность цветового фона для оценки впечатления глубины цветового пятна [45].

Явление восприятия «выступание-отступание» цветов существует объективно и имеет количественную оценку. Трудность установления количественной оценки этого явления состоит в том, что, существуют различия ощущений, возникающие вследствие существования чисто субъективных «шумов»: настроение опрошенных, их культура цвета, наличие у них устойчивых ассоциаций, связанных с определёнными цветовыми сочетаниями, и др.

С целью установления количественной оценки явления «выступание-отступание» цветов на кафедре «Живопись» МАИ была проведена серия опытов по оценке величин расстояний между тремя первичными цветами (имеется в виду ощущение расстояния, возникающее при восприятии цветов, расстояние отсчитывается по лучу зрения) [40].

По результатам опытов было получено подтверждение объективного существования явления «выступание-отступание» в силу ненулевой величины математического ожидания во всех опытах и стало известно, что сумма расстояний между цветами пар синий-красный и красный-жёлтый приблизительно равна расстоянию между цветами пары жёлтый-синий (1.12); эта закономерность прослеживается при изменении угла зрения от 3°50’ до 1°40’ (расстояние до

квадратной плоскости 20х20 см от 3 до 7 м);

$$X_{ср}^{ск} + X_{ср}^{кж} \approx X_{ср}^{сж}. \quad (1.12)$$

Здесь число, характеризующее расстояние между цветами, есть процентное выражение его величины по отношению к стороне квадрата, несущего цвета.

В целях заметного формообразующего действия полихромии в объёмно-пространственной форме, она должна отвечать двум основным требованиям:

- быть активнее порога формообразующего действия полихромии в данной форме (порогом формообразующего действия полихромии в объёмно-пространственной форме называется такая наименее активная полихромия, в результате развития которой в монохромной объёмно-пространственной форме возникает ощущение новой волны);
- цвета полихромии должны восприниматься глубинными.

Учитывая выдвинутые требований к формообразующему действию цвета, в задачах формирования ситуационной осведомленности диспетчера УВД с применением полихромии в средствах ИО следует использовать цветовую палитру, способствующую лучшему восприятию высотной дифференциации ВС по эшелон-уровням на дисплее, при которой к каждому эшелону полета – FL – применяются цветовые обозначения в порядке цвето-ассоциативного удаления согласно психофизиологическому цветовому восприятию человека в гармонических полутонах определенной яркости, светлоты и насыщенности совместно с контрастным фоном - черным (Рисунок – 1.9).

На рисунке (Рисунок – 1.9, слева) представлена выбранная в эксперт-группе базовая цветовая палитра из восьми цветов с их координатами в аддитивной цветовой модели кодирования RGB (red-blue-green) [135]:

- три полутона зеленого цвета: желто-зеленый (салатовый: RGB - 153, 255, 153), зеленый (RGB - 0, 255, 0), бирюзовый (RGB - 48, 213, 200);

- три полутона синего цвета: голубой (RGB - 0, 191, 255 или 0, 184, 217), синий (RGB - 0, 77, 255), ультрамариновый (RGB - 18, 10, 143)

- оранжевый (мандариновый: RGB - 255, 204, 0);

- фиолетовый (RGB - 128, 0, 128).

Рисунок 1.9 – Базовая цветовая палитра при исследовании полихромии в ДВО [собственная разработка на основе [41]]

На практике может быть рассмотрен другой набор цветов и полутонов, а также близкие к ним оттенки: циан, кобальтовый, аквамарин и т.д., - в зависимости от применяемого фона, возможностей используемого оборудования отображения и мнения группы экспертов из числа испытуемых.

Для целей диссертационной работы и проведения исследования возможности применения полихромии, а также эффекта «выступания-отступания» цвета были выбраны (см. Глава 4, п. 4.1) наиболее различимые сочетания для работы с цветовыми плоскостями испытуемых (Рисунок – 1.9, справа), а также оранжевый цвет было решено применять для целей сигнализации [50].

Отметим также, что дисплеи имеют больше возможности цветовых настроек в силу излучения света, тогда как бумажные носители и печать воспроизводят цвет за счет поглощения и отражения приходящего к ним света. Важно помнить, что (для человеческого восприятия) физически существуют лишь стимулы, рождающие цветовые ощущения, характер которых зависит от условий просмотра этих стимулов [96].

## Выводы по главе 1

Необходимость совершенствования и адаптации системы ОрВД отчетливо наблюдается в развивающейся среде авиационных перевозок, подверженных многочисленным факторам влияния в наступившем десятилетии. Это требует особой координации при ОрВД, а также наращивания резерва пропускной способности ее компонентов для обеспечения регулярности, экономичности и безопасности воздушного движения в изменяющейся конфигурации транспортных потоков.

Одним из ключевых компонентов системы ОрВД является управление воздушным движением – УВД.

На современном этапе применение средств автоматизации и интеллектуальных информационных систем в УВД не предусматривает исключение человека. Поэтому организационно-процедурные усовершенствования процессов УВД поднимают проблематику информационного обеспечения – ИО – диспетчера УВД по двум основным направлениям:

1) качественная переработка данных о ДВО и улучшение его ситуационной осведомленности;

2) исключение информационной перегруженности и дефицита времени на функциональные операции.

Полихромное отображение объектов в ИО диспетчера УВД выступает одним из возможных путей решения поставленных задач. Это следует из того, что:

- визуальные средства АС УВД являются основным инструментом подготовки управленческих решений диспетчером УВД в условиях высокой плотности ВС в зоне ответственности;

- из эффективного многолетнего опыта создания и применения комплексов средств автоматизации в УВД и других областях техники с цветографическим представлением объектов управления в многофакторной динамической среде, при которых осуществляется эффективное достижение целей деятельности.

Полихромное отображение объектов управления в информационном обеспечении, однако, чаще используется для сигнализации или обозначения отдельных графических элементов интерфейса АС УВД, при этом содержит глубокий потенциал, еще не раскрытый в средствах ИО диспетчера УВД. Например, при помощи применения объемно-пространственных форм графических элементов интерфейса, способствующих созданию трехмерного образа потоков воздушного движения или образа опасности при оценке воздушной обстановки на конфликтность диспетчером УВД.

# 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ЦВЕТОГРАФИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СРЕДСТВАХ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

## 2.1. Принципы разработки цветографических решений информационного обеспечения диспетчера УВД

Цветографические решения ИО диспетчера УВД применяются и разрабатываются для создания условий рационального ППР, а также в качестве средств поддержки принятия решений [33, 54, 94]. При этом учитываются свойства и возможности среды, в которой возникает необходимость в изменениях [31, 34, 46, 60, 66, 88].

В рамках системной декомпозиции рассматривать систему ОВД следует как составную часть системы ОрВД, наряду с другими системами (Рисунок – 2.1): организации воздушного пространства (ОрВП), организации потоков и планирования ВД (ОПВД), – каждая из них обладает своим составом объектов управления с характерными особенностями их отображения в ИО [11, 32, 106, 108, 116, 118, 136, 145, 146].

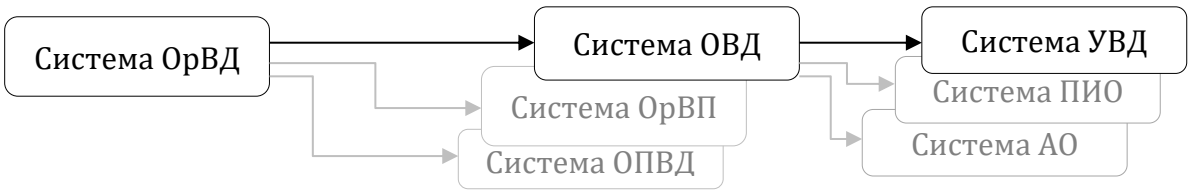



Рисунок 2.1 – Декомпозиция системы ОрВД для решения задач визуализации ДВО [собственная разработка на основе [53]]

Для того, чтобы определить прикладную область визуализации ДВО, применяется строгая декомпозиция процессов системы ОВД, отделяя их от

процессов систем ПИО и АО. Особенно это важно при изучении визуально-когнитивной (зрительно-мыслительной, познавательной) составляющей деятельности диспетчера УВД, которая имеет высокую степень сложности при формализации.

### 2.1.1. Цветографические решения информационного обеспечения диспетчера УВД методами человеко-ориентированного проектирования

Обоснование эффективности технологических решений в ИО осуществляется путем оценок выбранных количественных характеристик при анализе математических моделей процессов, включенных в эту модель. Построение модели ИО диспетчера УВД на основе полихромии объектов управления может быть реализовано с помощью человеко-ориентированного проектирования [21, 32, 114].

Человеко-ориентированное проектирование (human-centred design) — это способ разработки интерактивных систем, направленный на создание пригодных в использовании и полезных систем с учетом особенностей пользователей, их потребностей на основе эргономических принципов [6];

Интерактивная система (interactive system) – система компонентов аппаратного и программного обеспечения, которая получает информацию, вводимую пользователем, и передает ему свой ответ, помогая в работе или выполнении задачи;

Человеко-ориентированный подход увеличивает результативность, эффективность, доступность и устойчивость систем, удовлетворенность пользователя и производительность его труда, а также предотвращает возможное неблагоприятное влияние использования систем на здоровье и безопасность человека. Человеко-ориентированный подход в проектировании при систематическом выполнении относящихся к нему принципов и требований оказывает положительное влияние на развитие ситуационной осведомленности операторской деятельности [6, 144, 145].

К основным принципам человеко-ориентированного проектирования при разработке цветографических решений ИО диспетчера УВД относятся:

a) точное определение предполагаемого пользователя, задач и среды (условия использования в ИСО 9241-11);

b) привлечение пользователя в проектирование и разработку;

c) выполнение оценки проекта с участием пользователя;

d) итеративное совершенствование проекта;

e) учет опыта пользователя (аспекты эмоций и восприятия в ИСО 9241);

f) привлечение специалистов с навыками и знаниями в различных областях.

Методы, представленные стандартами, делятся на две большие категории: методы, предполагающие непосредственное участие пользователей и методы, предполагающие непрямое участие пользователей, среди которых: наблюдение за работой пользователей, измерения, связанные с рабочими характеристиками, анализ критических событий, анкетирование; опрос, фиксация мыслей вслух, совместное проектирование и оценка, творческие методы, методы, основанные на изучении документов, подходы, основанные на использовании моделей, экспертная оценка, автоматическая оценка.

При человеко-ориентированном проектировании предстоит исполнение эргономических принципов, постоянно оценивая:

a) связь пригодности использования с целью и использованием продукта;

b) уровни риска;

c) свойства среды разработки.

Особое внимание при создании проектных цветографических решений ИО диспетчера УВД направляется на следующее:

a) разработку задач и моделей деятельности диспетчера УВД, его взаимодействия с элементами системы УВД при учете требований и опыта;

b) детализацию цветографических решений;

c) внесение изменений в проектные решения на основе оценок и отзывов;

d) передачу проектных решений ответственным за их осуществление;

е) определение и выбор способов организации диалога (см. ИСО 9241-12, ИСО 9241-13, ИСО 9241-14, ИСО 9241-15, ИСО 9241-16 и ИСО 9241-17).

В стандартах серии ИСО 9241 установлены требования, относящиеся к дисплеям, устройствам ввода, принципам диалога, меню, представлению информации, руководству пользователя. Могут быть использованы и другие руководства по разработке ИО диспетчера УВД и обеспечению доступности системы (например, ODID-IV [141], REFGHMI [108, 116, 118], CORA [119]). У многих организаций существуют внутренние руководства по стилю пользовательского интерфейса, необходимой информации о продукции, предполагаемых пользователях и других аспектах условий использования, таких как ожидания пользователей (см. ИСО 1503) и стереотипы их поведения.

Заметим, что пользовательский интерфейс рассматривается ГОСТ в исчерпывающе широком списке понятий, включая стандарты ИОТОД, СЧИМ, а информация, входящая в СЧИМ и соответствующая психофизиологии мышления человека, называется ноон-информацией (ноон-информацию разрабатывают с применением ноон-технологии и результатов, полученных в ноонике) в гибридно-интеллектуализированном (клеаративно-креативное) человеко-информационном взаимодействии с использованием машинно-активизированной мыслительной деятельности. При этом в рамках данной работы интерес имеет *клиаратизированное представление информации*, т.е. в виде, обеспечивающем повышенный уровень понимания при восприятии и использовании [3].

### 2.1.2. Типовые концепции разработки цветографических решений в средствах информационного обеспечения диспетчера УВД

Процессы, протекающие с использованием графического интерфейса информационной среды АС УВД, характеризуются высокой динамикой, их непрерывностью и многосложностью, а также наличием физическо-геометрических ограничений, обусловленных как визуально-когнитивными

особенностями человека [27, 28, 51 53, 56, 65, 83], так и программно-аппаратными средствами, применяемыми в АС УВД [14, 42, 75, 85, 94, 117, 124, 135].

В этих условиях перед проектированием стоит ряд задач, которые в рамках человеко-компьютерного взаимодействия можно отнести к разряду эргатических эвристической компонентой. Учет эвристической компоненты в разработке решений соотносит и саму систему УВД к системам с ограниченной рациональностью, т.е. к системам, допускающим нерациональность, когнитивные искажения и т.п.

Типовые концепции разработки пользовательского интерфейса заложены в специфику человеко-машинного взаимодействия и отражены:

1. В законах робототехники – безвредное машинное содействие и стремление к рациональности;
2. Методологии инженерной и когнитивной психологии – целеориентированный подход (Goal-Centered Design) и подходы ориентированные на пользователя (User-Centered Design), на анализ деятельности (Activity-Centerd Design) или использования (Usage-Centered Design);
3. Классических психо-физиологических законах – закон Бугера-Вебера-Фехнера (Стивенса), закон Хика-Хаймана, закон Фиттса;
4. Правилах цветовой гармонии и композиции [19, 65, 96].

Взаимодействие диспетчера УВД с графическим интерфейсом АС УВД можно рассматривать также с точки зрения современных концепций визуальной коммуникации и метадизайна, методологической основой которым служат результаты теоретических и практических исследований в области визуальной коммуникации, применения информационных технологий в образовании, представления информации, семиотики, работ в сфере достижений когнитивной науки по вопросам исследования процессов познания [73].

Ключевым фактором в разработке средств взаимодействия диспетчера УВД с информационной средой интерфейса АС УВД является направленность на

лимитированный по времени и качественно детерминированный параметрами безопасности полетов процесс принятия решения.

В условиях лимитированного по времени ППР при УВД более быстрая и точная обработка входных данных о ДВО оставляет больший временной запас для выбора управляющих воздействий и команд, а также реализации других функций по УВД. Это снижает риск ошибочных действий, а также важно с точки зрения обеспечения безопасности полетов [43, 53, 59].

Особое место в характеристике деятельности УВД отводится ситуациям повышенной рабочей нагрузки и особенно ситуациям исключительной срочности – при возникновении краткосрочных конфликтных ситуаций (индицируемых в АС УВД как STCA - Short Term Conflict Alert - когда времени до нарушения установленных норм – минимальных значений эшелонирования – остается меньше чем 80-120 секунд [85]), в сложных метеорологических условиях (особенно турбулентности, обхода грозовых образований), возникновении непредвиденных или чрезвычайных ситуаций в полете и др.

В таких условиях к исполнению функций диспетчером УВД и его взаимодействию с информационной средой интерфейса предъявляются такие же высокие требования к быстродействию и надежности, каким вполне соответствует его деятельность в рамках типовых ситуаций при умеренной нагрузке и неостром дефиците времени.

Основным критерием быстродействия диспетчера УВД, является время, затрачиваемое им на решение задач УВД [20, 53]. С точки зрения теории информации быстродействие прямо пропорционально количеству обрабатываемой информации [49, 65]. Различные виды информации - $\zeta_\Lambda$ - обрабатываются человеком с различной скоростью [28, 32, 50]. Скорость обработки информации диспетчером УВД зависит от психо-физиологического состояния диспетчера УВД, при котором протекает процесс обработки. Выражение для оценки времени обработки информации принимает вид (2.1):

$$\tau_k = \alpha_k + \sum_{\Lambda=1}^{n} (I_{\zeta_\Lambda} / \upsilon_{\zeta_\Lambda}(\Phi))^k,$$

$$\zeta_\Lambda = \begin{bmatrix} 1.\ \text{Визуальная (пикторальная):} \begin{bmatrix} 1.1.\text{Монохромная} \begin{bmatrix} 1.1.1.\text{Знакоевая [1.1.1.1...} \\ 1.1.2.\text{Графическая[1.1.2.1...} \\ \dots \end{bmatrix} \\ 1.2.\text{Полихромная} \begin{bmatrix} 1.2.1.\text{Знакоевая [1.2.1.1...} \\ 1.2.2.\text{Графическая [1.2.2.1...} \\ \dots \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ 2.\ \text{Слухования (аудиальная):} \begin{bmatrix} 1.1.\text{Голосовая} \begin{bmatrix} 1.1.1.\text{Знакоевая [1.1.1.1...} \\ 1.1.2.\text{Графическая[1.1.2.1...} \\ \dots \end{bmatrix} \\ 1.2.\text{Сигнальная} \begin{bmatrix} 1.2.1.\text{Знакоевая [1.2.1.1...} \\ 1.2.2.\text{Графическая [1.2.2.1...} \\ \dots \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Lambda \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

где $I_{\zeta_\Lambda}$ – количество информации $\zeta_\Lambda$ -го вида, обрабатываемой k-ым диспетчером УВД;

$\upsilon_{\zeta_\Lambda}$ – скорость обработки им информации $\zeta_\Lambda$-го вида;

$\Phi^{(k)}$ – психо-физиологическое состояния диспетчера УВД;

$\alpha_k$ – скрытое время реакции, т.е. промежуток времени от момента появления сигнала до реакции на него.

Известен подход, основанный на оценке динамической энтропии при определении необходимого количества информации в процессе решения диспетчером задачи определения классов к ситуациям УВД, где применяется выделение из всей совокупности находящихся на управлении пар ВС тех, которые требуют вмешательства в траекторное управление, которые требуют повышенного внимания, и – бесконфликтные ВС [75].

Данный подход совместно с трехуровневой концепцией ситуационной осведомленности (Гл.1, п. 1.3), а также диаграммой перехода состояний ЛПР (см. далее Гл.2, пп. 2.2.1, Рисунок – 2.4) позволяют сделать вывод о том, что визуально-когнитивная составляющая (восприятие и обработка информации) является краеугольным камнем ситуационной осведомленности диспетчера УВД при использовании информационного обеспечения АС УВД.

## 2.2. Модели информационного обеспечения диспетчера УВД при разработке цветографических решений

### 2.2.1. Модель информационного обеспечения диспетчера УВД с применением положений теории функциональных систем

Информационное обеспечение УВД один из наиболее важных элементов системы УВД, который играет существенную роль в обеспечении безопасности, экономичности и регулярности полетов [14, 21, 117]. Визуально-когнитивная составляющая в модели ИО диспетчера УВД представлена на Рисунке – 2.2.

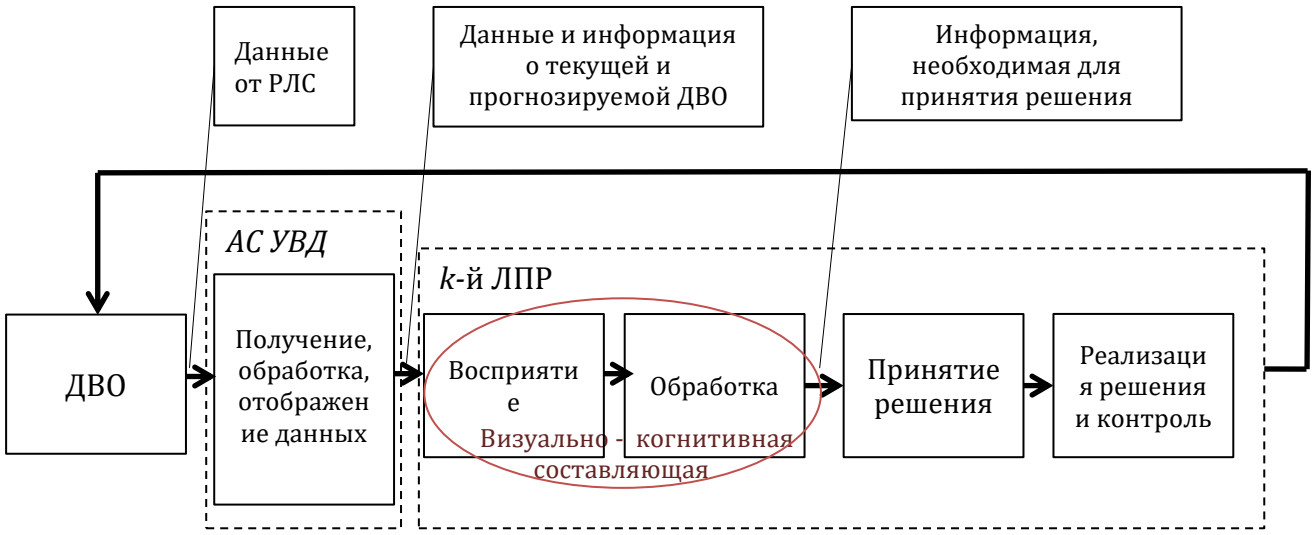



Рисунок 2.2 – Визуально-когнитивная составляющая в модели ИО диспетчера УВД [75]

ДВО является источником данных и информации, необходимых для ОВД, и представляет собой совокупность графических, цветовых и звуковых элементов ЧМИ в АС УВД (см. Глава 1, п. 1.3).

На этапе восприятия данных на основе получаемых входных сигналов о ДВО формируется первичный информационный образ объекта управления – $I_{S_t}^{(k)}$, т.е. некоторого состояния ДВО – $S_t$. С точки зрения функциональных систем, этот

процесс заключается в получении ЦНС нервных импульсов $imp_k^{(t)}$ по зрительному (и/или слуховому) каналу и возникновению соответствующего состояния гомеостатических параметров организма с его психической интерпретацией.

Интерпретация происходит в процессе обработки информации. Диспетчер, обращаясь к памяти, осуществляет интерпретацию информационного образ объекта управления на языке описания предметных ситуаций. Иными словами, происходит перевод предметных ситуаций $I_{S_t}$ в понятийные - $I'^{(k)}_{S_t}$, т.е. формирование мысленного представления, согласно целям УВД. Процедурная часть данного процесса решает задачи близкие к кибернетическим задачам структурного детектирования и классификации распознавания образов, а также формирования понятий (2.2):

$$\begin{gathered} I_{S_t} \Rightarrow imp_k^{(t)} \Rightarrow I_{S_t}^{(k)} \Rightarrow I'^{(k)}_{S_t}, \\ I_{S_t} = \{s_i^{(t)}\} \\ I'^{(k)}_{S_t} = \{s_i^{(t)}\}^k \end{gathered} \qquad (2.2),$$

где $I_{S_t}$ – информация предметной ситуации УВД ($S_t$), которая представляет собой массив данных, реализуемых в ЧМИ посредством графического отображения элементов ДВО – $\{s_i^{(t)}\}$;

$I_{S_t}^{(k)}$ – первичный информационный образ ДВО, формируемый диспетчером УВД на этапе восприятия элементов ДВО $\{s_i^{(t)}\}$;

$I'^{(k)}_{S_t}$ – информация понятийной ситуации УВД, формируемая на этапе обработки $I_{S_t}^{(k)}$, сопоставления с целями УВД и пр.

$\{s_i^{(t)}\}^k$ – наборы информационных комплексов (НИК), которые есть наборы признаков или структурированных текстов с семантикой. При сравнении с работой мозга их можно отождествить с функционально-комбинационными центрами, формирующимися на высоких уровнях отвлечения, обобщения и абстрагирования (Рисунок – 2.3).

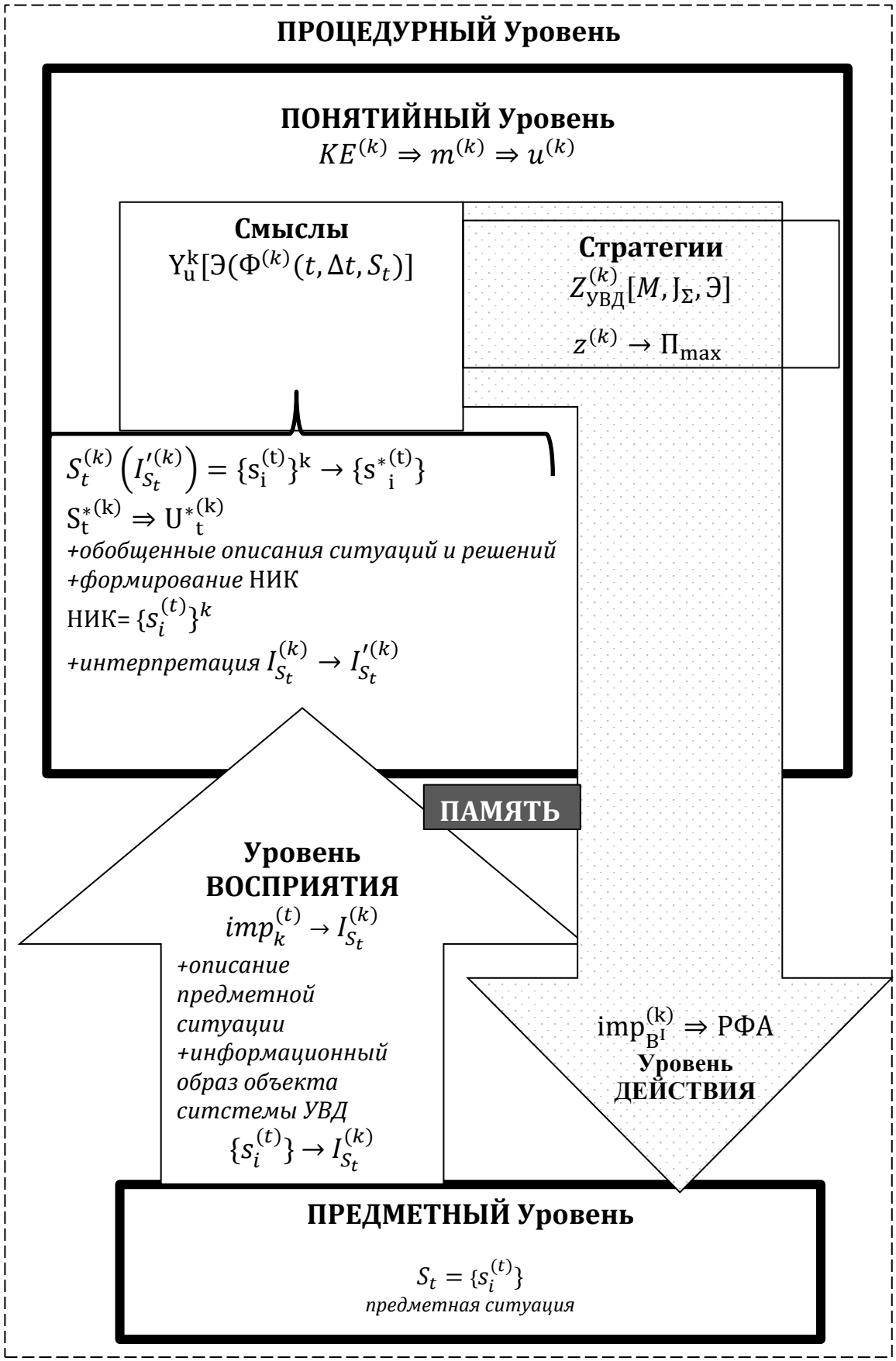



Рисунок 2.3 – Содержательно-функциональная модель визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД [собственная разработка на основе [17, 27, 74, 92]]

В процессе анализа понятийной информации $I_{S_t}^{\prime(k)}$ диспетчер осуществляет ее обобщение, сопоставление с другой информацией (в т.ч. из других источников и имеющегося в памяти опыта), запоминание информации, извлечение ее из памяти, декодирование и т.п. Затем формируются обобщенные описания понятийных ситуаций и предварительных (мнимых) решений – управляющих воздействий (2.3):

$$\begin{gathered}\{s_i^{(t)}\}^k \Rightarrow S_t^{\prime(k)}, \\ U_t^{*(k)}\left(S_t^{\prime(k)}\right) = \{u_i^{*(t)}\}^k,\end{gathered} \tag{2.3}$$

где $S_t^{\prime(k)}$ – состояние ДВО, которое формирует ЛПР согласно НИК = $\{s_i^{(t)}\}^k$;

$U_t^{*(k)}\left(S_t^{\prime(k)}\right)$ – предварительное (мнимое) решение, состоящее из набора предполагаемых управляющих воздействий $\{u_i^{*(t)}\}^k$ или их отсутсвия $u_i^{*(t)} \in \emptyset$.

В реальной обстановке формирование понятийных описаний и предрешений является результатом опыта работы с системой и происходит на фоне инструктивных требований, предшествующих обучения и тренировки, передачей опыта со стороны коллег по работе, составляющими образ профессиональной мотивации диспетчера УВД, его эффективность, а также личные предпочтения в способах достижения профессиональной успешности.

Принятие решений осуществляется волевым усилием психики $imp_{B^I}^{(k)}$ на основе проведенного анализа и оценки информации, на основе известных осознаваемых целей и опыта, а также на основе условий выполнения полетов и возможных способов действий при имеющихся ограничениях [55, 56].

Импульс, побуждающий волевые усилия диспетчера УВД (2.4), во многом определяется способностью ЛПР к определению полезного эффекта при развитии ситуации (2.5), а также реально располагаемым временным ресурсом при наличии/отсутствии дефицита времени, наличие которого сопровождается и взаимообуславливается эмоциональной компонентой:

$$imp_{B^I}^{(k)} = F[П_{max}^{*}\left(\Delta S_t^{(k)}\right), Д_{S_t}^{(k)}(t), Э^{(k)}], \tag{2.4}$$

$$П_{max}^{*} = F\left[\Delta S_t^{(k)}, J_{\Sigma}^{(ЛПР_k)}\right], \tag{2.5}$$

где $\mathrm{imp}_{\mathrm{B^I}}^{(\mathrm{k})}$ – импульс волевого уровня психической деятельности диспетчера УВД;

$\Pi_{\max}^{*}(\Delta \mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{(\mathrm{k})})$ – предполагаемая наибольшая польза от изменения ДВО $\Delta \mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{(\mathrm{k})}$ или оцениваемый k-ым диспетчером УВД эффект, согласно комплексному показателю эффективности его деятельности $\mathrm{J}_{\Sigma}^{(\mathrm{ЛПР_k})}$;$\mathrm{Д}_{\mathrm{S_t}}^{(\mathrm{k})}(t)$ – дефицит времени при УВД, ощущаемый k-ым диспетчером УВД;

$\Delta \mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{(\mathrm{k})} = (\mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{*(\mathrm{k})} - \mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{\prime(\mathrm{k})})$ – предполагаемое изменение ДВО, как функция от способности k-го диспетчера проецировать понятийную информацию о ДВО $\mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{\prime(\mathrm{k})}$ в предполагаемое по РФА развитие $\mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{*(\mathrm{k})}$;

$\mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{*(\mathrm{k})}$ – предполагаемое k-м диспетчером УВД развитие ДВО ($\mathrm{S_t}$);

$\mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{\prime(\mathrm{k})}$ – «понятийная» ДВО или состояние ДВО, которое формирует ЛПР согласно фактическому состоянию ДВО $\mathrm{S_t}$ посредством НИК;

$\mathrm{Э}^{(\mathrm{k})}$ – эмоция;

$\mathrm{J}_{\Sigma}^{(\mathrm{ЛПР_k})}$ – комплексный показателю эффективности деятельности ЛПР.

Реализация принятого решения – это РФА в форме сообщений и управляющих команд, которые передаются экипажам ВС, либо другим заинтересованным, и контроль их получения и выполнения (2.6):

$$\mathrm{z}^{(\mathrm{k})} = \mathrm{Z}^{(\mathrm{k})}[\mathrm{m}^{(\mathrm{k})}, \mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{\prime(\mathrm{k})}, \mathrm{u}^{(\mathrm{k})}]. \qquad (2.6)$$

$\mathrm{z}^{(\mathrm{k})}$ – внешняя деятельность (поведение) k-го диспетчера УВД, как функция от $\mathrm{m}^{(\mathrm{k})}$ – его мотивационных тенденций при некотором «понятийном» состоянии ДВО ($\mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{\prime(\mathrm{k})}$) и команд - $\mathrm{u}^{(\mathrm{k})}$.

Дополнительный импульс $\mathrm{imp}_{\mathrm{B^{II}}}^{(\mathrm{k})}$ будет определятся расхождением или совпадением результатов наблюдения фактических параметров ДВО, как результата действий, с предполагавшимся результатом $\mathrm{S}_{\mathrm{t}}^{*(\mathrm{k})}(\mathrm{u}^{*(\mathrm{k})})$.

Последовательности обобщенных описаний ситуаций и решений, выполненные или предназначенные для реализации на ближайших шагах $\mathrm{n} = \overline{1, \mathrm{N}(\mathrm{m}^{(\mathrm{k})})}$ образуют уровень планов.

Обобщением планов станут семантические представления или смыслы, композицию которых (2.7) во многом определяет эмоциональная компонента:

$$Y_u^{(k)} = \sum \begin{pmatrix} y_{u_k}^{(k)}(S_t^{(k)}, u_t^{(k)}), \\ y_{u_{k+1}}^{(k)}(S_{t+1}^{(k)}, u_{t+1}^{(k)}) \dots \\ \dots y_{u_{k+n}}^{(k)}(S_{t+n}^{(k)}, u_{t+n}^{(k)}) \end{pmatrix} dЭ\left(\Phi^{(k)}\right), \quad (2.7)$$

$Y_u^{(k)}$ – семантические (смысловые) обобщения серии связанных смысловых конструкций «ситуация-решение» на нескольких шагах;

$Э\left(\Phi^{(k)}\right)$ – эмоциональная компонента психической деятельности К-го диспетчера, формирующая психофизиологическое ощущение успешного ППР.

Переходы от смысловых представлений и намерений к их реализациям можно отнести к категории поведенческих стратегий $Z_{УВД}^{(k)}[z^{(k)}, M^{(ЛПР_k)}, J_\Sigma^{(ЛПР_k)}, Э], ]$.

При этом верхним уровнем в модели принятия решений выделяется процедурный уровень, на котором формируются правила обобщения и порождения при межуровневых переходах.

Такой подход способствует построению наиболее полных алгоритмов, необходимых для всестороннего анализа процессов, сопутствующих визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД, при их моделировании на каждом этапе функционирования системы УВД, а также построению оценок эффективности. Это в дальнейшем создает возможность корректной формулировки задач по приведению системы УВД к рациональному состоянию.

Заметим, свойственная процедурному уровню рефлексия отчетливо указывает на последовательную смену состояний деятельности диспетчера при ППР – $E_i^{(k)}(S^{(k)}(t))$ – в момент времени t при некотором состоянии ДВО $S^{(k)}(t)$. В общем случае диспетчер может находится в следующих основных состояниях [75]: $E_0^{(k)}(S^{(k)}(t))$ – деятельность, несвязанная с УВД – как характерные для психики отвлечения внимания, так и целенаправленные действия по ОВД кроме УВД; $E_1^{(k)}(S^{(k)}(t))$ – восприятие данных о ДВО и выработка информационного образа;

$E_2^{(k)}(S^{(k)}(t))$ – переработка и анализ получаемой информации; $E_3^{(k)}(S^{(k)}(t))$ – принятие решения; $E_4^{(k)}(S^{(k)}(t))$ – действия по реализации принятого решения; $E_5^{(k)}(S^{(k)}(t))$ – действия по ведению процедурного контроля; $E_6^{(k)}(S^{(k)}(t))$ – действия по ведению пультовых операций, связанных с РЛК.

Тогда диаграмма переходов из одного состояния в другое с учетом многоуровневой модели принятия решения представляется следующим образом (Рисунок – 2.4.). При этом не трудно заметить, что состояние восприятия характеризуется наиболее частым обращением у ЛПР.

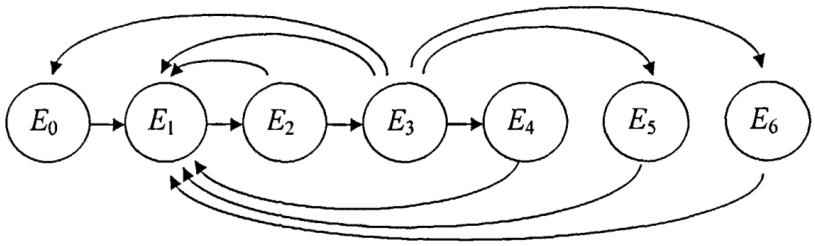



Рисунок 2.4 – Диаграмма переходов состояний ЛПР при УВД (Е0 – деятельность, не связанная с УВД; Е5,6 – состояния процедурного и радиолокационного контроля) [75]

Процесс перехода k-го ЛПР из одного состояния в другое является случайным процессом с дискретным множеством состояний $\{E_0^{(k)}\left(S_t^{(k)}\right), E_1^{(k)}\left(S_t^{(k)}\right), \dots, E_6^{(k)}\left(S_t^{(k)}\right)\}$. Вероятности переходов из состояния в состояние $P_{ij}^{E}(t, t+\Delta t)$ зависят от многих факторов:

- от состояния ДВО - $S_t$;

- от предыстории процесса перехода из одного состояния в другое;

- от комплексной характеристики состояния k-го ЛПР $\left(\Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t\right)$ и его стратегий $Z_{УВД}^{(k)}$;

- от количества, вида и формы предоставляемой информации о ДВО и навыка ЛПР овладения ситуационной осведомленностью при помощи этой информации.

### 2.2.2. Модель информационного обеспечения диспетчера УВД с учетом сложности динамической воздушной обстановки

Известны исследования, различные подходы к определению сложности УВД/ДВО в АС УВД, а также алгоритмы категоризации человеком сложных событий [22, 26, 36, 37, 66, 84, 103, 109, 132, 134, 137, 139, 140, 142, 143, 145].

Для практических целей службы воздушного движения в ходе аналитического исследования задачи классификации временных интервалов, на которых целесообразно применение средств поддержки принятия решений (СППР) при УВД, включая комплекс средств визуализации элементов ДВО, группой экспертов, состоящей из 33 действующих диспетчеров по УВД Минского РДЦ установлено (Рисунок – 2.5) [78]:

- в штатных условиях работы диспетчера УВД существует зона стресса в принятии решения при УВД, связанная с появлением и нарастанием дефицита времени, в период которой существенно снижаются показатели его эффективного функционирования (количество пропусков операций, последовательное исполнение технологии работы, время принятия решения и проч.) – что увеличивает возможность ошибки и, соответственно, снижает безопасность полётов;

- существует временная точка входа в зону стресса по временному дефициту принятия решения ($t_{\text{н.з.с.}}^{(k)}$ начала зоны стресса);

- существует зона ощущаемого временного дефицита и, соответственно, момент – $t_{\text{з.о.д.}}^{(k)}$ – начала зоны ощущаемого дефицита;

- существует зона неявных оценок развития ПКС и, соответственно, момент – $t_{\text{з.н.о.}}^{(k)}$ – конца зоны неявных оценок).

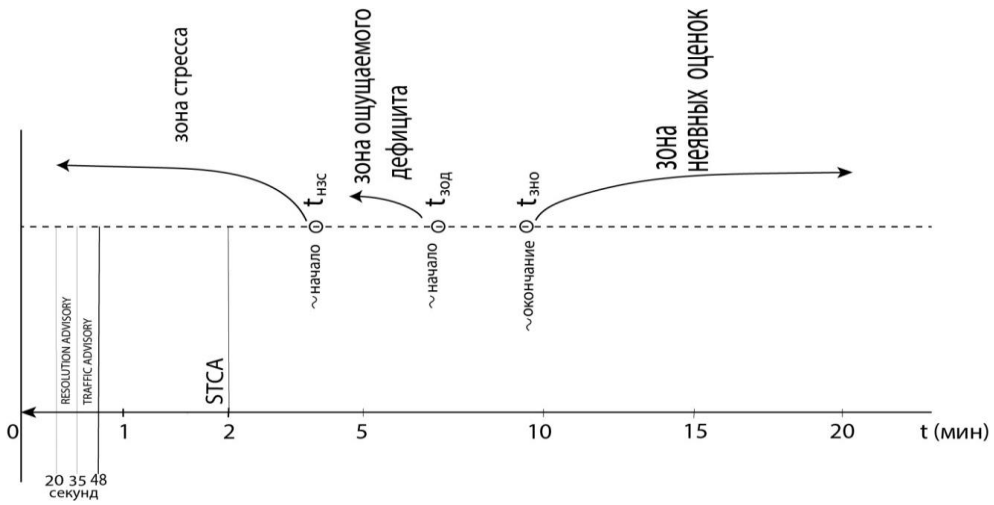



Рисунок 2.5 – Классификация временных интервалов реализации функций диспетчера УВД по разрешению ПКС и КС в отношении ВС на сходящихся курсах [собственная разработка в [78]]

Зона неявных оценок развития ПКС начинается при обнаружении определённой ПКС и продолжается до момента субъективной её оценки, как очевидной КС, при этом не вызывает сомнения факт необходимости траекторного изменения с целью обеспечения безопасного, регулярного и экономичного движения в рамках надлежащего исполнения своих функций диспетчером УВД.

Зона ощущаемого дефицита времени наступает, когда в силу тех или иных обстоятельств пройден момент ранее определённого времени выдачи команды траекторного управления, либо когда определение очевидного КС происходит в близости к границам срабатывания предупреждения STCA, либо когда оценка времени наступления неблагоприятного события при очевидном КС менее выработанных профессиональных ключевых фрагментов деятельности, включающих способность выделять существенные информативные признаки изменения ДВО и критических изменений состояний ВС, а также извлекать из памяти соответствующее этим признакам сведения и осуществлять процесс принятия решений по исполнению своих функций по УВД [47,50, 56, 67, 126].

Также установлено:

- точки входа/выхода из каждой зоны изменяют свои значения от факторов, создающих дефицит времени;

- факторы, создающие временной дефицит, разделяются: по личностным показателям диспетчера (группы диспетчеров), по сложности среды, выполнения функций по УВД (сложность УВД/ДВО - $\theta_{S_t}$, интенсивность ВД, ограничения и т.д.);

- действенное время выдачи команды траекторного управления находится в интервале до начала зоны стресса и после окончания зоны неявных оценок.

Последнее обстоятельство означает, что, применительно к исследованию влияния полихромии на формирование информационного образа ДВО у диспетчера УВД, в имитационные модели ДВО следует включать ПКС, располагающиеся по окончании зоны неявных оценок, но не позже начала зоны стресса: $t_{\text{н.з.с.}}^{(k)} < \tau^{(\text{ПКС})} < t_{\text{з.н.о.}}^{(k)}$, а также следует включить данное обстоятельство в форме дополнительного функционального блока М(Д) в модель ИО $k$-го диспетчера УВД при конструировании конкретных ДВО – $S_t^C$ со способом отображения – С (Рисунок – 2.6 и Приложение 2).

Основные значимые факторы сложности УВД были разделены на два типа влияния: фактор среды – $f_1$ – и фактор ПКС – $f_2$ (например, от 0 до 3 ПКС одновременно). Факторы среды группируются по типам ограничений в деятельности диспетчера по УВД.

Первая группа ограничений с 3-мя составляющими: метеорологическая, ведомственная и процедурно-технологическая; вторая – ограничения координации; третья – технические ограничения; четвёртая – необходимость голосового обмена данными (при отказе OLDI) и пятую – человеческий фактор. Всего 11 параметров, согласно Приложению 2.

Модель сложности ДВО можно представить в следующей форме (2.8):

$$\theta_{S_t} = F(N_{\text{вс}}^{S_t}, \sum_{i=1}^{2} f_i), \tag{2.8}$$

где $\theta_{S_t}$ – сложность ДВО;

$N_{\text{вс}}^{S_t}$ – количество ВС при состоянии ДВО - $S_t$;

$\sum_{i=1}^{2} f_{\text{i}}$ – суммарный фактор среды и наличия ПКС.

Уровень сложности определялся по семи бальной шкале оценки: низкая 0-3 балла, умеренная 4, 5 балла, высокая – 6 баллов, 7 баллов - высокая экстремальная.

Основной полученный вывод: до 6 ВС одновременно на УВД практически любой набор параметров не превышает характеристик умеренной сложности (за исключением 3 ПКС и всех факторов одновременно); при 12 ВС на УВД переход от умеренной сложности к высокой сопровождается троекратным ростом влияния фактора ПКС на сложность и двукратным уменьшением фактора среды; при 18 ВС – умеренная сложность сопровождает весь процесс УВД при двукратном росте влияния фактора ПКС на сложность во время перехода к характеристикам высокой сложности и постоянном росте влияния фактора среды.

Данное обстоятельство для задач визуализации объектов управления в ЧМИ и конструирования конкретных $\text{S}_{\text{t}}^{\text{C}}$ также следует включить в модель ИО диспетчера УВД в форме функционального блока $\Phi_k(\theta_{\text{S}_{\text{t}}})$ (Рисунок – 2.6 и Приложение 2), куда будет включена и сложность ДВО $\theta_{\text{S}_{\text{t}}}^{\text{C}}$ при определённом способе отображения информации в имитационной модели – С: $\theta_{\text{S}_{\text{t}}} = F(\text{N}_{\text{ВС}}^{\text{S}_{\text{t}}^{\text{C}}}, \sum_{i=1}^{2} f_{\text{i}}, \text{C})$.

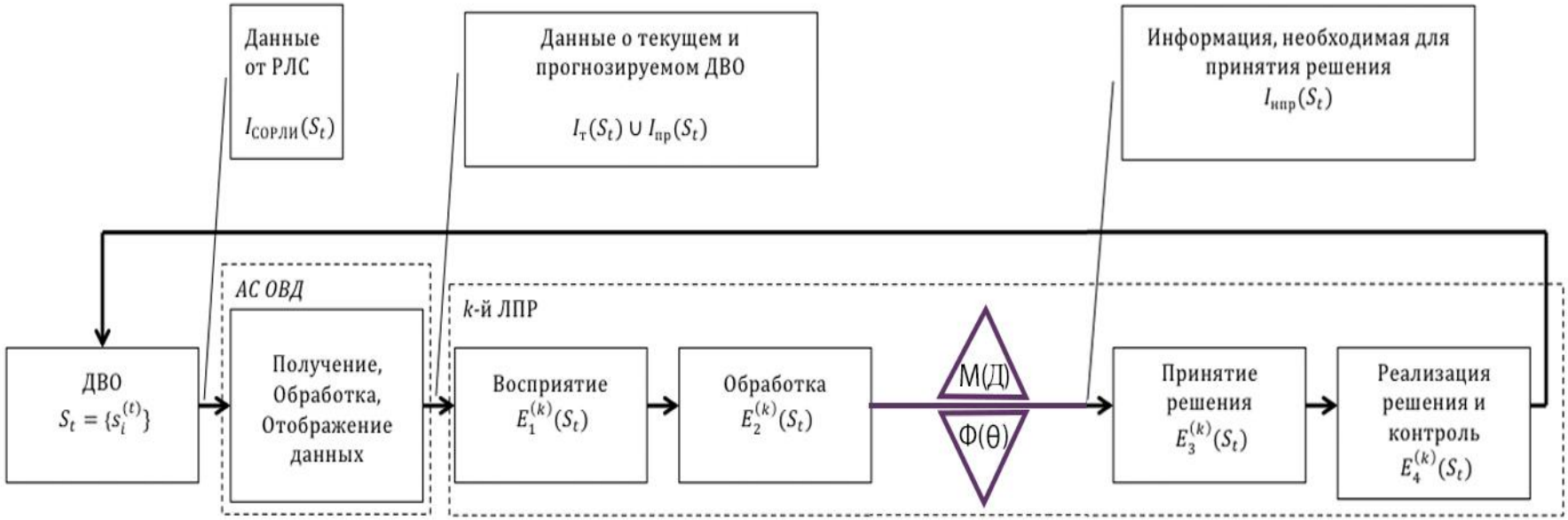



Рисунок 2.6 – Дополнительные функциональные блоки в модели ИО диспетчера УВД для задач конструирования ситуаций ДВО [собственная разработка на основе [75]]

### 2.2.3. Алгоритм конструирования ситуаций УВД с заданным уровнем сложности ДВО

На Рисунке – 2.7 изображен алгоритм конструирования ситуаций УВД (далее – Алгоритм) при помощи разработанных дополнений к существующей модели ИО диспетчера УВД в виде функциональных блоков сложности УВД/ДВО и факторов дефицита. Алгоритм дает возможность получить ситуации УВД с заданным уровнем сложности ДВО для решения прикладных задач разработки цветографических решения ИО диспетчера УВД.

Для использования алгоритма приведем описание его элементов при конструировании ситуаций УВД с заданным уровнем сложности ДВО, которое основано на практике проектирования имитационных моделей ДВО.

Для конструирования ситуаций УВД с заданным уровнем сложности ДВО требуется:

1) Постановка задачи конструирования ситуации ДВО.

2) Определение участвующих элементов (радиолокационные метки ВС, формуляры сопровождения, картография и пр.).

3) Определение геометрических границ зоны ответственности УВД, площади, масштаба и соразмерности графических элементов.

4) Определение требуемых для исследования уровней сложности (например, проведения анкетирования, привлечением экспертов – Приложение 1).

5) Определение количества участников – интенсивность (плотность) ВС в зоне ответственности и их взаиморасположения согласно компонентному составу дополнительного функционального блока сложности в модели ИО диспетчера УВД (Приложение - 2) и определенного в п.4 уровня сложности.

А. Следует сконструировать несколько групп ситуации ДВО, различающихся по количеству ВС (например, от максимальной пропускной способности диспетчера УВД со снижением интенсивности на треть – полчиться 3 группы интенсивности);

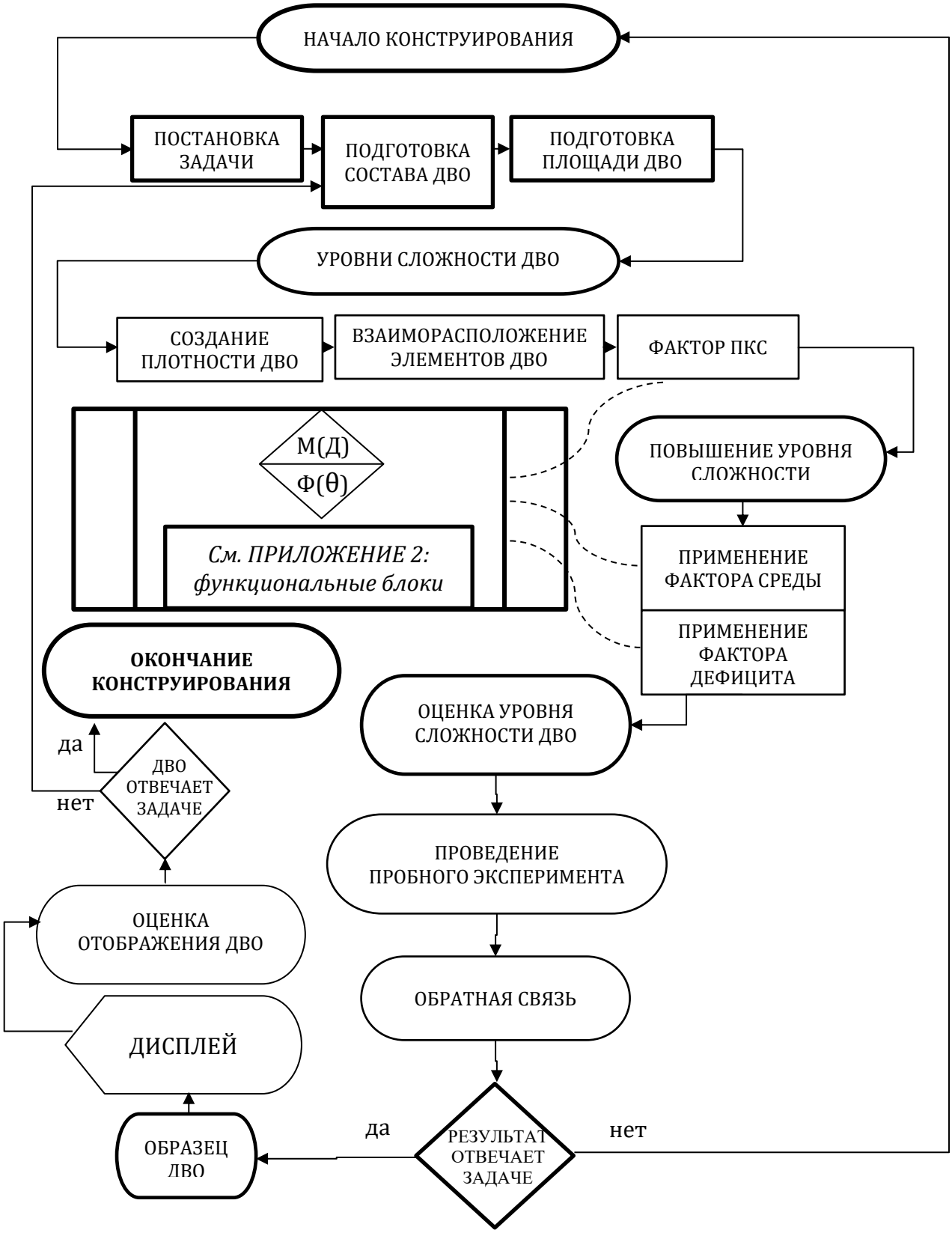



Рисунок 2.7 – Алгоритм конструирования ситуаций УВД с заданным уровнем сложности ДВО для разработки цветографических решений ИО диспетчера УВД [собственная разработка]

B. Расположить метки ВС с формулярами сопровождения в границах зон ответсвенности с заданием соответсвующих высот полета, с отображением в формулярах сопровождения;

C. Расположить требуемое количество ВС на пересекающихся/встречных курсах на одной высоте полета или задать параметры изменения высоты полета для создания потенциальных ситуаций сближения.

Рекомендации:

- при высокой плотности объектов в зоне – ПКС, располагающиеся на большем расстоянии, вызывают большую сложность восприятия, поэтому следует совмещать долгосрочные и среднесрочные ситуации сближения;

- использование краткосрочных конфликтов со срочностью менее 3 минут полета не целесообразно.

6) Создание различных уровней сложности при использовании фактора среды. Моделируются ограничения в ДВО, согласно Приложения 2. Усложненные ДВО оцениваются по анкетированию Приложение 1.

7) Создание дефицита в ситуациях ДВО (Приложение 2).

A. Дефицит по фактору времени создается включением дополнительных заданий в процесс анализа ДВО (например, перемножения цифр или диктант сообщений);

B. Дефицит по фактору информации осуществляется созданием препятствий восприятия элементов ДВО (например, близким расположением нескольких меток, перекрытием формуляров сопровождения между собой или ограничениями в ДВО).

8) Оценка различных уровней сложности при использовании факторов дефицита и факторов среды.

9) Проведение пробного эксперимента в эксперт-группе.

10) Сбор информации, отзывов, оценка результатов об образце ДВО.

11) Вывод образца ДВО на дисплей диспетчера УВД.

12) Оценка изображения по светопередаче, изменению сложности в силу искажений. Определение внешних условий проведения эксперимента и пр.

13) При положительной оценке получение имитационной модели ДВО с заданным уровнем сложности.

Представленной последовательности действий оказалось достаточно для решения задач конструирования 18 имитационных моделей ДВО с настающим уровнем сложности при исследовании методов полихромии в высотном признаке взаиморасположения ВС в ЧМИ АС УВД.

Отдельной задачей при визуализации ДВО с заданным уровнем сложности является оценка разработанных цветографических решений ИО диспетчера УВД по выбранным методам.

## 2.3. Методы оценки цветографических решений информационного обеспечения диспетчера УВД

### 2.3.1. Метод сравнения реального и идеального информационного обеспечения диспетчера УВД

В качестве идеального рассматривается такое ИО, при котором этапы восприятия и обработки данных минимизированы настолько, что ЛПР используются только те данные, которые необходимы непосредственно для принятия решения [75].

Т.е. представляется некоторое ИО, в котором из всей совокупности находящихся на управлении ВС отображаются только те, которые нуждаются в управлении в данный момент времени. Подобный принцип реализован при идентификации ПКС в окне среднесрочных конфликтов ВС.

Недостатком существующего, реального ИО АС УВД является то, что диспетчеру требуется перерабатывать представляемую ему основную текущую и прогнозируемая машинными средствами информация о ДВО, а также

дополнительную информацию для получения непосредственно необходимой для ППР информации (2.9).

$$I_{ппр}\left(S(t), \zeta_{\Lambda}(t), U_{S_t}^{(k)}\right) = F^{(k)}\left((I_o(S(t), \zeta_{\Lambda}(t), U_{S_t}^{(k)}) \cup I_{д}(S(t), \zeta_{\Lambda}(t))\right), \quad (2.9)$$

где $S(t)$ – состояние ДВО;

$U_{S_t}^{(k)}$ – РФА при ППР в $S(t)$;

$I_{ппр}$ – информация, требуемая для ППР;

$I_o$ – основная информация для ППР (текущая ДВО и проноз развития программными средствами АС УВД);

$I_Д$ – дополнительная информация, необходимая для ППР.

$F^{(k)}(\dots)$ – функция переработки информации (данных) k-м ЛПР. Разные ЛПР могут использовать разные алгоритмы переработки информации в зависимости от их $\Phi^{(k)}(t)$, а также предпочтений или индивидуально ожидаемой ценностью.

$\zeta_{\Lambda}(t)$ – вид информации (данных) о состоянии ДВО (например, данные о параметрах движения – метки, формуляры; границы зоны ответственности, визуальные обозначения маршрутов и параметры отклонения траекторий движения, метеорологические графические или буквенные данные, информация дисплея потенциально-конфликтных ситуаций).

Модель ИИО позволяет увидеть, в чем заключаются недостатки существующего ИО, и разработать более совершенное, оптимальное ИО» [75].

Графическая интерпретация задачи оптимизации ИО представлена на Рисунке – 2.8, где W – множество элементов, которые теоретически могут быть отображены на дисплее (знаки, геометрические фигуры и т.п.); FR – множество мест на дисплее для элементов W; Col – множество цветов, которые возможно применить к W. Тогда информационное пространство, с помощью которого обеспечивается отображение ДВО на дисплее, можно представить как $IP = W \times FR \times Col$. Точка $A \in IP$– это подмножество множества IP, представляющее конкретное изображение ДВО в момент времени t. Задача оптимизации реального ИО состоит в том, чтобы найти такую точку $A_{opt}(S(t)) \in IP$, которая была бы в

максимальной степени близка к точке $A_{ИИО}(S(t))$ [75].

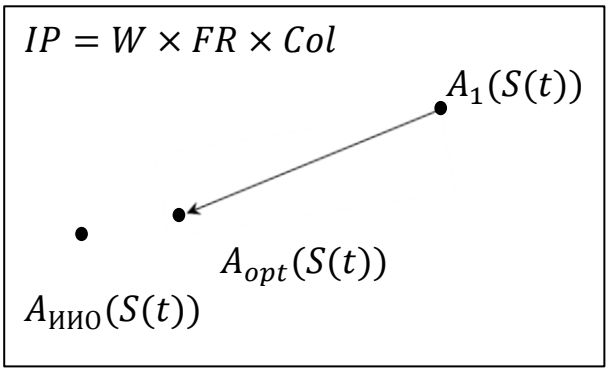



Рисунок 2.8 – Графическая интерпретация задачи оптимизации реального ИО (IP – информационное пространство ЧМИ; А – изображение ДВО) [75]

При исследовании положения точки $A_1$ в информационном пространстве IP относительно $A_{opt}$ следует учесть, понятие реципрокности процессов УВД. Выбор термина «реципроксность» связан с тем, чтобы как можно более объемно выразить связь процессов, имеющих противоположную функциональную направленность.

**Реципроскность** (лат. reciprocus — возвращающийся, обратный, взаимный) — один из физиологических механизмов координации деятельности нервных центров, обеспечивающий взаимное, противоположно направленное регулирующее влияние на функции органов и тканей [2]. Например, возбуждение группы мотонейронов, вызывающих сокращение мышц-сгибателей, сопровождается реципрокным торможением другой группы мотонейронов, что приводит к расслаблению мышц-разгибателей. Так, механизм смены вдоха и выдоха включает реципроксность между инспираторным и экспираторным центрами. Реципроксность характерна для центров голода и насыщения.

Механизм реципрокной иннервации скелетных мышц был впервые объяснен учеником И. М. Сеченова П. А. Спиро (1874) и детально проанализирован английским физиологом Ч. Шеррингтоном (1906).

Применительно к процессам УВД, реципроксными отношениями могут характеризоваться параметры, **основанные на времени,** а также некоторые

другие. Например, вероятность правильного решения $P(u_{S_t}^{(k)})$ и временной дефицит $Д_{S_t}^{k}(t)$ (2.10) при запасе времени на выполнение операций УВД - $\Delta t_{u_{S_t}}^{(k)} \to 0$; время принятия решения $\tau_{s_t}^{(k)}$ и актуальность информации о ДВО $I_{S_t}^{\prime(k)}$; актуальность информации о ДВО и сложность ДВО $\theta_{S_t}^{C}$, как составная часть сложности УВД $\theta_{S_t}$ (функция от числа независимых переменных – факторов, определяющих условия и модели деятельности); время принятия решения, временной дефицит и психо-физиологическое состояние, квалифицированность диспетчера ОВД и т.п. Применительно к средствам обеспечения информацией диспетчера в АС и визуально-когнитивной составляющей УВД, эргономика рабочего места, качество ИО совместно со средствами визуальной коммуникации, стимулирующими рациональное восприятие и детектирование данных о ДВО состоят в реципроксных отношениях с вероятностью пропусков восприятия объектов управления (что отмечено в практике УВД присутствием невыявленных ПКС, которые имеют прямое отношение к полноте информационного образа, т.е. соответствие реальной ДВО, и как следствие с усвоением информации и временем формирования информационного образа ДВО $t_k^{I_{S_t}}$, сложностью ДВО).

Важно добавить, что понятие дефицита при УВД (2.10) (который может быть связан, как с нехваткой времени, так и нехваткой информации) следует рассматривать как составную функцию, складывающуюся из дефицита каждого этапа процесса ППР (2.11) [78]:

$$Д_{S_t}^{(k)} = F[\theta_{S_t}, \Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t), I_{S_t}^{\prime(k)}/\Delta t_{u_{S_t}}^{(k)}, ], \quad (2.10)$$

$$\Sigma Д_{S_t}^{(k)} = Д_{S_t}^{(\text{восприятия})} + Д_{S_t}^{(\text{ППР})} + Д_{S_t}^{(\text{РФА})} + Д_{S_t}^{(\text{контроль Решения})}, \quad (2.11)$$

$Д_{S_t}^{(k)}$ – дефицит при УВД, как функция от взаимообусловленных параметров;

$\theta_{S_t}$ – сложность УВД/ДВО;

$\Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t)$ – психофизиологическое состояние k-го диспетчера УВД;

$I_{S_t}^{\prime(k)}$ – информация понятийной ситуации УВД у k-го диспетчера УВД;

$\Delta t_{u_{s_t}}^{(k)}$ – запас времени на выполнение технологических операций по УВД k-ым диспетчером УВД.

Присутствие дефицита при УВД может означать для диспетчера не только нарастание напряженности функционирования, связанной с возрастанием психофизиологических затрат, но и изменением ожидаемой ценности решений вместе с изменениями стратегий его поведения, включая визуально-когнитивную составляющую (например [22], при высоком уровне дефицита диспетчер склонен к внесению компенсирующих его интервалов уже при глазомерной оценке взаиморасположения ВС) [125, 127, 128].

### 2.3.2. Метод вектор-функционала характеристик личностного фактора диспетчера УВД

Для оценки изменений индивидуальных ценностей ЛПР в зависимости от получаемой информации в средствах отображения АС УВД, вводится, согласно [54, 56], пространство характеристик личностного фактора $\mathbf{L_\Lambda}$. Важнейшими компонентами $L_\Lambda$ являются:

- $p_i^{(k)} \in L_p^{(k)} -$ вероятности выбора решений $U_i^{(k)}$ ( $i = \overline{1, n_u^{(k)}} -$ число решений, образующее области допустимых решений $L_U^{(k)}$), соотнесенных с областью $L_X^{(k)}$ предполагаемых k-ым ЛПР результатов развития ДВО – $S_j^{*(k)}$, и получаемых в действительности – $S_j^{(k)}$, где $j = \overline{1, n_S^{*(k)}}$ – число результатов;
- $J_{ij}^{(\upsilon,k)}$ – показатели эффективности, оценивающие принятые решения и достигнутые результаты по $\upsilon = \overline{1, \mu_k}$ – числу частных показателей эффективности k-го ЛПР;
- $M_j^{(k)} \in L_M^{(k)} -$ мотивация, формирующая область – $L_\Psi^{(k)}$ – индивидуальных ценностей каждого j-го результата для каждого k-го ЛПР – $\Psi_j^{(k)}$.

Объединение компонент пространства характеристик личностного фактора диспетчера УВД образует вектор-функционал характеристик личностного фактора, что дает возможностью определять его количественную меру (2.12):

$$\vec{V}_r^{(k)} = \vec{V}_r^{(k)}(p\left(s_r^{(k)}\right), J\left(s_r^{(k)}\right), M(s_r^{(k)})), \qquad (2.12)$$

где $\vec{V}_r^{(k)}$ – вектор-функционал характеристик личностного фактора диспетчера УВД;

r – число учитываемых ситуаций УВД;

$s_r^{(k)}$ – частная понятийная ситуация УВД из набора информационных комплексов k-го диспетчера УВД.

Это обстоятельство позволяет ввести меру характеристики понятия информационного обеспечения ППР, так как основным «потребителем» информации в системе является k-е ЛПР – диспетчер УВД (2.13):

$$\left.\begin{array}{c} p_i^{(k)} = f_i^{(p)}\left[U_i^{(k)}, S_j^{(k)}, s_r^{(k)}\right];\ \sum_{i=1}^{n_k} p_i^{(k)} - 1 = 0; \\ p_i^{(k)} \geq 0 \\ J_{ij}^{(\nu,k)} = f_{ij}^{(\nu,k)}\left[U_i^{(k)}, S_j^{(k)}, s_r^{(k)}\right];\ \sum_{\nu=1}^{\mu_k} J_{ij}^{(\nu,k)} - 1 = 0; \\ J_{ij}^{(\nu,k)} \geq 0 \\ M_j^{(k)} = f_j^{(M)}\left[U_i^{(k)}, S_j^{(k)}, s_r^{(k)}\right];\ \sum_{j=1}^{n_s^*} M_j^{(k)} - 1 = 0; \\ M_j^{(k)} \geq 0 \end{array}\right\} \in L_\Lambda \Leftarrow A_1, \qquad (2.13)$$

где f – функциональная зависимость компонент простанства характеристик личностного фактора диспетчера УВД от выбранного параметра;

$U_i^{(k)}$ – принимаемое решение k-ым диспетчером УВД в форме РФА;

$S_j^{(k)}$ – результат развития состояния ДВО после выдачи РФА;

$s_r^{(k)}$ – одна из r-количества понятийных ситуаций УВД;

$L_\Lambda$ – пространство характеристик личностного фактора диспетчера УВД;

$A_1$ – графическое представление ДВО в ИО, посредством которого диспетчер УВД реализует решения $U_i^{(k)}$.

Для того, чтобы предложить оценку значений $\vec{V}_r^{(k)}$ необходимо учесть, что

решения, принимаемые двумя разными ЛПР на одном и том же уровне системы в одной и той же ситуации $s_r^{(k)}$, могут быть различными, более того, они различны в разные моменты времени и для одного и того же ЛПР в силу стохастичности природы его характеристик.

В качестве наиболее адекватной оценки $\vec{V}_r^{(k)}$ можно предложить осредненную свертку (2.14) вида [54]:

$$V_r^{(k)} = \sum_{\nu=1}^{\mu_k} \omega_\nu^{(k)} \sum_{j=1}^{n_S^{*(k)}} \sum_{i=1}^{n_u^{(k)}} (p_i^{(k)}(s_r), J_{ij}^{(\upsilon,k)}(s_r), M_j^{(k)}(s_r)), \qquad (2.14)$$

где $V_r^{(k)}$ – свертка вектор-функционала характеристик личностного фактора диспетчера УВД;

$\omega_\nu^{(k)}$ – коэфф. веса $\nu$-го показателя эффективности k-го диспетчера УВД, $\sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu^{(k)} - 1 = 0;\ \omega_\nu^{k} \geq 0;$

$\upsilon = \overline{1, \mu_k}$ – число частных показателей эффективности k-го диспетчера УВД;

$i = \overline{1, n_u^{(k)}}$ – число альтернатив решений по УВД у k-го диспетчера УВД при r-ой ситуации УВД;

$j = \overline{1, n_S^{*(k)}}$ – число результатов решений, соответствующих i.

При таком подходе функционал характеризует деятельность диспетчера УВД, например, то, как диспетчера УВД преобразует обстоятельства данной ситуации $S_t^{(k)}$, возможности альтернатив $U_{ri}^{(k)}$ при эффективностях $J_{rv}^{(k)}$ и указаниях вышестоящего уровня иерархии $ЛПР_k^{(\Im+1)} \to U^{(\Im+1)}, M^{(\Im+1)}$ в индивидуальную ожидаемую ценность $\Psi_j^{(k)} \in M_j^k(s_r)$ с запаздыванием $\tau_r^{(k)}$ и психофизиологическими затратами $E_r^{(k)} \in M_j^{(k)}(s_r)$.

Так, использование свертки (2.14) позволяет оценить изменения индивидуальной ценности $ЛПР_k$ в зависимости от полученной информации, что дает возможность, в свою очередь, ввести некоторую шкалу оценки самой информации. Такой подход к оценке информации как векторной величины через оценку изменений векторной величины личностной характеристики $V_r^{(k)}$ позволяет

оценить компоненту информации, характеризующую изменения состояния объекта управления, компоненту информации, несущую инструкции по оценке событий, т.е. изменяющую «сверху» значения $J_{kv}^{(\Im)}$, и, наконец, информацию, изменяющую мотивации и индивидуальные ценности $ЛПР_k$. При этом получаемые оценки не определяются количеством переданных сигналов, а по реакции $ЛПР_k$ – изменением $V_r^{(k)}$.

Если ввести тактность работы системы УВД, то изменение уровня ценности *k*-го ЛПР по его индивидуальной шкале в ситуации $S_t$ можно представить как (2.15):

$$\Delta_r^{(k)}(\tau) = V_r^{(k)}(t+\tau) - V_r^{(k)}(t). \qquad (2.15)$$

$\Delta_r^{(k)}(\tau)$ – изменение уровня ценности для *k*-го ЛПР;

$\tau$ – временной такт работы системы УВД.

Понятно, что $\Delta_r^{(k)}(\tau)$ может оказаться и отрицательной величиной при недостатке, избыточности, ошибочности или запаздывании взаимодействия [54].

### 2.3.3. Метод повышения семантической емкости информации о динамической воздушной обстановке

Другим принципиальным направлением разработки визуально-когнитивных решений являются технико-методологические решения, перед которыми стоит задача преобразовать имеющиеся цветографические способы представления ДВО в информационной среде АС УВД с помощью повышения семантической емкости – содержательности информации, при сохранении ситуационной осведомленности диспетчера УВД [57, 150].

Семантическая емкость представляет собой отношение количества смысловой (семантической) информации к объему обработанных данных [65] (2.16):

$$SC = I_{сем}^{s_t^{(k)}}/V_t = I_{сем}/(I_{семиот} \cdot \Delta T_k), \qquad (2.16)$$

где SC – семантическая емкость (содержательность) информации;

$I_{сем}^{s_t^{(k)}}$ – количество семантической меры информации – смысла – в сообщении (точнее, в воспринятом фрагменте информационной среды, отображающим ДВО – $s_t^{(k)}$);

$V_t$ – объем обработанных данных (отображавших сообщение), который представляет актуальное количество семиотической (знаковой) меры информации для ситуации $s_t^{(k)}$, в течение определенного быстродействием k-го диспетчера интервала времени;

$I_{семиот}$ – количество семиотической (знаковой) информации;

$\Delta T_k$ – интервал времени, затрачиваемый k-ым диспетчером УВД на обработку $I_{семиот}$ и выработку смысла $I_{сем}^{s_t^{(k)}}$.

С увеличением содержательности информации растет семантическая пропускная способность информационной системы, так как для получения одних и тех же сведений требуется преобразовать меньший объем данных [32]. Что очевидно окажет положительный эффект на этапах восприятия информационной среды при ППР.

Для полихромного (С) и монохромного (0) способов представления ДВО можно записать следующее соотношение (2.17):

$$\left.\begin{gathered} I_{сем} = const \\ \Delta T_k^{(C)} < \Delta T_k^{(0)};\ I_{семиот}^{(C)} < I_{семиот}^{(0)} \end{gathered}\right\}$$
$$SC^{(0)} = \frac{I_{сем}}{I_{семиот}^{(0)} \cdot \Delta T_k^{(0)}},$$
$$SC^{(C)} = \frac{I_{сем}}{I_{семиот}^{(C)} \cdot \Delta T_k^{(C)}}, \quad (2.17)$$
$$\frac{SC^{(C)}}{SC^{(0)}} = \frac{I_{семиот}^{(0)} \cdot \Delta T_k^{(0)}}{I_{семиот}^{(C)} \cdot \Delta T_k^{(C)}},$$

где $SC^{(0)}$, $SC^{(C)}$ – семантическая емкость моно- и полихромного ДВО соответсвенно;

$I_{сем} = const$ – количество смысловой информации одинаково для одной задачи УВД в моно- и полихромной ДВО;

$I^{(0)}_{семиот}, I^{(C)}_{семиот}$ – количество знаковой информации в ДВО при монохромии и полихромии, соответственно;

$\Delta T^{(0)}_k$ , $\Delta T^{(C)}_k$ – время на обработку, соответственно, монохромной и полихромной информации диспетчером УВД.

В рамках настоящей работы предлагается разработка цветографического решения, в котором отображение установленных числовых обозначений эшелонов ВС в формуляре сопровождения производится с привязкой определенного графического и цвето-хроматического сопровождения в конкретных условиях в заведомо известных целях. Т.е. предлагается осуществить проекцию числовых данных о высоте ВС информационного пространства отображения ДВО в пространство цвето-хроматической когнитивной перспективы человека [40, 79]. Технически это производится привязкой определенного цвета определенному эшелону полета. Методологически же диспетчер использует различные цветовые плоскости для анализа взаиморасположения эшелон-уровней (Рисунок – 2.9).

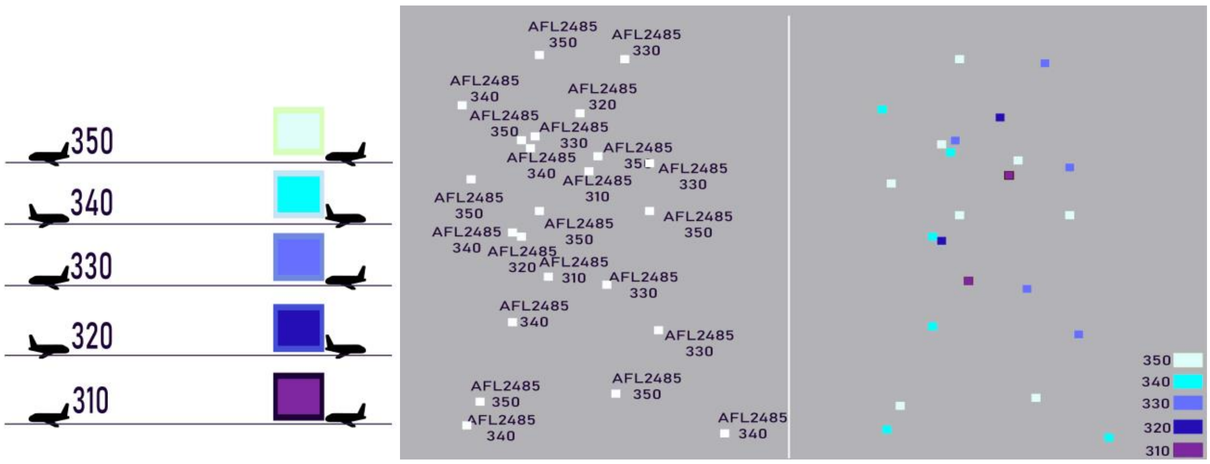



Рисунок 2.9 – Повышение семантической емкости информации о ДВО [собственная разработка]

Используя данные расчета количества знаковой информации из Глава 3, п 3.4., приведем сравнение повышения семантической емкости при полихромном (2.18) и монохромном отображении высотного признака движения ВС в зоне ответственности диспетчера УВД РДЦ, а также для частного случая без

использования формуляров сопровождения, как показано на Рисунке - 2.8. (2.19):

$$\frac{SC^{(C)}}{SC^{(0)}} = \frac{(36бит*23)\cdot(0{,}72*23)}{(31бит*23)\cdot(0{,}63*23)} = 1{,}33 \quad (2.18)$$

$$\frac{SC^{(C)}}{SC^{(0)}} = \frac{(36бит*23)\cdot(0{,}72*23)}{(2{,}6бит*23)\cdot(\frac{26бит}{50бит,с}*23)} \approx 200 \quad (2.19)$$

Отметим, что при разработке визуально-когнитивных решений должна учитываться специфика работы разных видов диспетчерских центров (районных, аэродромных, местных, управления полетами, особенности секторизации), сущность которой значительно различаться в каждом отдельном случае.

### 2.3.4. Оценка безошибочной работы диспетчера УВД при использовании полихромии в средствах информационного обеспечения на основе теории возможностей

Вероятностные характеристики ошибок диспетчера на ряду с возможностью правильного решения служат одной из мер качества функционирования анализируемых систем. Действительно, для выработки оптимальной команды управления диспетчеру УВД необходимо уметь прогнозировать развитие ДВО. Такое прогнозирование связано не только с временными затратами на рассмотрение более или менее отдаленного будущего, что ко всему прочему само по себе всегда содержит элементы неопределенности, но и вероятностью попадания развития ситуации $S_t$ в ядро множества $G^{(z^{(k)})}: \left\{S_r^{(z^{(k)})};\ r = 1, \dots, R_z\right\}$ – допустимых ситуаций совокупности состояний вектора $X_i^{(z^{(k)})}$, определяющего параметры ДВО - $x_{S_t}$(например, взаимоположении ВС в зоне с учетом выданных команд, сложность УВД, дефицит времени и т.п.), $u_{S_t}^{(k)}$ - команд ЛПР$^{(k)}$ и отражающего ситуацию $S_t$. Здесь $z^{(k)}(S_t)$ есть воздействие РФА на $S_t$ по $u_{S_t}^{(k)}$, а $i = \overline{1, n_z}$ и $r = \{1,2 \dots, R_z\}$ - конечное число таких ситуаций, для каждой из которых известна, например, функция распределения времени пребывания в ситуации r

перед переходом в состояние-ситуацию j: $F_{r_j}; F_{r_j}(0) = 0$, кроме того могут быть заданы элементы матрицы переходных вероятностей: $P = \left\| p_{r_j} \right\|$ [56].

Однако классическая теория вероятностей ограничена сферой применения, в которой справедлив закон больших чисел и действует аксиоматика А.Н. Колмогорова. Значительная, если не подавляющая часть событий в ДВО являются редко повторяющимися, и для их моделирования основные гипотезы классической теории вероятностей не выполнимы.

Также в ходе экспериментов, как правило, удается получить только ограниченную информацию о параметрах функционирования и порой уникальную для $ЛПР_k$ или коллектива $\Sigma^{(k)}ЛПР$ – в связи с особенностями протекания эксперимента.

В этих случаях закон распределения случайных величин (вероятности выхода ситуации $S_t$ из $G^{(z^{(k)})}$) неизвестен. Тогда для анализа неопределенности применяются методы на основе теории возможностей [38, 82].

В теории возможностей различают верхнее значение вероятности события $\overline{P}$ и нижнее значение вероятности события $\underline{P}$. Под событием в случае исследования деятельности диспетчера УВД в информационной среде логично понимать ситуацию выхода $S_t$ из ядра множества $G^{(z^{(k)})}$ или – $\xi_k^{S_t^c}$ – величину, характеризующую отклонение реального результата деятельности k-го субъекта от идеального, грубо говоря ошибку. Верхнее значение вероятности события $\overline{P}$ называется возможностью безошибочной работы ($R = \overline{P}$). А нижнее значение вероятности события $\underline{P}$ – необходимостью безошибочной работы ($N = \underline{P}$). Возможность ошибки характеризуется значением Q.

Также используется условие согласованности в виде (2.20):

$$N(x_{S_t}) \le P(x_{S_t}) \le R(x_{S_t}), \qquad (2.20)$$

где $P(x_{S_t})$ – вероятность ошибки при некотором параметре развития ДВО $x_{S_t}$;

$N(x_{S_t})$ и $R(x_{S_t})$ – необходимость и возможность безошибочной работы;

$N(x_{S_t}) = \underline{P}(x_{S_t})$ – нижнее значение вероятности безошибочной работы (показатель надежности);

$R(x_{S_t}) = \overline{P}(x_{S_t})$ - верхнее значение вероятности безошибочной работы.

В качестве функции распределения возможности ошибки на некотором интервале функционального параметра процесса УВД, например, $\theta_{S_t} \in [0; \Theta]$ – субъективной сложности ДВО (см. 2.2.2. Модель информационного обеспечения диспетчера УВД с учетом сложности динамической воздушной обстановки) при некотором способе отображения данных может применяться типовая функция вида (2.21):

$$\pi_\Theta(\theta) = \exp\{-[(\theta - a_\theta)/b_\theta]^2\}, \quad (2.21)$$

где $a_\theta$, $b_\theta$ – параметры распределения для $\theta < a_\theta$.

$a_\theta$ имеет смысл среднего значения сложности, при которой возникает выход $S_t$ из $G^{(z^{(k)})}$; параметр $b$, помноженный на $\varepsilon_\alpha = \sqrt{-\ln \alpha}$ по аналогии с теорией вероятности можно назвать половиной доверительного интервала. Здесь $\alpha$ – это уровень среза или уровень риска, которым при оценке задается качество функционирования диспетчера: $a = (\Theta_{max} + \Theta_{min})/2, b = (\Theta_{max} - \Theta_{min})/2\sqrt{-\ln \alpha}, \alpha \in [0,1]$.

Необходимость безошибочной работы (2.22):

$$N = 1 - Q, \quad (2.22)$$

где $Q$ – возможность ошибки, которая равна значению $\pi_\Theta(\theta < a_\theta)$, при этом $R = 1$.

Учитывая ограничения по количеству испытаний, а также условия трансцендентности деятельности диспетчера УВД при некоторой $\Theta$ (в том числе при отсутствие опыта взаимодействия со стереоскопическими данными), допускается принять $P = \underline{P} = N$, получаемую методами теории возможностей.

Применение теории возможностей в данном случае поясняется тем, что нечеткая переменная, например, сложность ДВО $\Theta$, может принять значения наперед неизвестное, мерой которой одновременно служат возможность $R(\theta)$ и необходимость $N(\theta)$ события $\Theta = \theta$.

При $\theta < a_\theta,\ R = 1,\ Q = \pi_\Theta(\theta),\ N = 1 - \pi_\Theta(\theta)$. Надежность функционирования диспетчера определяется анализом возможности безошибочной работы или с использованием математических моделей предельных состояний, например, $\tilde{\sigma}_{\text{пред}} > \tilde{\sigma}_{\text{рабочая}}$, где в качестве $\tilde{\sigma}_{\text{пред}}$ и $\tilde{\sigma}_{\text{рабочая}}$ понимаются соответственно средние значения предельных и рабочих нагрузок на k-го диспетчера по конкретному сочетанию компонентов сложности (аналогом могут послужить исследования предельных нагрузок физических систем и анализа риска при неполной информации [58]).

При этом нагрузка – это комплексная характеристика, которая может в полной мере выражаться загруженностью (включающую занятость, выраженную временными затратами на выполнение конкретных операций и решение задач УВД), психоэмоциональной напряженностью (субъективное ощущение сложности ДВО) и утомляемостью [22, 28, 53, 84].

Несмотря на то, что такой параметр как предельно допустимая загруженность диспетчера определяется достаточно точно на уровне авиационных правил [1], сама $\tilde{\sigma}_{\text{пред}}$ как и $\tilde{\sigma}_{\text{рабочая}}$ также могут считаться нечеткими переменными, невзаимодействующими между собой. $\tilde{\sigma}_{\text{рабочая}}$ измеряется в соответсвии исследуемым сочетанием ее компонентов.

При таком подходе надежность функционирования диспетчера оценивается интервалом $[R, N]$, а значение надежности P, полученное методами теории вероятностей, находится внутри интервала надежности, т.е. $N \le P \le R$. По этой зависимости можно обозначить $N = P_H$ и $R = P_B$, где $P_H$ и $P_B$ называются нижним и верхним значением вероятности. Таким образом рассматривается пессимистическая оценка, приняв для анализа функцию $P_{\text{пес}}(\theta) = N(\theta)$ и оптимистическую оценку остаточного ресурса, приняв для анализа $P_{\text{опт}}(\theta) = (N(\theta) + R(\theta))/2$.

Пересечение функции $N(\theta)$ с прямой $P = P_{\text{норм}}$ покажет предельную сложность по пессимистическому варианту $\theta_{\text{пес}}$. Пересечение $P(\theta) = (N(\theta) + R(\theta))/2$ с прямой $P = P_{\text{норм}}$ покажет $\theta_{\text{опт}}$ по оптимистическому варианту.

На Рисунке – 2.10 точки 1, 2, 3 показывают значение Q при уровнях сложности $\theta_1, \theta_2, \theta_3$. Соответственно им будет иметь значения $N_1, N_2, N_3$.

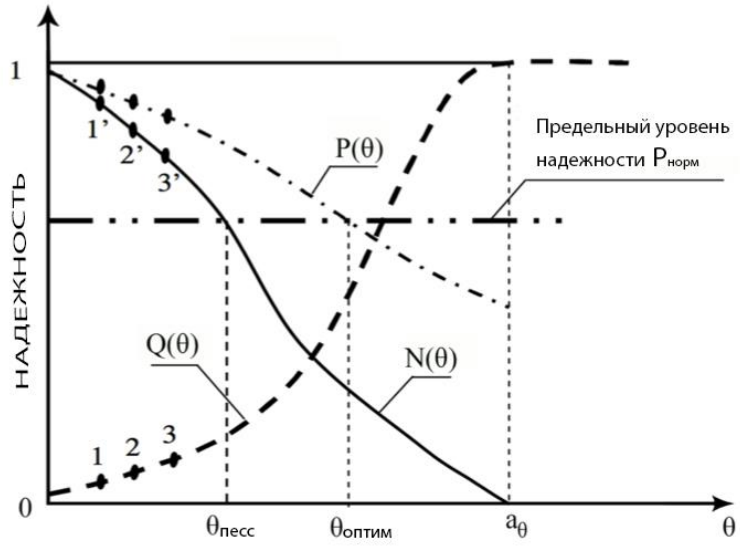



Рисунок 2.10 – Функция R, N, Q, P, N=1-Q: Q – возможность ошибки, N – необходимость безошибочной работы, P – вероятность безошибочной работы [уточненный для УВД вариант графика из [58]]

Такой подход позволяет сделать вывод о том, что даже при ограниченной точности формулировки влияния вводимых цветографических изменений и количества испытаний существует способ оценки надежности работы диспетчера УВД по возможностной модели характеристик его функционирования.

## 2.4. Показатели эффективности цветографических решений динамической воздушной обстановки

Показатели эффективности ИО диспетчера УВД обусловлены характерными особенностями процессов простейшего контура УВД такими как динамичность, флуктуация, искажения, неравномерность получения диспетчером данных о параметрах ДВО, присущие человеку ограничения по скорости и восприятию зрительного канала, возможные ошибки при получении и обработке визуальных

данных в рамках когнитивных процессов, в том числе, связанные со способом отображения данных.

Процесс формирования показателя эффективности ИО является комплексным в силу необходимости совокупного рассмотрения различной природы факторов, образующих отдельные показатели эффективности: факторы технического, информационного и психофизиологического характера [75]. Поскольку цветографические решения ДВО являются частью ИО диспетчера УВД, то аналитический разбор представленных факторов может выделить их характерные черты:

- технические – качество и достоверность отображения информации при цветографическом решении ДВО, средства и методы отображения, своевременность и актуальность поступления данных о ДВО при конкретном способе отображения;

- информационные – надежность и доступность (неопределенность поступления и отображения данных, корректность их интерпретации), тип и автоматическая классификация значимости данных;

- психофизиологические – особенности функционирования диспетчера УВД при работе с модифицированным ЧМИ АС УВД, выраженные временными показателями решения задач по УВД, а также энергозатратностью в форме регистрируемых изменений состояния организма – экспертным опросом утомляемости или сбором медицинских показателей давления, пульса и др.

С точки зрения целесообразности выбора направления проектирования важным является также и экономическая эффективность информационного обеспечения, выраженная количеством используемых финансовых, временных, административных и других ресурсов, например, в форме совокупных издержек, сопоставленная с оценкой рисков возникновения негативных ситуаций вследствие потери ситуационной осведомленности диспетчером УВД [42, 56].

Так как основным «потребителем» информации в системе УВД является диспетчер УВД, то оценка изменений его индивидуальной ценности в соответствии

с вектор-функционалом характеристик его личностного фактора от полученной информации может использоваться в качестве обобщения перечисленных аспектов оценки эффективности ИО (2.23):

$$ЭО = \frac{\sum_1^K \Delta V_k}{TC} \quad (2.23)$$

где ЭО – экономическая оценка изменений ЧМИ в АС УВД;

$\sum_1^K \Delta V_k$ – суммарное изменение ценности группы ЛПР – К – при вносимых изменениях ЧМИ;

*TC (total costs)* – суммарные издержки, используемые в экономических моделях оценки инновационных проектов.

Положительная динамика изменений индивидуальной ценности диспетчера УВД в соответствии с вектор-функционалом характеристик его личностного фактора при совершенствовании ИО АС УВД отразиться на качестве выполнения им своих функциональных операций, а значит и на снижении возможности появления рискового события. Оценка значимости рискового события (согласно [59]) имеет вид кортежа с множеством элементов, характеризующих опасность появления неблагоприятного события с предполагаемым ущербом (2.24):

$$\tilde{R} = \langle \mu, H_R | \Sigma_0 \rangle, \quad (2.24)$$

где $\tilde{R}$ – образ опасности рискового события;

$\langle \dots \rangle$ – кортеж параметров;

$\mu$ – мера (нечеткая или четкая) возможности (и неопределенности) появления рискового события, которая может определяться, например, из статистики службы движения о срабатывания предупреждений БСПС на ВС или сигнализации SSA, STCA в АС УВД;

$H_R$ – обозначение цены (величины) негативного результата в форме некоторого ущерба;

$\Sigma_0$ – комплекс условий определения и испытаний системы в пространстве событий и принятая в СУБП модель опасности.

Таким образом, некоторым приближением к оценке целесообразности разработки и изменений ЧМИ в АС УВД с позиций поставщиков аэронавигационного обслуживания выступает наиболее выгодное соотношение критериев повышения безопасности полетов и экономической составляющей модернизации ИО диспетчера УВД (2.25):

$$\text{ОЦ} = \tilde{R}_{\text{С}}/\text{ЭО}_{\text{С}}, \quad (2.25)$$

где С – способ представления ДВО в ЧМИ АС УВД;

ОЦ – элементарная оценка целесообразности при С;

$\tilde{R}_{\text{С}}$ – образ опасности рискового события при С;

$\text{ЭО}_{\text{С}}$ – экономическая оценка изменений при С.

Т.о. визуализация ДВО на основе полихромии должна рассматриваться как технология уменьшения риска неблагоприятного события за счет повышения индивидуальной ценности диспетчера УВД при сокращении времени обнаружения и пропусков ПКС, а также как способ приобретения экономической выгоды для поставщиков аэронавигационного обслуживания.

## Выводы по главе 2

Во второй главе предложены принципы и модели, используемые для построения цветографических решений информационного обеспечении диспетчера УВД, а также возможные методы оценки создаваемого ими эффекта в практической деятельности для выбора наиболее целесообразного варианта.

Стержневым принципом полихромного отображения и визуализации объектов ДВО является ориентированность на основного его пользователя – диспетчера УВД с его индивидуальной ценностью, зависящей от квалификации, опыта, психофизиологических особенностей, стратегий поведения, а также от используемых способов овладения ситуационной осведомленностью и оценки ДВО на конфликтность. Такой подход позволяет:

1. Определить набор элементов ДВО в характерных ситуациях УВД в конкретных средствах ИО диспетчера УВД, за счет которых будет решена задача улучшения ситуационной осведомленности;

2. Определить и оценить возможные способы достижения основной цели диссертации – сокращения времени восприятия элементов ДВО диспетчером УВД посредством полихромного отображения объектов в ИО;

3. Выявить возможное нежелательное влияние разрабатываемых цветографических моделей ДВО на процесс принятия решений при УВД [83, 136].

Агрегирование визуализации и конкретного функционала диспетчера УВД определяет необходимость изучения существующих моделей его информационного обеспечения, а также при необходимости их дополнения и развития. Структура моделей должна отображать как логико-функциональную декомпозицию компонентов, так и психическую составляющую деятельности диспетчера УВД при восприятии и анализе информации ДВО. Для чего в диссертации совмещаются несколько подходов к моделированию ИО:

- моделирование ИО диспетчера УВД с учетом профессионально-мотивационной составляющей деятельности согласно теории функциональных

систем;

- применение модели идеального ИО диспетчера УВД к разрабатываемых цветографических решениям ЧМИ в АС УВД;

- моделирование ИО диспетчера УВД с учетом сложности ДВО.

Использование этих подходов создает возможность корректной формулировки задач следующих этапов исследования:

a) создание информационного образа ДВО в средствах ИО при использовании полихромного отображения, а также алгоритмизация конкретного функционала по УВД (в диссертационной работе – анализа ДВО на наличие ПКС) с применением полихромии в ДВО;

b) проектирование цветографических решений при полихромной визуализации ДВО, где применим существующий опыт проектирования пользовательского интерфейса: стандарты, руководства, требования, психологические законы и свойства визуально-когнитивных процессов;

c) оценка цветографических решений ИО диспетчера УВД методами:

- сравнения идеального и реального ИО;

- вектор-функционала характеристик личностного фактора;

- повышения семантической емкости информации о ДВО в рамках возможной безошибочности работы.

Экономия времени на выполнение функций по УВД при уменьшении риска неблагоприятных событий является потенциальным источником повышения пропускной способности системы УВД. Что при соотнесении с экономической составляющей затрат на разработку и сопровождение модернизации ИО служит оценкой целесообразности визуализации ДВО на основе полихромии объектов управления.

# 3. МЕТОД ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ НА КОНФЛИКТНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦВЕТОГРАФИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИХРОМИИ

## 3.1. Создание информационного образа динамической воздушной обстановки в средствах информационного обеспечения при полихромном отображении объектов

Применение цветового отображения объектов управления вызвано необходимостью распределения актуальности и приоритетности информации в процессе принятия решений диспетчером УВД о наличии ПКС и их разрешения [8, 111].

Для ЛПР любого типа характерны ограничения по емкости кратковременной памяти, составляющей 7±2 блока структурных единиц [133], одноканальность с последовательной обработкой небольшой по объему информации, но с ассоциативной системой поиска, а также существенное влияние размерности – сложности задач [84].

Также экспериментально подтверждено, что при значениях $S(x_1, x_2, x_3) \geq 7{,}2$ поведение ЛПР становится нетранзитивным и допускающим ошибки. При этом исключить эти явления возможно, например, при выработке у ЛПР целостного образа, когда вместо учета отдельной конечной ситуации $S_T$, ЛПР «мыслит», представляет общую ситуацию (например, образ ДВО) [53].

При полихромном представлении высотного признака ВС в ДВО на плоском дисплее создаются условия для понимания или «видения», как на картах морей, глубины пространства [41], в котором осуществляют полеты ВС, каждый на своей высоте – что сокращает время на создание целостного образа ДВО и, как следствие, увеличивает время непосредственно для процесса решения задач управления.

В модели ИО диспетчера УВД (см. Глава 2. П 2.2.1) принятию решения предшествуют несколько последовательных этапов, образующих цепь создания первоначального информационного образа ДВО.

Под первоначальным образом ДВО будем понимать определенное положение вектора состояния управляемого процесса $S(t) = [s_1(t), \dots, s_n(t)]$, известное $ЛПР_k$ неточно и неполно или с достаточной полнотой и точностью с помощью измерений или интуитивно, на основании опыта, т.е. $ЛПР^{(k)}$ владеет знаниями относительно управляемого процесса на уровне представления некоторого другого вектора $Z_k(t) = \varphi[S(t), f_k]$; $Z_k(t) = [Z_{k1}(t), \dots, Z_{kn}(t)]$, где $\varphi$ – функциональная зависимость, связывающая компоненты векторов $Z_k(t)$ и $S(t)$ в условиях действия помех либо условий неопределенности, задаваемых параметром или функцией $f_k$, а также соотношением числа их компонент, при отсутствии сформулированного множества решений.

Если более детально, будем понимать обобщенные описания конкретного содержания предметных ситуаций в момент $t$ на понятийном уровне в виде наборов информационных комплексов (НИК), которые представляют собой наборы значений переменных $s_i^{(t)}$ – подробно Глава 1, п. 1.3., отражающих предметную ситуацию $S_t$, с семантическими признаками (частично известными $ЛПР_k$из контекста взаимодействия и «общения» с объектом управления, а частично создающимся на основе многократных группировок, классификаций, установлении ситуативных отношений и композиций) и функцией принадлежности $\mu_{s_i}^k$ каждой переменной к нечеткому множеству «значимости в зависимости от задач, целей, мотивов и решений, принятых ранее» деятельность. Перевод предметной ситуации в понятийную – результат деятельности интеллектуальных операторов $\Upsilon_\Sigma^k$ [74]. Принципиальная схема создания первоначального информационного образа ДВО у диспетчера УВД отражена на Рисунке – 3.1.

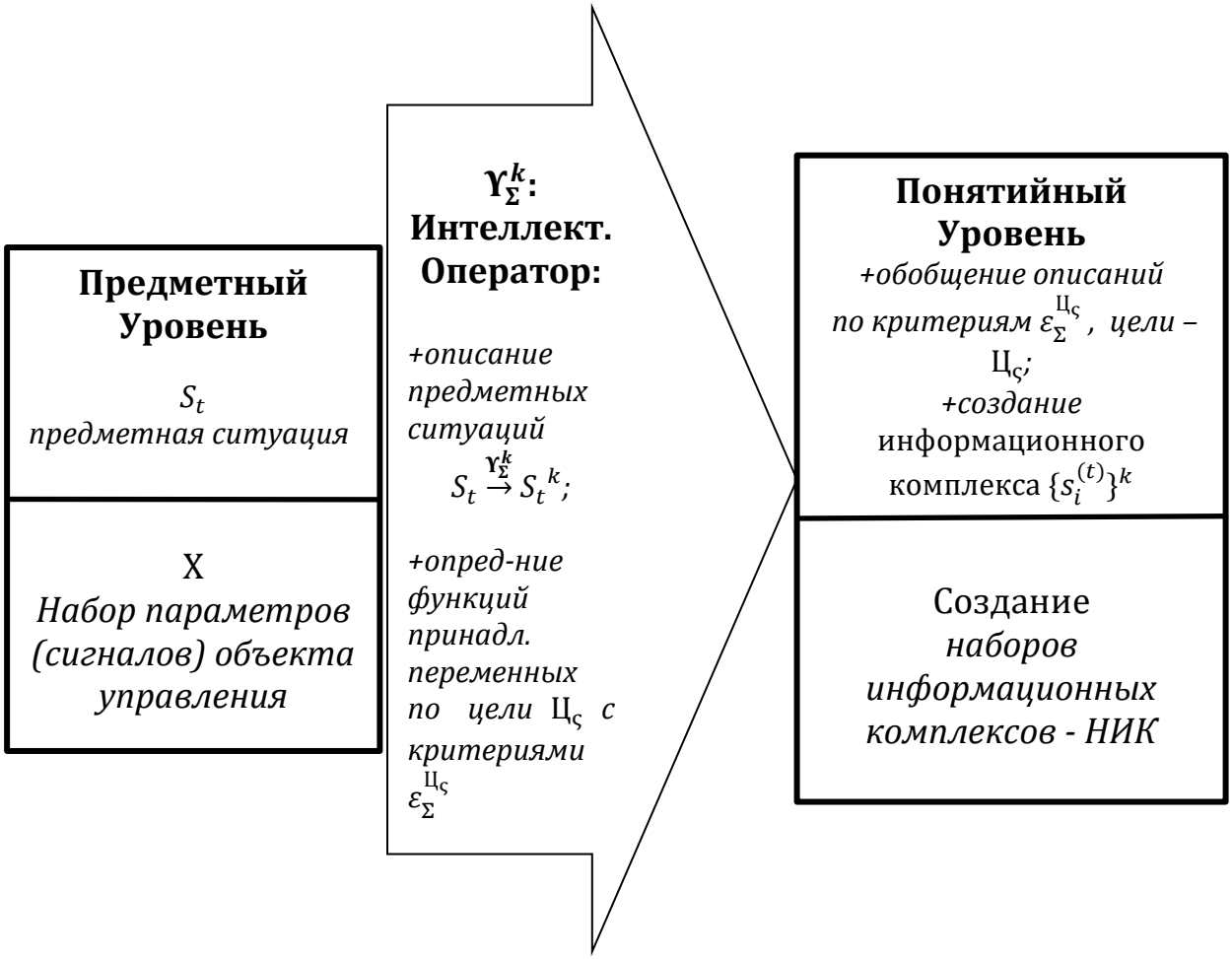



Рисунок 3.1 – Принципиальная схема создания первоначального информационного образа ДВО у диспетчера УВД

Пусть «значимость» есть лингвистическая переменная, терм-множество которой имеет два значения у $ЛПР_k$: (значимость) = {<значимо>,< не значимо>}, причем <не значимо> определяется через операцию дополнения к <значимо>, а $< \text{значимо} >^k = \mu_{s_1}^k/s_1 + \mu_{s_2}^k/s_2 + \cdots + \mu_{s_i}^k/s_i$, где $\mu_{s_1}^k$ – весовая функция, $s_i \in X \cup U \cup R \cup Ф$, а X – множество параметров (сигналов) объекта управления, U – множество, управляющих параметров, R – множество возмущений на объекте упарвления, Ф – множество физиологических, мотивационных и социально-психологических факторов, воздействующих на человека из внешнего мира (Рисунок – 3.2.).

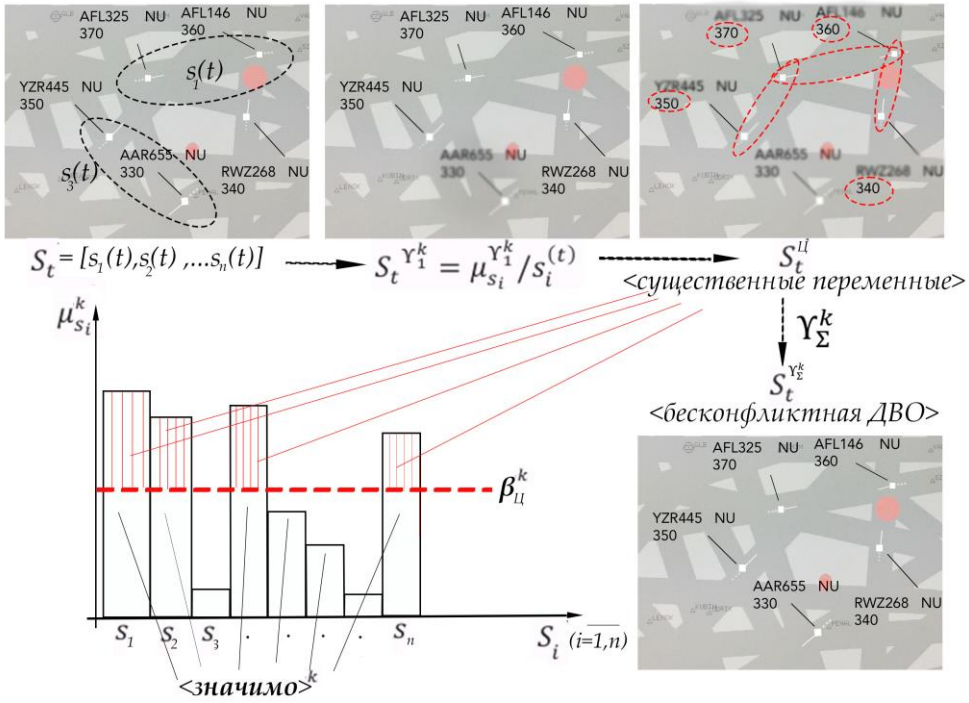



Рисунок 3.2[3] – Алгоритм работы интеллектуальных операторов при создании первоначального информационного образа ДВО

Также принято: $\mu_{s_1}^k = Q_{s_i}^k(x_1, x_2, \ldots, x_k)/Q_{max}^w$, где $Q_{s_i}^k(x_1, x_2, \ldots, x_k)$ – значение весовой функции для $ЛПР_k$, вид которой и начальные значения могут быть получены в экспериментальных исследованиях (параметры $x_1, x_2, \ldots, x_k$ ситуационные или учитывают опыт работы); $Q_{max}^w$ – максимальное значение весовых функций.

Тогда множество существенных переменных для цели $Ц_ς$, определяющей критерии его создания – $\varepsilon_\Sigma^{Ц_ς}$ (взаиморасположение в плане или по высоте, ранжирование дальности следования или категории ВС и т.п.), может быть представлено как множество $\beta_{Ц_ς}^k$ -уровня нечеткого множества «значимо» и образует субпредметную ситуацию – $S_t^{Ц_ς}$ ((3.1) и Рисунок – 3.2.):

[3] $S_t$ – состояние ДВО в момент времени t; $S_t^{Ц}$ – состояние ДВО после работы интллект. оператора $\Upsilon_1^k$, определяющего «значимые переменные» по цели УВД - $Ц_1$ – установление количества ВС в зоне ответсвенности и их взаиморасположения; $\Upsilon_\Sigma^k$ – группа интеллект. операторов.

$$< \text{существенные переменные} >^{k}_{Ц_ç} = \left\{ s_i^{(t)} \mid \{\mu^{k}_{s_i}\} \geq \{\beta^{k}_{Ц_ç}\} \right\}, \qquad (3.1)$$

где $< \text{существенные переменные} >^{k}_{Ц_ç}$ – массив параметров, составленный из множества «значимо» согласно цели $Ц_1$= «установление количества ВС в зоне ответственности и их взаиморасположения» (имеется ввиду, что ВС на расходящихся курсах или вдали от основного потока исключаются из дальнейшего анализа ДВО на конфликтность);

$s_i^{(t)}$ – частная ситуация УВД с конкретным набором параметров $\left\{x_1^{s_i^{(t)}}, x_2^{s_i^{(t)}}, \ldots, x_k^{s_i^{(t)}}\right\}$, таких что $s_i^{(t)} \in S_t$;

$\mu^{k}_{s_i}$ – весовая функция для каждого параметра из $s_i^{(t)} \in S_t$;

$\beta^{k}_{Ц_ç}$ – весовая функция для каждого параметра нечеткого множества $< \text{значимо} >^{k}$ согласно цели $Ц_ç$ (цель определяемая k-ым диспетчером УВД самостоятельно, согласно навыку и стратегии поведения);

$\{\mu^{k}_{s_i}\} \geq \{\beta^{k}_{Ц_ç}\}$ – запись означает, что входящие параметры из $s_i^{(t)}$ в терм-множество с логикой «$\beta^{k}_{Ц_ç}/s_i^{(t)}$» меньше множества $< \text{значимо} >^{k}$ при некоторой частной цели для создании первоначального образа ДВО, но при определенных условиях может быть и равно множеству $< \text{значимо} >^{k}$.

Так, субпредметная ситуация обусловлена уровнем $\beta_{Ц_ç}(x'_1, x'_2, \ldots, x'_k)$, который может быть сформулирован как функциональная зависимость и учитывать:

- влияние дефицита времени на ППР;

- успешность решения задач УВД;

- состояние функциональных систем, обеспечивающих человеку восприятие информации и формирование ситуаций и т.д. [74].

Насколько быстро доступное количество информации $I^{(k)}_{S_t}$ предметной ситуации станет в процессе восприятия понятийным (осознанным) $I'^{(k)}_{S_t}$зависит от:

- состава предметных ситуаций (количества переменных);

- индивидуальных особенностей восприятия $\Phi^{(k)}_{\text{воспр.}}$;

- используемых схем построения целостного информационного образа, вырабатываемых в процессе тренировок и накопления опыта (суть, элементарные преобразования, осуществляемые интеллект. операторами $\Upsilon^{k}_{\Sigma}$ отображения предметной ситуации в область НИК);

- способов представления информации (ноон-технлогия[4]), которые могут согласовываться с правилами обобщения и порождения более высоких уровней.

Причем критерием эффективности перехода информации предметной ситуации на понятийный уровень служит минимизация объективных (время перехода, ошибки определения значений $\mu_{s_i}$ и $\beta^{k}_{Ц_ç}$ – уровня) и субъективных (психофизиологических, энергетических) затрат $E^{(k)}$ (3.2):

$$\left.\begin{matrix}\xi\left(\mu^{k}_{s_i}\right), \xi\left(\beta^{k}_{Ц_ç}\right) \\ \Delta\tau^{S_t}_{\Upsilon^{k}_{\Sigma}}\end{matrix}\right\} \rightarrow \min, \qquad (3.2)$$

где $\xi\left(\mu^{k}_{s_i}\right), \xi\left(\beta^{k}_{Ц_ç}\right)$ – ошибка определения уровня значимости параметров состояния ДВО – $x_1, x_2, \ldots, x_k$;

$\Delta\tau^{S_t}_{\Upsilon^{k}_{\Sigma}}$ – время классификации ДВО на конфликтную и бесконфликтную при помощи работы группы интеллект. операторов $\Upsilon^{k}_{\Sigma} | \Upsilon^{k}_{1} \in \Upsilon^{k}_{\Sigma}$ ;

$\Upsilon^{k}_{1}$ – интеллект. оператор, определяющий множество $< \text{значимо} >^{k}_{\text{перв}}$ и фиксирующий в памяти каждый $s^{(t)}_i \in < \text{значимо} >^{k}_{\text{перв}}$.

При использовании цветового описания предметных ситуаций в части высоты ($C_1$ и $C_ц$) изменяется количество воспринимаемой информации в процессе создания информационного образа ДВО (см. Глава 2, п.2.3.3.), представленной

4 Ноон-технология: технология создания информации в виде, соответствующем психофизиологии человека (с использованием результатов исследований, полученных в ноонике), для реализации оптимизированных информационно-обменных процессов в системе «человек-информация» при создании, хранении, передаче, применении сообщений [3].

ситуацией $S_t$, при том же количестве переменных, что и в $C_0$, а также скорости восприятия, что связанно с естественным свойством человеческого восприятия цвета и формы (3.3):

$$I^{k}_{S_{c_0}} \geq I^{k}_{S_{c_1}}, \tag{3.3}$$

где $I^{k}_{S_{c_0}}$, $I^{k}_{S_{c_1}}$ – количество информации, представляемой в ЧМ k-му диспетчеру УВД в монохромном и полихромном виде, соответственно.

Потому как первый этап при декомпозиции процесса формирования информационного образа ДВО представляет собой последовательное попарное сравнение всех ВС $N^{(S_t)}$, исполненных визуально ЧМ в виде меток с формулярами, по критериям, определяющим первичные цели $Ц_1$ – установление количества $ВС^{(S_t)}$ в зоне ответственности k-го диспетчера УВД и их взаиморасположения с записью в памяти. К этой цели отнесем такие критерии, как взаимное расположение в плане и направление перемещения $ВС^{(S_t)}$ – $\varepsilon_1$, а также высота, отображаемая цифрами эшелона в формуляре – $\varepsilon_2$.

Критерии $\varepsilon_1$ и $\varepsilon_2$ в существующих ЧМИ не имеют внутри себя разнородных отличительных признаков, т.е. каждый объект рассматривается как равноценный; также отметим, что доля ВС, приходящихся на $\varepsilon_1$ и $\varepsilon_2$, различна для каждой конкретной ситуации и для каждого $ЛПР_k$ (3.4):

$$\begin{cases} I^{(\varepsilon_1)}_{S_{C_0}} = I^{(\varepsilon_1)}_{S_{C_1}} = I^{(\varepsilon_1)}_{S_{C_ц}} \\ I^{(\varepsilon_2)}_{S_0} = \log\left(\frac{N^{(\varepsilon_2)}_{s_t}!}{(N^{(\varepsilon_2)}_{s}-2)!2!}\right), \end{cases} \tag{3.4}$$

где $I^{(\varepsilon_1)}_{S_{C_0}}, I^{(\varepsilon_1)}_{S_{C_1}}, I^{(\varepsilon_1)}_{S_{C_ц}}$ – количество информации о ВС в плане для монохромного, с выделением одним цветом эшелон-уровня и полихромного представления ДВО в ЧМИ, соответственно;

$\varepsilon_1$ – критерий взаимного расположения $ВС^{(S_t)}$ в плане и направление их перемещения, согласно цели $Ц_1$ = «установление количества $ВС^{(S_t)}$ в зоне ответственности k-го диспетчера УВД и их взаиморасположения»;

$I_{S_0}^{(\varepsilon_2)}$ – количество информации при монохромном представлении ДВО в ЧМИ, согласно цели $Ц_1$ по критерию высоты, отображаемой цифрами эшелона в формуляре – $\varepsilon_2$;

$N_{s_t}^{(\varepsilon_2)}$ – количество ВС в ДВО $S_t$.

При использовании выделения высотного признака в формуляре сопровождения ВС одним цветом – $C_1$ и при полихромии $C_ц$ по критерию $\varepsilon_2$ в цели $Ц_1$ обозначения высоты в ЧМИ имеют внутренние признаки принадлежности к эшелон-уровню, поэтому имеет место иной алгоритм попарной фиксации (3.5):

$$I_{S_{C_1}}^{(\varepsilon_2)} \approx I_{S_{C_ц}}^{(\varepsilon_2)} = \log\left( M \frac{\left(\frac{N_S^{(\varepsilon_2)}}{M}\right)!}{(N_S^{(\varepsilon_2)}/M-2)!2!} \right). \quad (3.5)$$

где $I_{S_{C_1}}^{(\varepsilon_2)}, I_{S_{C_ц}}^{(\varepsilon_2)}$ – количество информации о ВС на заданном эшелоне $(\varepsilon_2)$ полета для представления ДВО с выделением одним цветом эшелон-уровня и полихромного представления ДВО в ЧМИ, соответственно;

$N_{s_t}^{(\varepsilon_2)}$ – количество ВС в ДВО $S_t$;

M – количество эшелон-уровней.

Разница количества информации для различных способов отображения ДВО в ИО представлена на Рисунке – 3.3.

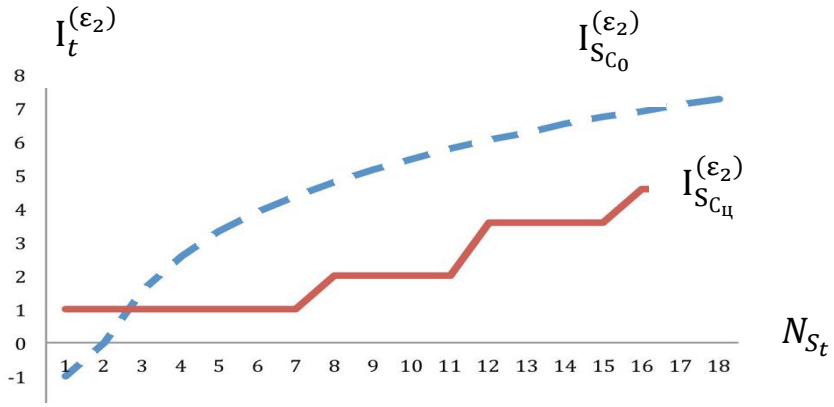



Рисунок 3.3 – Количество информации о высотном взаиморасположении ВС при различных способах отображения ДВО: $S_{C_0}$ – монохромное, $S_{C_ц}$ – полихромное (при эшелон-уровнях M=4)

Выше предложенное представление является грубым, в силу таких свойств человеческого мышления как избирательность и обобщение, поиск от общего к частному при отсутствии полного перебора в условиях избирательного выбора, а также механизмов работы памяти. Однако, показывает объективное уменьшение количества информации в информационном образе ДВО при использовании цветового обозначения в аналитической части оценки состояния ДВО.

Таким образом время работы оператора $\Upsilon_1^k$ (определяющего множество $< \text{значимо} >_{\text{перв}}^k$ и фиксирующий в памяти каждый $s_i^{(t)} \in < \text{значимо} >_{\text{перв}}^k$ по $C_1$ и $C_ц$) даже при равной и постоянной скорости восприятия будет иметь меньшее значение, чем по $C_0$ (3.6):

$$\Delta\tau_{\Upsilon_1^k}^{C_{1,ц}}(S_t) < \Delta\tau_{\Upsilon_1^k}^{C_0}(S_t), \tag{3.6}$$

где $\Delta\tau_{\Upsilon_1^k}^{C_{1,ц}}(S_t)$ и $\Delta\tau_{\Upsilon_1^k}^{C_0}(S_t)$ – время работы интеллект. оператора $\Upsilon_1^k$ k-го диспетчера УВД при формировании информационного образа ДВО $S_t$ с полихромным и монохромным представлением высотного признака ВС, соотв-но.

Применение цветового высотного признака практически полностью устраняет ошибку определения состава эшелон-уровня, тем самым уменьшая возможность существования «слепых зон» ПКС и КС (невыявленных участников ПКС/КС), в связи с чем можно говорить о возможности более точного определения состава $< \text{значимо} >_{\text{перв}}^k$, что отвечает условию минимизации ошибки определения $\mu_{s_i}^k$ (3.7):

$$\xi^{C_{1,ц}}\left(\mu_{s_i}^k\right) < \xi^{C_0}\left(\mu_{s_i}^k\right), \tag{3.7}$$

где $\xi^{C_{1,ц}}\left(\mu_{s_i}^k\right), \xi^{C_0}\left(\mu_{s_i}^k\right)$ – ошибка определения уровня значимости $\mu_{s_i}^k$ параметров состояния ДВО – $x_1, x_2, \ldots, x_k$, при полихромии и монохромии в ДВО.

Данные преимущества связаны с использованием различных типов поглощающих свет рецепторов сетчатки [147], что выражается в модели формирования НИК увеличением $\mu_{s_i}^k$ конкретных $s_i^{(t)}$ по $\varepsilon_2$, а психофизиологически – в естественном распознавании объектов различных

цветов. Однако, применение же хроматической стереоскопии $C_ц$ требует специальной подготовки и развития навыка различения цветов разных оттенков, что на первоначальном этапе исследования вызывает необходимость детальной проработки с испытуемыми вопросов формообразования при помощи цвета.

Стоит добавить, что неравенство (3.6) может быть дополнено экономией $E^{(k)}$ при выполнении (3.7) в течение длительного периода высокой интенсивности. А также отметим экономию времени механико-моторной деятельности при $C_ц$ с развитием навыка хроматической стереоскопии, тогда как при $C_1$ для создания первоначального образа ДВО диспетчер планомерно переходит от одной плоскости эшелона m к последующей и, анализируя предлагаемую в желтом исполнении информацию о высоте и направлении движения, затрачивает некоторое время $t_{перв}^{(C_1)}$ (возможная экономия времени по результатам смежных исследований, например, по методике Keystroke-level – KLM, в среднем около 17% [81]. При этом, следует учесть, что в реальных условиях напряженность и/или усталость обуславливают возможность отклонений от нормального процесса переключения внимания и запоминания взаиморасположения ВС, что чревато появлением дополнительных, перестраховочных межуровневых переключений $\tau_{доп}^{(C_1)}$ [125, 127]. Кроме того, необходимо брать во внимание изменения свойств самой информации во времени: появлении дополнительных данных (например, искажений, сбоев и т.п.), старение – что также влияет на величину $t_{перв}^{(C_1)}$ [145].

Итак, сравнивания два метода (3.8):

$$\left[t_{перв}^{(C_1)} = \sum_{m=1}^{M} t_{перв_m}^{(C_1)} + \sum_{m=1}^{M-1} \tau_m^{(C_1)}\right] > \left[t_{перв}^{(C_ц)} = \sum_{m=1}^{M} t_{перв_m}^{(C_ц)}\right], \qquad (3.8)$$

где $t_{перв}^{(C_1)}$ – время формирования первоначального информационного образа ДВО при использовании одного цвета в представлении ДВО - $C_1$;

M – количество эшелон-уровней, требующих анализа;

m – некоторый эшелон-уровень;

$\tau_m^{(C_1)}$ – время переключения от одной плоскости к другой;

$t_{перв}^{(С_ц)}$ – время формирования первоначального информационного образа ДВО при использовании полихромии в представлении ДВО - $С_ц$.

Так уже при аналитическом исследовании можно говорить, что применение полихромии способствует снижению ошибок восприятия динамической информации и экономии времени на определенные операции, что отразится и на преимуществе перехода к следующим этапам процесса ППР при УВД. Данные этапы также следует рассматривать с применением новых алгоритмов деятельности, используя хроматическую стереоскопию, например, при прогнозе развития отдельных ситуаций или выборе альтернатив решения в условиях экстремального дефицита ситуаций сближения.

## 3.2. Метод полутоновой полихромной визуализации элементов динамической воздушной обстановки для улучшения ситуационной осведомленности диспетчера УВД

Полутоновая полихромная визуализация элементов ДВО является способом кодирования данных в ЧМИ АС УВД для представления их диспетчеру УВД посредством привязки определенной цвето-хроматической схемы к выбранной последовательно изменяющейся динамической структуре параметров, необходимых для овладения ситуационной осведомленностью при УВД.

Примером последовательно изменяющейся динамической структуры параметров, необходимых для овладения ситуационной осведомленностью диспетчера УВД, могут служить:

- высотный признак движения ВС в формуляре сопровождения ВС в зоне ответственности диспетчера УВД и смежных секторов УВД;
- векторы экстраполяции смежных эшелонов полета ВС в зоне ответственности диспетчера УВД;

- метки обозначения степени конфликтности пары ВС в составе ПКС при их отображении в окне потенциальных рисков для УВД: по времени и степени конфликтности;

- обозначение высотного признака зон ограничений использования воздушного пространства и др.

Полутоновая полихромная визуализация элементов ДВО применяется для улучшения ситуационной осведомленности диспетчера УВД посредством снижения количества воспринимаемой численной информации за счет кодирования группы чисел одним цветом следующим образом:

1. Определяется динамическая структура параметров с последовательно изменяющимися данными;

2. Определяется шаг последовательного изменения данных (например, эшелон полета 350→340→330… и т.д.);

3. Определяется полихромная хроматическая схема (подробно в Глава 1, п 1.4.). Важно отметить использование принципов инженерной психологии и основ восприятия цвета для удовлетворения конкретных целей визуализации элементов ДВО;

4. Осуществляется программно-аппаратное кодирование последовательно изменяющейся динамической структуры параметров некоторого элемента ДВО.

В качестве примера возьмем принципиальную схему реализованного в АС УВД средства оперативной оценки ДВО «Скроллинг» см. Приложение 3, Рисунок 3.4). Инструмент «Скроллинг» в ЧМИ позволяет осуществить выборочный просмотр цветовых эшелон-уровней при полихромии ДВО.

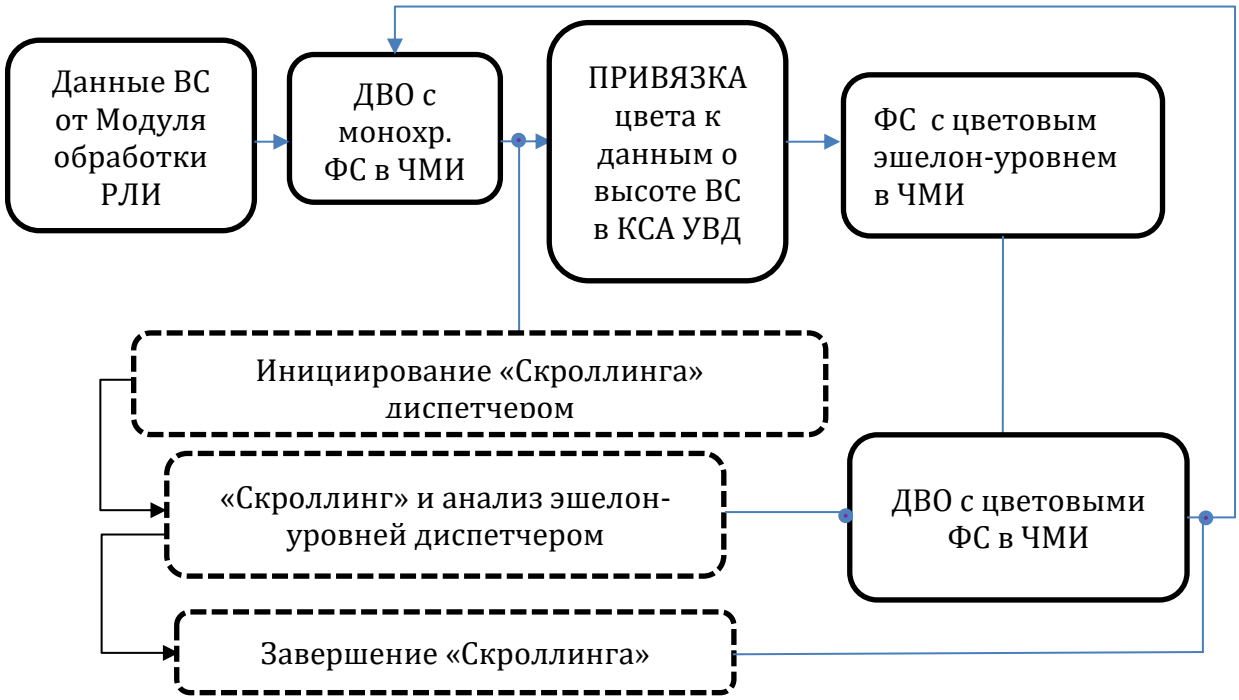



Рисунок 3.4 – Принципиальная схема работы средства оперативной оценки ДВО «Скроллинг»: МОРЛИ – модуль обработки РЛИ, КСА – комплекс средств автоматизации.

Привязка цвета к данным о высоте ВС в ИО средств отображения в АС УВД осуществляется следующим способом (3.9):

$$\begin{gathered} \mathrm{W}_i^{\,h} \Leftarrow C_h[\text{цвет с координатами в цветовой модели}], \\ C_h \in \mathrm{C}_{col}^1, \\ \left.\begin{matrix} X_{\text{ТОН}}[\text{цветовой тон}] \\ X_{\text{СВЕТ}}[\text{светлота}] \\ X_{\text{НАСЫЩ}}[\text{насыщенность}] \end{matrix}\right\} \in \mathrm{C}_{col}^1, \\ \mathrm{C}_{col}^1 \in C_{col}, \end{gathered} \tag{3.9}$$

где $\mathrm{W}_i^{\,h}$ – положение высотного признака ВС (h) в его формуляре сопровождения (ФС);

$C_h$ – цвет из выбранной полутоновой полихромной схемы $\mathrm{C}_{col}^1$[5];

$\mathrm{C}_{col}^1$ – полутоновая (хроматическая) полихромная схема;

[5] $\mathrm{C}_{\mathrm{col}}^1$ – некоторая палитра цветов, состав которой определяется экспертно-экспериментальным путем.

$X_{\text{ТОН}}$, $X_{\text{СВЕТ}}$, $X_{\text{НАСЫЩ}}$ – характеристики цвета по стандартной цветовой модели $C_{col}$ (LAB, HSB, RGB, XYZ, CMYK, CIELUV и др.).

Для привязки к высотному признаку ВС на маршруте выбрана полутоновая полихромная схема $\mathrm{C}_{col}^{1}(h)$, состоящая из семи цветов с их координатами в аддитивной цветовой модели кодирования RGB (3.10):

$$\mathrm{C}_{col}^{1}(h)\begin{cases} C_h(1) = \mathrm{RGB}[153, 255, 153] - \text{салатовый} \\ C_h(2) = \mathrm{RGB}[0, 255, 0] - \text{зеленый} \\ C_h(3) = \mathrm{RGB}[48, 213, 200] - \text{бирюзовый} \\ C_h(4) = \mathrm{RGB}[0, 191, 255\ ] - \text{голубой} \\ C_h(5) = \mathrm{RGB}[0, 77, 255] - \text{синий} \\ C_h(6) = \mathrm{RGB}[18, 10, 143] - \text{ультрамариновый} \\ C_h(7) = \mathrm{RGB}[128, 0, 128] - \text{фиолетовый} \end{cases} \quad (3.10)$$

Каждому цвету соответствует определенное значение высоты (эшелон) полета ВС: $h_1 = C_h(1), h_2 = C_h(2), \dots, h_7 = C_h(7)$.

Каждая высота монохромного исполнения в ЧМИ содержит 3 цифры, которые постоянно отображаются в формуляре сопровождения ВС, находящего в зоне ответственности, для обеспечения ситуационной осведомленности диспетчера УВД.

ФС в ЧМИ выполнены несколькими способами в зависимости от целей УВД (получение информации о ВС – расширенный ФС; обращение к ФС – ФС активного состояния; анализ ДВО – ФС неактивного состояния) (3.11):

$$\begin{gathered} \mathrm{W_i^{расш.}} =< \mathrm{BC_i}, \mathrm{BC_T}, \mathrm{x_i(t)}, \mathrm{y_i(t)}, \mathrm{h_i(t)}, \mathrm{h_i^*(t)}, \psi_\mathrm{i}(\mathrm{t}), \mathrm{V_i(t)}, \mathrm{V_i^*(t)}, \mathrm{EP} \dots \mathrm{etc} > \\ \mathrm{W_i^{ФСА}} =< \mathrm{BC}_i, h_i(t), h_i^*(t), \mathrm{x_i(t)}, \mathrm{y_i(t)}, \text{признак сектора} >, \\ \mathrm{W_i^{ФСН}} =< \mathrm{BC}_i, h_i(t), \mathrm{x_i(t)}, \mathrm{y_i(t)}, \text{признак сектора} >, \end{gathered} \quad (3.11)$$

где $\mathrm{W_i^{расш.}}$, $\mathrm{W_i^{ФСА}}$, $\mathrm{W_i^{ФСН}}$ – ФС расширенного, активного и неактивного типов;

$\mathrm{BC_i}$ – позывной ВС;

$\mathrm{BC_T}$ – тип ВС;

$\mathrm{x_i(t)}, \mathrm{y_i(t)}$ – координаты в двумерном информационном пространстве ЧМИ;

$\mathrm{h_i(t)}, \mathrm{h_i^*(t)}$ – текущий и заданный эшелоны полёта;

$\psi_\mathrm{i}(\mathrm{t})$ – курс полета ВС;

$\mathrm{V_i(t)}, \mathrm{V_i^*(t)}$ – горизонтальная и вертикальная скорости ВС;

ЕР – контрольная точка.

Оперативная оценка ДВО при помощи «Скроллинг» является составной частью анализа ДВО, поэтому используются ФС активного и неактивного типа.

По запросу диспетчера УВД программно-аппаратный комплекс АС УВД осуществляет привязку определенного цвета ко всем данным в ФС активного и неактивного типа каждого ВС в зоне ответственности следующим образом (3.12):

$$\begin{gathered}\mathrm{W}_i^{\text{ФСА,ФСН}} \Leftarrow \mathrm{C}_{col}^1 \\ < \mathrm{BC}_i^{h_1}, h_1(t), h_1^*(t), x_i^{h_1}(\mathrm{t}), y_i^{h_1}(\mathrm{t}), \text{признак сектора}_i^{h_1} > \Leftarrow \mathrm{h_1(t)} = C_h(1), \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ < \mathrm{BC}_i^{h_7}, h_7(t), h_7^*(t), x_i^{h_7}(\mathrm{t}), y_i^{h_7}(\mathrm{t}), \text{признак сектора}_i^{h_7} > \Leftarrow \mathrm{h_7(t)} = C_h(7)\end{gathered} \tag{3.12}$$

5. Осуществляется выбор цветового фона, создающего наибольший эффект при создании глубины пространства посредством хроматической стереоскопии для выбранной полутоновой полихромной схемы – $\mathrm{C}_{col}^1(h)$ (производится экспертным путем с учетом рекомендаций предложенных в Главе 4, п. 4.3.);

6. При необходимости осуществляется коррекция полутоновой полихромной схемы – $\mathrm{C}_{col}^1(h) \rightarrow \mathrm{C}_{col}^2(h)$.

Данный метод позволяет разрабатывать средства оптимизации визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД при использовании цветографических ЧМИ в АС УВД для улучшения его ситуационной осведомленности.

## 3.3. Применение метода полутоновой полихромной визуализации элементов динамической воздушной обстановки для повышения ситуационной осведомленности диспетчера УВД

На основании разработанного метода полутоновой полихромной визуализации элементов ДВО для улучшения ситуационной осведомленности

диспетчера УВД и обозначенной проблематики, касающейся визуализации объектов управления ДВО в существующем ИО в средствах отображения ДВО (см. Глава 1, п. 1.2.**)**, а также рассмотренного методологического инструментария визуализации в Главе 2, представляется возможным разработать цветографические решения на основе полихромии объектов управления в средствах ИО диспетчера УВД. Т.е. спроектировать цветографические элементы интерфейса АС УВД в виде удобном для зрительного восприятия, наблюдения и анализа, согласно цвето-ассоциативной перспективы восприятия глубины зрительного пространства.

Для этого приводится пример решения следующих прикладных задач:

1. Устранение нагромождение формуляров сопровождения при высокой плотности ВС в зоне ответственности.

2. Устранение нагромождения визуальной информации о деятельности государственных и других ведомств.

3. Устранение «слепых зон» и пропусков ПКС и КС при анализе диспетчером УВД динамической воздушной обстановки на конфликтность в своей зоне ответственности.

4. Создание условий для эффективного использования одновременно нескольких векторов экстраполяции движения ВС при анализе ДВО на конфликтность.

5. Сокращение времени анализа окна потенциальных конфликтов в ЧМИ.

6. Создание цветографического отображения возможных решений по траекторному управлению конфликтующих ВС, предлагаемых программно-аппаратным комплексом АС УВД.

Задача 1. Устранение нагромождение формуляров сопровождения при высокой плотности ВС в зоне ответственности.

Сущность проблемы: наложение цифр и букв затрудняют корректность восприятия ДВО, ухудшают быстродействие диспетчера УВД, что связано с необходимостью постоянного перемещения формуляров с целью организации их удобного визуального расположения.

Решение: реконфигурация расположения формуляров сопровождения неактивного состояния с автоматическим изменением размера (вплоть до исключения) тех или иных его элементов с «эластичной» их привязкой к отметке ВС с применением полутоновой полихромии (Рисунок – 3.5).

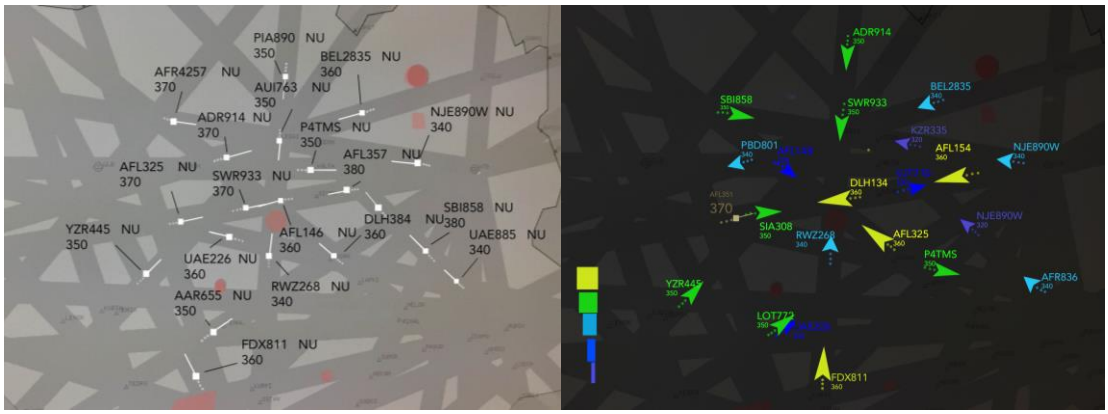



Рисунок 3.5 – Устранение нагромождения формуляров (ДВО – 21 ВС)

Реализация производится согласно методики полутоновой полихромной визуализации ДВО для улучшения ситуационной осведомленности диспетчера УВД.

Задача 2. Устранение нагромождения визуальной информации о деятельности государственных и других ведомств.

Сущность проблемы: деятельность по использованию воздушного пространства и иная деятельность, связанная с возможностью угрозы безопасности воздушного движения (полеты государственной авиации по проверке боевой готовности, дежурства в воздухе по охране государственной границы или иных государственно важных объектов, области атомной промышленности, пуска ракет, работа полигонов, географических аномалий и вулканической деятельности и т.п.), строго регламентирована авиационными правилами и определенным образом обозначается в ЧМИ АС УВД. Её отображение исполнено таким образом, чтобы привлечь внимание диспетчера УВД к потенциальной угрозе, тем самым минимизировав влияния на безопасность полетов. Однако при многочисленной её одновременной индикации совместно с периодами высокой плотности ВС в зоне

ответственности диспетчера УВД, происходит существенное нарушение качества восприятия ДВО (Рисунок – 3.6, слева).

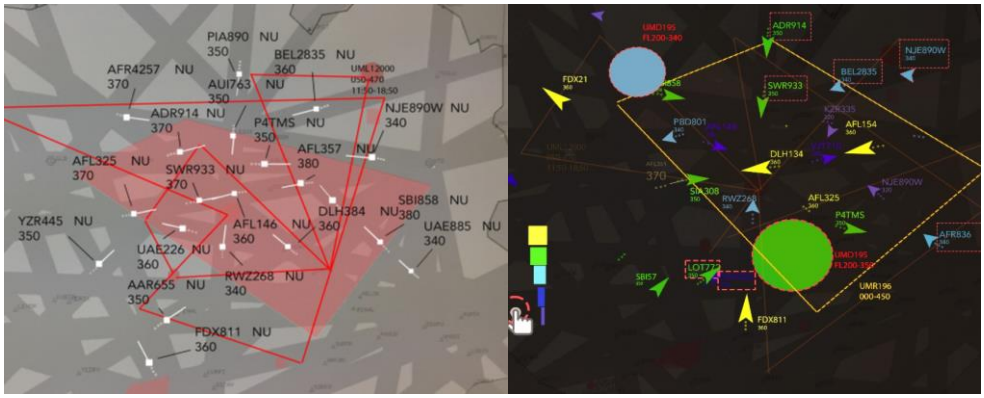



Рисунок 3.6 – Устранение нагромождения информации о деятельности государственных и других ведомств

Решение: существующая высотная фильтрация с исключением отображения в ДВО способствует решению данной проблемы, однако, применима далеко не во всех ситуациях, например, при работе на нижних секторах РДЦ или МДП (ПИО). Иерархия зон ограничений по цвето-высотному признаку согласно высоты их работы с привязкой к выбранной полутоновой полихромной схеме, а также полупрозрачная компоновка контуров этих зон в ДВО (с применением цвето-высотных сигнализаций) будут содействовать устранению визуальной перегруженности средств ИО диспетчера УВД сигнализации о работе зон ограничений, быстрейшему обнаружению и разрешению ПКС с этими зонами. Такие средства позволят устранить и наличие «слепых зон» с невыявленными диспетчером ПКС в условиях избытка цветографического представления вспомогательной информации.

Задача 3. Устранение «слепых зон» и пропусков ПКС и КС при анализе диспетчером УВД динамической воздушной обстановки на конфликтность в своей зоне ответственности.

Сущность проблемы: одной из форм «слепой зоны» диспетчера УВД при наложении визуализации в ЧМИ одних функций с другими, является ситуация

изменении высоты полета ВС, затрагивающего интересы смежных секторов УВД (секторов, функционирующих на соседних высотах или сопряженных территориально) - Рисунок – 3.7, ВС в правом верхнем углу.

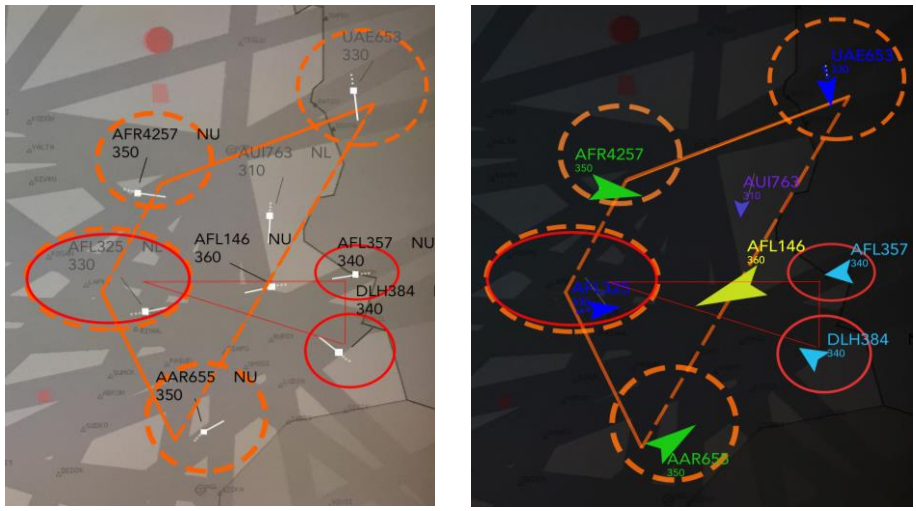



Рисунок 3.7 – Устранение невыявленных диспетчером ПКС и КС

В существующем представлении ВС в интерфейсе АС УВД нагромождение формуляров сопровождения существенно затрудняет визуальное распознавание представленных в них данных (Рисунок – 3.7, слева).

Решение: цветовая индикация в полихромной схеме (на Рисунке – 3.7 справа, с применением хроматической стереоскопии), которая устраняет этот недостаток за счет отображения ВС в цветовой форме, (заметной) возможной для восприятия. На Рисунке – 3.7 оранжевым штрих-пунктиром обозначены неявные ПКС при необходимости разрешения конфликта снижением (или запроса снижения) – AFR4257-AAR655 – и красной цельной линией неявный ПКС при разрешении конфликта снижением – AFL357-DLH384.

Задача 4. Создание условий для эффективного использования одновременно нескольких векторов экстраполяции движения ВС при анализе ДВО на конфликтность.

Сущность проблемы: наложение векторов экстраполяции ВС, следующих одним курсом, затрудняет восприятие меток упрежденного местоположения.

Решение: цветовая индикация линий и отметок упрежденного

местоположения вектора экстраполяции, как видно из Рисунка – 3.8, решает эту проблему за счет различимости цвета.

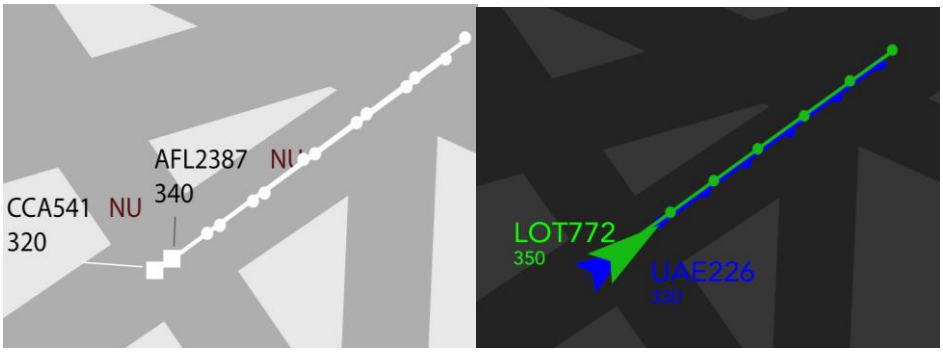



Рисунок 3.8 – Экстраполяция движения ВС при использовании полихромии

Задача 5. Сократить время анализа окна потенциальных конфликтов в ЧМИ.

Сущность проблемы: в условиях высокой загруженности диспетчера УВД использование окна среднесрочных потенциальных конфликтов затруднено в связи с дефицитом времени на функциональные операции (особенно, при наличии большого количества отметок о ПКС, Рисунок – 3.9), в которые включены поиск по номеру конфликтующих ВС и их взаиморасположения в отдельном всплывающем окне, а также в связи с энергоемкой операцией поиска конфликтующих воздушных судов в условиях нагромождения визуальной информации.

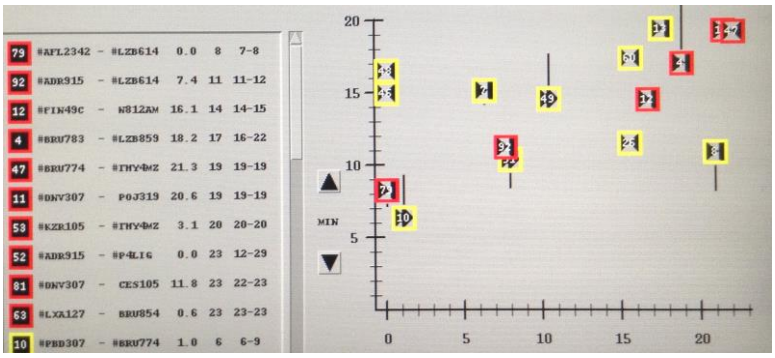



Рисунок 3.9 – Окно среднесрочных потенциальных конфликтов в интерфейсе средств отображения ДВО в АС УВД

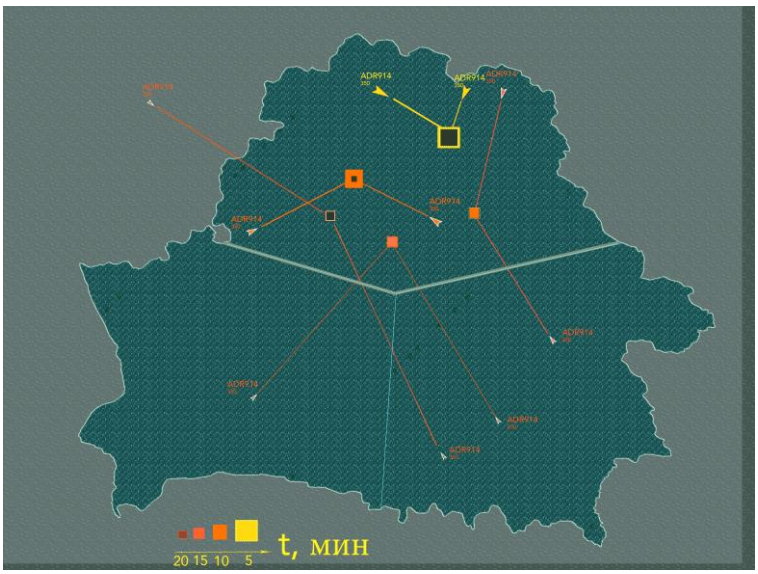



Рисунок 3.10 – Вариант окна потенциальных конфликтов в ИО диспетчера УВД

Решение. На Рисунке – 3.10 изображен вариант окна среднесрочных ПКС/КС, отображающий одновременно участников конфликта, место конфликта, степень срочности (яркость и тон цвета и размер цветовой метки) и уровень конфликтности (количество заполнения цветовой метки). Как видно, доступность информации существенно выше при том же количестве КС/ПКС.

На разработку такого исполнения подтолкнули непосредственно замечания диспетчеров при работе, как на диспетчерском тренажере, так и наблюдения в реальной ДВО за тем, как происходит использование элементов окна обнаружения и сигнализации среднесрочных ПКС [116, 135].

Задача 6. Создание цветографического отображения возможных решений по траекторному управлению конфликтующих ВС, предлагаемых программно-аппаратным комплексом АС УВД.

Сущность проблемы: на данном этапе разработаны различные виды систем с отображением ДВО в 3D формате [150], с возможностью наглядного моделирования решений [124, 148], но вопрос визуальных геометрических искажений взаимного пространственного положения ВС остается открытым, наряду с возможностью оценки ДВО на конфликтность при высокой плотности графических элементов [32]. Данные разработки призваны улучшить

взаимодействие типа «человек-машина», но внедрение подобных технологий затрудняется, во-первых, высокой стоимостью разработки, внедрения и трудоемкостью проведения исследований [151]; во-вторых, инертностью перехода восприятия от анализа в 2D-формата к 3D, связанного с появлением визуальных угловых искажений расстояния [50]; в-третьих, различием восприятия процессов УВД разработчиком подобных систем и субъектом самой системы.

Решение: представление ДВО на основе цвето-высотной полихромной схемы с привязкой к курсовому сектору возможного отворота ВС для разрешения ПКС. Возможна дальнейшей интеграцией данного способа с системами поддержки принятия решений при использовании машинного обучения и нейросетей [120, 129].

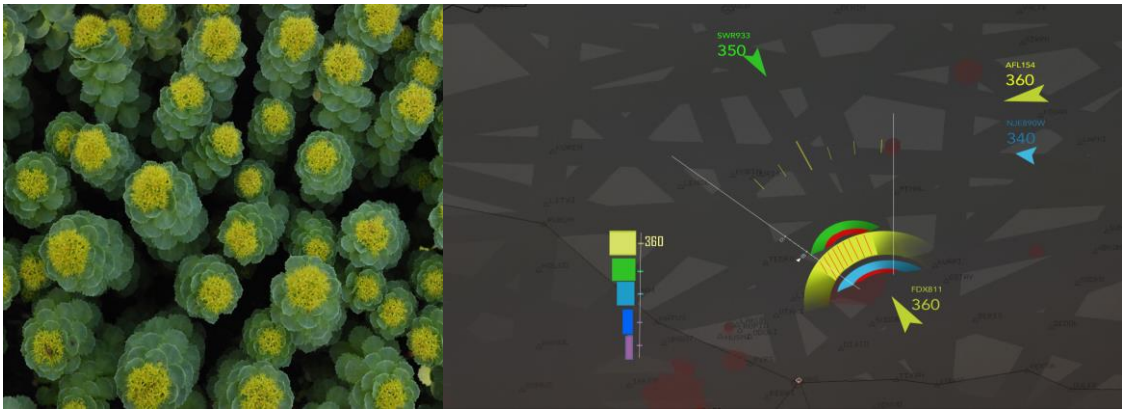



Рисунок 3.11 – Цветографическое представление образа опасных и возможных траекторных изменений в ЧМИ – «Радиола решений» (слева радиола – растение-прототип).

На Рисунке – 3.11 представлена модель отображения ДВО в ЧМИ АС УВД, осуществляющая поддержку ППР по разрешению конфликта на примере пересекающихся AFL154 и FDX811 на 360 эшелоне полета (в желто-салатовом исполнении). Условия таковы, что ВС не могут занять вышележащий эшелон – требуется снижение на два эшелона, или временное снижение на один эшелон, или изменение курса ВС.

Диспетчер УВД посредством ЧМИ осуществляет запрос у вычислительного комплекса АС УВД возможных вариантов тракторного управления. При помощи представленного на рисунке цветографического решения в ЧМИ активируется, так называемая, «радиола решений» (Рисунок – 3.11).

«Радиола решений» представляет образ опасных (сигнализирующие цвета – красный, желтый, оранжевый) и возможных траекторных изменений – круговые цвето-высотные диаграммы (лепестки) изменения курса, сопряженные с конфликтующими теми или иными ВС в плане и по высоте согласно методике полутоновой полихромной визуализации ДВО для улучшения ситуационной осведомленности диспетчера УВД.

При использовании предложенной модели отображения сознательно складывается целостная картина каждого слоя ДВО, и, так как не требуется время на поиск и выделение отдельных ВС, определенной высоты, качественно изменяется способ восприятия информации и – ППР.

Разработка и экспериментальное исследование предложенных цветографических решений при отображении динамических объектов может получить свое развитие и во многих других областях техники, включая управление беспилотными аппаратами, управление вниманием при ведении боя и управления войсками, при использовании ЧМИ в экзоскелетах и других бионических задачах [36, 52].

## 3.4. Формирование визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД при оценке на конфликтность полихромной динамической воздушной обстановки

В процессе УВД повышенная нагрузка неизбежно приводит к росту напряженности работы диспетчера УВД и поднимает вопрос о необходимости учета количества информации, поступающей через зрительный канал [53, 65, 81],

а также ограничениях психофизиологических возможностей человека по распознаванию и запоминанию объектов [28, 50].

Зрительный канал диспетчера УВД, являясь главным инструментом получения информационного образа состояния ДВО, включает зрительный анализатор, как средство поступления сигналов от окружающей среды, и интеллектуальные преобразования воспринятых сигналов, связанные с деятельностью интеллектуальных операторов $\Upsilon_{\Sigma}^{k}$. Так, в типичных информационных коммуникативных моделях восприятия различают характерные этапы генерации-кодирования и рецепции-декодирования в рамках тезауруса, вне которого восприятие и понимание невозможно [61]. На этапе генерации-кодирования происходит выбор из потока первичного восприятия, структурирование по признакам и представление на основании этого некоторого количества информации $\mathrm{I}_{\mathrm{S_t}}^{(\mathrm{k})}$ (понятийного текста на языке описания предметных ситуаций). А на этапе рецепции-декодирования выделяется смысловое содержание этой информации $\mathrm{I}_{\mathrm{S_t}}^{\prime(\mathrm{k})}$ на основе процесса классификации и выдвижения гипотез. Обобщением двух этапов может стать понятие **детектирования**.

Человек читает незнакомый текст, примерно, со скоростью 600 знак/мин – время чтения одного знака 0,1 с, при этом развивает смысловую мощность $\mathrm{N_{сем}} = 200\ \text{бит}^2/\text{с}$ и пропускает информационный ток $\mathrm{I} = 50\ \text{бит/с}$, что является физиологическим пределом [50]. Поэтому перевести на понятийный уровень за одну секунду он может не более $I_{\text{синт}MAX}/\text{с} = \mathrm{I}_{\mathrm{WMAX(S_t)}}^{(\mathrm{k})}/\text{с} = 50\ \text{бит/с}$ данных за время $\Delta t_{\Upsilon_1^{\mathrm{k}}}$ (по интеллектуальному оператору, формирующему множество значимых переменных первоначального образа ДВО - $\Upsilon_1^{\mathrm{k}}$) (3.10):

$$\Delta t_{\Upsilon_1^{\mathrm{k}}} = \mathrm{I}_{\text{синт}}^{\mathrm{W(S_t)}}/(\mathrm{I}_{\mathrm{WMAX(S_t)}}^{(\mathrm{k})}/\text{с}), \qquad (3.10)$$

где $\Delta t_{\Upsilon_1^{\mathrm{k}}}$ – время формирования первоначального образа ДВО k-ым диспетчером УВД;

$I_{синт}^{W(S_t)}$ – количество синтаксической информации формуляров сопровождения W при состоянии ДВО $S_t$;

$I_{WMAX(S_t)}^{(k)}/с$ – предположительно максимальное количество информации, которую диспетчер УВД может перевести на понятийный уровень.

Время сохраняемой в кратковременной памяти $\Omega_{кратковр.}^{(k)}$ информации не более 20 секунд играет основополагающую роль в процессе УВД. При этом существует потребность в постоянном ее обновлении.

Основной динамической информацией являются формуляры сопровождения ВС – специальная функция, отображающая текущую информацию о ВС. Состав формуляра сопровождения разработан в соответствии с рекомендациями и требованиям документов Евроконтроля [141]. При этом формуляры сопровождения могут находиться в трех состояниях: неактивном (стандартное состояние, когда диспетчер не обращается к формуляру); активное (когда ДУВД обратился к ФС наведением курсора мышки ПК); расширенное (непосредственные действия ДУВД раскрывают всю информацию о конкретном ВС) [84, 85]. В процессе анализа ДВО на конфликтность диспетчер УВД в основном оперирует параметрами формуляра сопровождения неактивного состояния (3.11):

$$W_{iФСН} =< ВС_i, h_i(t), h_i^*(t), \text{признак сектора} >, \quad (3.11)$$

$ВС_i$ – позывной (код приемоответчика, номер рейса) – 4 -7 символов;

$h_i(t), h_i^*(t)$ – текущая и заданная высота, соответственно (заданная может не отображаться) – 3 (6) символов, из которых последний ноль;

признак сектора – 2 символа – для ВС в своей зоне ответственности пропускается при восприятии.

В формуляре сопровождения используется 26 букв латинского алфавита и 10 арабских цифр, при том касательно эшелонов полета в районном центре распределение символов не равновероятно: так 3 и 0 – имеют существенный перевес перед 1, некоторый равный – перед 4, 5, 6, 7, 8, 9 и перед 2.

Так пусть 3 и 0 реализуются на позиции эшелона с коэффициентом 0,2 каждая, 4-9 с коэффициентом 0,12 каждая, а 2 с 0,1 – точность непринципиальна. Тогда как в позывном, допустим, равновероятное распределение всех букв и цифр. Применив такие доводы к формуле Хартли-Шенонна получим очень фигуральное количество информации в одном сообщении (формуляре):

- для позывного $\text{ВС}_i$ (среднее количество символов – 5,5, с равновероятным появлением): $\text{И}_{\text{синт}}^{W_{\text{ВС}_i}(\text{St})} = log_2(26+10) \times 5{,}5 = 28{,}4$ бит;
- для высотного признака $h_i(t)$ берем для общего случая два символа (последний меняется только при наборе высоты): $\text{И}_{\text{синт}}^{W_{h_i}(\text{St})} = -\big(0{,}4log_2(0{,}2) + 0{,}72log_2(0{,}12) + 0{,}1log_2(0{,}1)\big) \times 2 = 6{,}82$ бит, в округлении до 7 бит, можно сказать, войдет и $h_i^*(t)$.

Значит, среднее количество данных об одном ВС в штатных условиях с формуляром неактивного состояния около $\text{И}_{\text{синт}}^{W_{\text{ВС}_i}(\text{St})} = 36$ бит, а время на его восприятие 0,72 с. С учетом времени сохранения информации в кратковременной памяти равной 20 секунд диспетчер УВД способен воспринимать около 27 формуляров [50]. Однако, учитывая показатель загруженности – отношение времени, затрачиваемого диспетчером на выполнение процедур и технологических операций по ОВД, к интервалу времени, в течение которого выполняется оценка загруженности [1] – допустимый 0,55, предельный 0,7, количество формуляров в один сеанс кратковременной памяти – 14-18.

Будем говорить, что интеллектуальный оператор $\Upsilon_1^{\text{k}}$ (формирование первоначального образа ДВО) по критерию высоты $\varepsilon_2$ способен обрабатывать 57,6 бит в секунду, т.е. около 2 формуляров в секунду.

Рассмотрим случай работы оператора $\Upsilon_1^{\text{k}}$ по критерию высоты $\varepsilon_2$ при использовании хроматической стереоскопии в формуляре сопровождения в неактивном режиме. В данном случае изменения претерпевает только параметр высоты – $h_i(t), h_i^*(t)$ . – При владении навыком использования цветовых отображений взаиморасположения ВС цифровые данные для анализа ДВО не

требуются. И из 3 (6) символов на двух позициях эшелона, потребуется один. При том, что используемых цветов предполагается использовать 5-7 (среднее значение 6). Тогда получим вновь фигуральное количество информации в одном сообщении (формуляре):

- для позывного $\text{ВС}_i$ (среднее количество символов – 5,5, с равновероятным появлением) $\text{И}_{\text{синт}}^{W_{\text{ВС}_i}(\text{S}_\text{t})} = 28{,}4$ бит;

- для высотного признака $h_i(t)$ - шесть цветов, как шесть синтаксических знаков: $\text{И}_{\text{синт}}^{W_{h_i}(\text{S}_\text{t})} = log_2(6) = 2{,}58$ бит, в округлении до 2,6 бит, можно сказать, войдет и $h_i^*(t)$.

Среднее количество данных об одном ВС в штатных условиях с формуляром неактивного состояния около $\text{И}_{\text{синт}}^{W_{\text{ВС}_i}(\text{S}_\text{t})} = 31$ бит, а время на его восприятие 0,62 с, что на 0,1 секунду лучше, чем у числовых данных. С учетом времени сохранения информации в кратковременной памяти диспетчер УВД способен воспринимать уже около 32 формуляров, что на 5 формуляров больше. И, учитывая показатель загруженности, количество формуляров в один сеанс кратковременной памяти – 17-22 против 14-18 числового варианта, что составляет около 20% преимущества (Таблица – 3.1).

Таблица 3.1[6] – Информационно-временны́е характеристики восприятия диспетчером УВД формуляров сопровождения ВС

| Способ отображения | Монохромный | Полихромный |
|---|---|---|
| Тип формуляра сопровождения ВС | Неактивный | Неактивный |
| Количество информации о позывном ВС (бит) | 28,4 | 28,4 |
| Количество информации о высотном признаке ВС (бит) | 7 | 2,6 |

[6] с учетом ограничений времени сохранения информации в кратковременной памяти – 20 с., а также нормативного показателя загруженности диспетчера УВД – 0,55-0,7 [1].

| | | |
|---|---|---|
| Общее количество информации в формуляре сопровождения (бит) | ~36 | ~31 |
| Время получения информации (с) | 0,72 | 0,62 |
| Количество ВС | 27 | 32 |
| Количество ВС (с учетом показателя загруженности) | 14-18 | 17-22 |

Другое преимущество цветово-хроматического метода отображения вертикали в ДВО проявляется в процессе решения диспетчером задачи определения **классов толерантности** необходимости траекторного управления ВС – $Ц_2$ (конфликтные, бесконфликтные, потенциально-конфликтные, ситуации сближения).

Действующий при этом интеллектуальный оператор $\Upsilon_2^k$ определяет классы толерантности – нечеткие подмножества субъективных оценок k-го ЛПР множества $< \text{существенные переменные} >_{Ц_1}^k$ относительно строгого условия: $d_{ij} \underset{\leq}{\geq} \Delta d \& h_{ij} \underset{\leq}{\geq} \Delta h$, – взаиморасположения ВС в плане $d_{ij}$ и по высоте $h_{ij}$ согласно установленных безопасных интервалов, соответственно, $\Delta d$ и $\Delta h$. При этом используются зонно-временной, высотный, эвристический и другие принципы усечения множества $< \text{существенные переменные} >_{Ц_1}^k$, а также формируются в памяти записи множеств этих классов $\Omega^{(КТ)} \sim \left\{ s_i^{\Upsilon_2^k}(t) \right\}$ с изменением $\mu_{s_i}^k$ и дальнейшей их неоднократной коррекцией, фильтрацией и межклассовым перемещением [74] (3.12):

$$\Upsilon_2^k \leftarrow \begin{cases} \Omega_{i,j}^{(КТ)} = F\left[ S_t^{\Upsilon_1^k}, \Upsilon_2^k, \Phi^k(t) \right] \\ S_t^{\Upsilon_1^k} = \left( s_1^{\Upsilon_1^k}, \dots s_j^{\Upsilon_1^k}, \dots s_i^{\Upsilon_1^k}, \right); j \neq i \\ S_t^{\Upsilon_1^k} \overset{\Upsilon_2^k}{\rightarrow} \left\{ s_i^{\Upsilon_2^k} \right\} \\ < \text{значимо} >_{Ц_2}^k = \left\{ \mu_{s_i}^{\Upsilon_2^k} \Big/ s_i^{\Upsilon_1^k} \right\}, \end{cases} \tag{3.12}$$

где $\Omega_{i,j}^{(КТ)}$ – классы толерантности по необходимости траекторного управления пар ВСij;

$S_t^{\Upsilon_1^k}$ – состояние ДВО при работе интеллект. оператора $\Upsilon_1^k$;

$s_i^{\Upsilon_1^k}$ – некоторое частное состояние ДВО $s_1^{\Upsilon_1^k} \in S_t^{\Upsilon_1^k} \in S_t$ при работе интеллект. оператора $\Upsilon_1^k$, индексы 1..j...i – порядковые;

$\left\{s_i^{\Upsilon_2^k}\right\}$ – множество частных состояний ДВО при работе интеллект. оператора $\Upsilon_2^k$;

$\mu_{s_i}^{\Upsilon_1^k}, \mu_{s_i}^{\Upsilon_2^k}$ – весовые функции значимости (см. Глава 3, п. 3.1.) частных состояний ДВО при работе интеллект. операторов $\Upsilon_1^k$ и $\Upsilon_2^k$;

$\Upsilon_1^k$ – интеллект. оператор, определяющий множество $< \text{значимо} >_{\text{перв}}^k$ и фиксирующий в памяти каждый $s_i^{(t)} \in < \text{значимо} >_{\text{перв}}^k$.;

$\Upsilon_2^k$ – интеллект. оператор, определяющий классы толерантности по необходимости траекторного управления (конфликтные, бесконфликтные, потенциально-конфликтные, ситуации сближения);

$\Phi^k(t)$ – психо-физиологический параметр k-го диспетчера УВД;

$< \text{значимо} >_{Ц_2}^k$ – нечеткое множество значимых переменных по цели $Ц_2$;

$Ц_2$ – цель деятельности интеллект. оператора $\Upsilon_2^k$.

Рассмотрим простейший механизм формирования $< \text{значимо} >_{Ц_2}^k$, где пренебрежем срабатыванием $\Upsilon_2^k$ еще в процессе восприятия данных о ДВО (т.е. определением явно бесконфликтных ВС, например, на расходящихся курсах у противоположных границ зоны ответственности). Пусть результат работы $\Upsilon_2^k$ осуществляется попарным сравнением формуляров сопровождения $W_{ij\text{ФСН}} \in <$ существенные переменные $>_{Ц_1}^k$, формирующим информационную энтропию: $H = -\log P_k^{\Upsilon_2^k}$, где $P_k^{\Upsilon_2^k}$ рассмотрим в качестве субъективной вероятности наступления некоторого состояния осведомленности о ДВО у диспетчера УВД по

завершению работы его интеллектуального оператора $\Upsilon_2^{\mathrm{k}}$ с классами толерантности (3.13).

$$\mathrm{P}_k^{\Upsilon_2^{\mathrm{k}}} = \frac{\mathrm{W}_{\mathrm{ij}\Phi\mathrm{CH}}}{!W_{ij\Phi\mathrm{CH}}!};\ \mathrm{i} \neq \mathrm{j}, \tag{3.13}$$

где $\mathrm{P}_k^{\Upsilon_2^{\mathrm{k}}}$ – субъективная вероятность наступления некоторого состояния осведомленности о ДВО у диспетчера УВД по завершения работы его интеллектуального оператора $\Upsilon_2^{\mathrm{k}}$

$\mathrm{W}_{\mathrm{ij}\Phi\mathrm{CH}} = 1$ – одна уникальная сравниваемая пара;

$!W_{ij\Phi\mathrm{CH}}!$ – здесь количество требуемых переборов или же количество пар при работе интеллектуального оператора классификации ПКС – $\Upsilon_2^{\mathrm{k}}$.

Заметим, что с $\mathrm{P}_k^{\Upsilon_2^{\mathrm{k}}}$ связана и некоторая область в пространстве личностного фактора – $\mathrm{L}_\Lambda^{\Upsilon_2^{\mathrm{k}}} = f[!W_{ij\Phi\mathrm{CH}}!]$, причем $f[!W_{ij\Phi\mathrm{CH}}!]$ – невозрастающая функция количества информации и получение любых сведений о классификации $\Delta\mathrm{I}_{\mathrm{S(t)}}^{(\Sigma)} \rightarrow \Delta\mathrm{L}_\Lambda^{\Upsilon_2^{\mathrm{k}}}$ (включая запечатленные в памяти срабатывания $\Upsilon_2^{\mathrm{k}}$ в процессе работы $\Upsilon_1^{\mathrm{k}}$, наличие информации от дисплея ПКС, подсказки от диспетчера процедурного контроля или диспетчерского коллектива) лишь сужает – уменьшает область ее значений $\mathrm{L}_\Lambda^{\prime\Upsilon_2^{\mathrm{k}}} = \mathrm{L}_\Lambda^{\Upsilon_2^{\mathrm{k}}} - \Delta\mathrm{L}_\Lambda^{\Upsilon_2^{\mathrm{k}}}$, как и сокращает априорную энтропию; но этим в данной работе приходится пренебречь [56].

В рамках исследования влияния полихромии чем невозможно пренебречь – это возникающим при работе интеллектуального оператора $\Upsilon_1^{\mathrm{k}}$ (связывающего восприятие визуальных элементов и информационный образ ДВО) **эффектом направленного детектирования**, сущность которого лежит в использовании такого свойства психики как внимание [32, 137, 145]. По естественному закону восприятия элементы, одинаковые по цвету, пространственной ориентации, а также близкие друг к другу, имеют тенденцию к непроизвольному объединению, помимо того, зрительное восприятие также имеет свойство разделения объектов

различных цветов [19], поэтому, например, желтые ВС не сливаются с фоном и другими объектами.

Таким образом направленное детектирование характерных особенностей самого изображения – визуальных признаков – подталкивает к рассмотрению некоторого **дескриптора** $D^{(C_{1,ц})}$ (3.14), используемого уже на уровне поведенческих стратегий:

- $Z_{УВД}^{(C_0)}$ – стратегия комбинаторной работы интеллектуального оператора $\Upsilon_1^k$;

- $Z_{УВД+D}^{(C_{1,ц})}$ – стратегия полу-комбинаторной работы $\Upsilon_1^k$того же оператора, но уже с элементом направленного детектирования по цветовому признаку.

$$
\begin{gathered}
D^{(C_{1,ц})} =< s_i^t, s_i^{\Upsilon_D^k}, Z^D >, \\
Z^D: s_i^t \to s_i^{\Upsilon_D^k}, \\
\{s_i^{\Upsilon_D^k}\} = \left\{ \mu_{s_i}^D \Big/ s_i^{(t)} \right\}, \\
s_i^{\Upsilon_D^k} \in S_t^{\Upsilon_D^k}, \\
\{\mu_{s_i}^D | \mu_{s_i}^D = (x_{ТОН}, x_{СВЕТ}, x_{НАСЫЩ})\} \in L_{ЦСН}^{(k)}, \\
\left.\begin{matrix} X_{ТОН}[\text{цветовой тон}] \\ X_{СВЕТ}[\text{светлота}] \\ X_{НАСЫЩ}[\text{насыщенность}] \end{matrix}\right\} \in L_{ЦСН}^{(k)}, \\
Z_{УВД}^{(C_0)} : S_t \xrightarrow{\Upsilon_1^k} \left\{ s_i^{\Upsilon_1^k} \right\}, \\
Z_{УВД+D}^{(C_{1,ц})} : S_t \xrightarrow{\Upsilon_{1D}^k} \left\{ s_i^{\Upsilon_D^k} \right\}.
\end{gathered}
\tag{3.14}
$$

Здесь, $D^{(C_{1,ц})}$ – дескриптор;

$< \cdots >$ – кортеж;

$s_i^t$ – частное состояние ДВО из $S_t$;

$s_i^{\Upsilon_D^k}$ – частное состояние ДВО из $S_t$ после применения правила $Z^D$;

$Z^D$ – правило детектирования из стратегии k-го диспетчера УВД, которое может иметь вид предикативной функции;

$\{s_i^{\Upsilon_D^k}\}$ – множество частных состояний ДВО после применения правила $Z^D$, формирующее состояние ДВО $S_t^{\Upsilon_D^k}$;

$\mu_{s_i}^D$ – весовая функция при применении правила $Z^D$ интеллект. оператором $\Upsilon_D^k$;

$L_{ЦСН}^{(k)}$ - трехмерное пространство цвето-когнитивной перспективы человека, образуемое характерными цветовыми параметрами: $X_{ТОН}$ - цветовым тоном, $X_{СВЕТ}$ – светлотой цвета, $X_{НАСЫЩ}$ – насыщенностью цвета; $x_{ТОН}, x_{СВЕТ}, x_{НАСЫЩ}$ – конкретные параметры цвета, которые применяются в ДВО; $\mu_{s_i}^D$ - функция принадлежности переменной $s_i^{(t)}$ [74, 96];

$\Upsilon_1^k$, $\Upsilon_{1D}^k$ – интелл. операторы k-го диспетчера УВД при формировании первоначального образа ДВО с и без использования дескриптора, соответственно;

Реализация дескриптора $D^{(C_{1,ц})}$ влечет (3.15):

$$\begin{gathered} L_\Lambda^{D\Upsilon_2^k} = L_\Lambda^{\Upsilon_2^k} - \Delta L_\Lambda^{\Upsilon_{2D}^k} \\ L_\Lambda^{D\Upsilon_2^k} < L_\Lambda^{\Upsilon_2^k}, \end{gathered} \quad (3.15)$$

где $L_\Lambda^{D\Upsilon_2^k}$ – область в пространстве личностного фактора диспетчера УВД при работе дескриптора $D^{(C_{1,ц})}$ по классификации ПКС;

$\Delta L_\Lambda^{\Upsilon_{2D}^k}$ – область потенциального влияния дескриптора на работу интеллектуального оператора $\Upsilon_2^k$. Что, соответственно, уменьшает и неопределенность $H_D < H$, связанную с формированием информационного образа ДВО, а, значит, и ситуационной осведомлённости диспетчера УВД.

Заметим, что четкость зрения у человека, обусловленная физиологией устройства зрительного аппарата, присутствует только в центральной части поля его зрения (центральная ямка) [51]. Поэтому сравнивания эшелоны двух формуляров $W_{ijФСН}$ диспетчеру УВД приходится всякий раз изменять угол зрения.

Рисунок 3.12 – Поле зрения диспетчера УВД при анализе ДВО

Цвет интерпретируется и при нечетком изображении (Рисунок – 3.12, 3.13). Это позволяет предположить, что при реализации работы дескриптора будет иметь место и несколько иной алгоритм детектирования и последующего анализа эшелон-уровней, оценивая и около лежащие цветовые пятна периферийным зрением (в том числе при выборе управленческого решения) с меньшим количеством изменений угла зрения [27, 70, 101, 110]. Таким образом можно говорить о семантической навигации манипулированием внимания, как механизме поддержки ППР (Рисунок – 3.13).

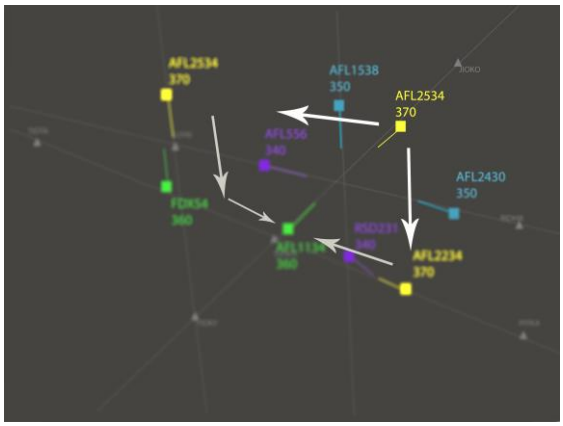



Рисунок 3.13 – Семантическая навигация в анализе ДВО при использовании периферийного зрения

Использование дескриптора в режиме хроматической стереоскопии («выступание-отступание» цвета) формирует проекцию двумерного пространства

ДВО в трехмерный образ цвето-когнитивной перспективы человека. И при развитии навыка  анализа и оценки целых фрагментов ДВО по загруженности «цветовых» плоскостей отдельным цветовым тоном (Рисунок – 3.14).

Горизонтальный дескриптор, имея компактные цвето-графические решения по экстраполяции с индикацией необходимости траекторных изменений с веером возможностной реализации, на практике устранит неточности оценки прогноза, а также окажет поддержку в ППР рациональной направленности.

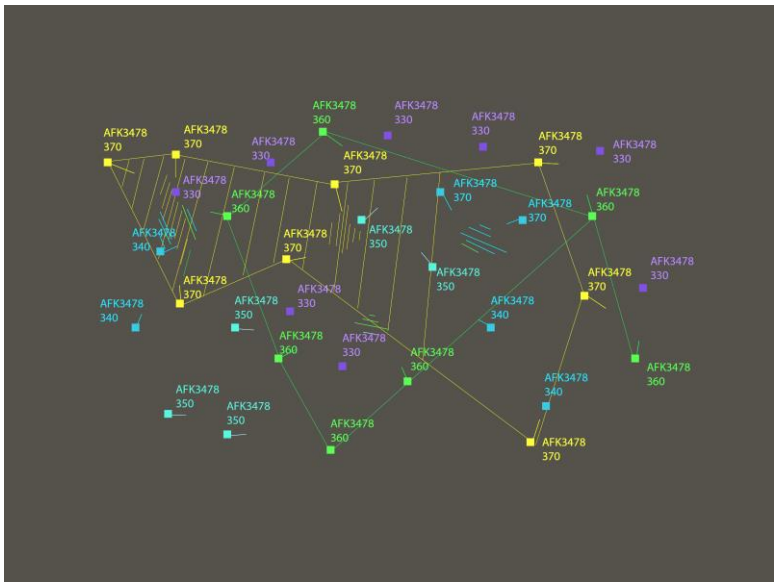



Рисунок 3.14 – Загрузка эшелон-уровней по «цветовым» плоскостям

Влияние дескриптора на интеллектуальный оператор $\Upsilon_2^k$ (определяющий классы толерантности по траекторному управлению групп ВС в конкретной ДВО) может и должно привести к существенному сокращению времени формирования информационного образа ДВО вплоть до пропуска использования $\Upsilon_2^k$ в ситуациях чрезвычайной срочности, уступая место машинному расчёту и выдаче наглядных схем классификаций.

## 3.5. Комплексный показатель эффективности визуально-когнитивных процессов диспетчера УВД при оценке динамической воздушной обстановки

В задаче визуализации ДВО на основе полихромии в современном интерфейсе АС УВД речь, прежде всего, идет о поиске способа отображения объектов управления в ЧМИ $\mathrm{A}_1(\mathrm{S(t)})$ наиболее близкого к $\mathrm{A}_{\mathrm{opt}}(\mathrm{S(t)})$ в модели идеального ИО (см. Глава 2, п. 2.3.1.). Что следует рассматривать с точки зрения оптимального достижения целей УВД при исполнении своих функций диспетчером УВД, а значит и об исключении перечисленных в Главе 1, п. 1.2. недостатков ЧМИ, т.е. отрицательных значений изменения уровня ценности для *k*-го ЛПР – $\Delta_{\mathrm{k}}^{(\mathrm{S})}(\tau)$ (см. Глава 2, п. 2.3.2. Метод вектор-функционала характеристик личностного фактора диспетчера УВД).

При инженерном подходе, предполагающем практическую реализацию, образование комплексного показателя эффективности достижения целей УВД возможно в виде взвешенной суммы частных показателей, которые оценивают принимаемые решения и их результат по сокращению времени запаздывания принимаемых решений и повышению их правильности в отсутствие прироста психофизиологической нагрузки (3.16) [56]:

$$\left.\begin{array}{l} I_1^C = f(\xi_k^{\mathrm{S_t}}) \\ I_2^C = f(\mathrm{t}_k^{\mathrm{S_t}}) \\ \mathrm{E}^k = const \end{array}\right\} \; \mathrm{J}_k^{\Sigma,C} = \min \sum_{\nu=1}^{2} w_\nu I_\nu^{(c)}\,(\mathrm{S_t}) \qquad (3.16)$$

$\mathrm{J}_{\mathrm{k}}^{\Sigma,\mathrm{C}}$ – комплексный показатель эффективности k-го диспетчера УВД;

$w_\nu$ – коэффициент важности показателя эффективности: $0 \le w_\nu \le 1; \sum_{\nu=1}^{2} w_\nu = 1$ и $w_\nu$ либо заданы, либо находятся экспертным путем;

$I_\nu^{(c)}$ – частный показатель эффективности *k*-го диспетчера УВД, $\nu = \overline{1,2}$ при способе отображения ДВО - С;

k – субъект процесса, диспетчер УВД (студент), из числа испытуемых К;

С – вид цветографического / визуально-когнитивного решения:

$$C = \begin{bmatrix} C_{Ц} - \text{способ полихромного (цветовое) представление ДВО} \\ C_{ЧБ} - \text{способ монохромного (черно} - \text{белое) представление ДВО} \end{bmatrix};$$

$S_t$ – динамическая воздушная обстановка со способом отображения элементов С;

$\xi_k^{S_t}$ – величина, характеризующая отклонение реального результата деятельности k-го диспетчера УВД от идеального (грубо выражаясь, ошибка);

$t_k^{S_t^c}$ – регистрируемое время решения поставленной задачи k-ым диспетчером УВД;

$E^k$ – энергетические затраты k-го диспетчера УВД в исследуемой $S_t^c$.

Данные по минимизации выбранных показателей эффективности в конкретных условиях закладывают основы для расчета нормативов пропускной способности определенных зон и секторов обслуживания воздушного движения [1]. При этом отметим, что при оценке того или иного способа отображения ДВО в ЧМИ следует принимать результаты его применения в исследуемой эксперт-группе (3.17):

$$J_K^C = min \sum_{k=1}^{K} J_k^{\Sigma}, \tag{3.17}$$

где $J_K^C$ – суммарный показатель эффективности эксперт-группы, состоящей их количества *K* диспетчеров УВД;

$J_c^{\Sigma}$ – комплексный показатель эффективности диспетчера УВД;

С – вид цветографического / визуально-когнитивного решения.

На практике значение $J_c^{\Sigma}$ ограничивается следующими условиями (3.18):

$$\left.\begin{array}{c} t_k^{S_t^c} \in (t_k^{M_j^{(k)} \to 0}, t_k^{\varphi_S}) \\ \xi_k^{S_t} \in [-\Delta\xi_k^{доп}; +\Delta\xi_k^{доп}] \\ E^k \in \Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t, \theta_{S_t}) \\ \theta_{S_t} = F\left(N_{вс}^{S_t^c}, \sum_{i=1}^{2} f_i, C\right) \in [1; 7] \end{array}\right| \tag{3.18}$$

1) $t_k^{S_t^c} \in (t_k^{M_j^{(k)} \to 0}, t_k^{\varphi_S})$ – время решения задачи УВД на интервале, верхней границей которого время от обнаружения ПКС до момента срабатывания БСПС с

запасом для реализации РФА и совершением маневра ВС – $t_k^{\varphi_S} = t_{ПКС}^{S_t} - t_{РФА}^{S_t} - t_{БСПС}^{S_t} - \Delta t_{маневр}^{S_t}$ (в эксперименте: $t_{ПКС}^{S_t}$ - наименьшее прогнозное время нарушения $\varphi_S$ закладываемых ПКС, $t_{РФА}^{S_t} \to 0$ ), а нижней – время, достаточное для осмысленного ППР при заданной сложности ДВО - $\theta_{S_t}$ и дефиците времени - $Д_{\mathbf{S_t}}^{(\mathbf{k})}$с мерой ответственности по мотивированности диспетчера УВД: $M_j^{(k)} \nrightarrow 0$.

$\varphi_S$ – уровень безопасности ВД, например, установленные интервалы горизонтального $\Delta d_{BC}$ и вертикального $\Delta h_{BC}$ эшелонирования $d_{ij}(t) \geq \Delta d \& h(t) \geq \Delta h_{BC} | p_k(U_i^{(k)}(d_{ij}^{(u_k)}(t), h_{ij}^{(u_k)}(t))) \in \varphi_S$.

2) $\xi_k^{S_t}$ - отклонение результата деятельности диспетчера УВД находится в пределах $\pm\Delta\xi_k^{доп}$ – допустимого уровня отклонения результата от средней ошибки по выборочной совокупности, значение которой может устанавливается экспертным путем.

3) $E^k$ - энергетические затараты на функциональные операции k-го диспетчера УВД определяется по его собственным – $\Phi^{(k)}(t, \Delta t, S_t)$ – особенностям функционирования (в т.ч. восприятия и внимания) в определенный момент времени t, при некоторой продолжительности его работы $\Delta t$, в конкретной ДВО $S_t$ при сложности УВД $\theta_{S_t}$;

4) Параметры сложности ДВО/УВД $\theta_{S_t} \in [1; 7]$ (интервал оценки сложности, применяемый в данном исследовании – от 1 до 7 баллов, см. Приложение 1) определены и известны испытуемым.

Повышение сложности ДВО $\theta_{S_t}$ ограничено допустимой загруженностью диспетчера. А повышение количества ВС в зоне ответственности $N_{вс}^{S_t^c}$ ограничено параметрами безопасности полетов $\varphi_S$, выражаемое в виде установленных норм эшелонирования между ВС, т.к. в итоге количество ВС в зоне УВД попросту не уместятся без нарушения интервалов. К тому же следует учитывать динамику функционирования $ЛПР_k$ в зависимости от продолжительности его работы $\Delta t$, в

конкретной ДВО $S_t$.

При решении задач оптимизации с несколькими критериями важно не только установить ограничения, но и определить влияние того или иного критерия на процесс, т.е. оценить его важность - $w_\nu$.

Поскольку критерии правильности и времени ППР при УВД зависят от множества факторов, то значение их весовых функций определить достаточно сложно. Однако, предполагается, что для различных способов представления информации (С) распределение важности времени и правильности при ППР у *k*-го ЛПР сохраняются, как и, например, параметры безопасности полетов при УВД – $\varphi_S$. В данном случае предлагается воспользоваться их отношением (3.19):

$$w_\nu^{(С_Ц)}/w_\nu^{(С_{ЧБ})} = 1, \nu = \overline{1,2} \quad (3.19)$$

где $w_\nu^{(С_Ц)}$, $w_\nu^{(С_{ЧБ})}$ – важность частного показателя эффективности при полихромном и монохромном отображении, соответственно.

Из этого следует, что отношение комплексного и суммарного показателей эффективности для исследуемых способов отображения ДВО принимает вид (3.20):

$$\frac{J(S_t)}{J(S_t)} = \frac{w_\nu^{(С_Ц)} I_\nu^{(С_Ц)}(S_t)}{w_\nu^{(С_{ЧБ})} I_\nu^{(С_Ц)}(S_t)} = \frac{I_\nu^{(С_Ц)}(S_t)}{I_\nu^{(С_{ЧБ})}(S_t)}, \quad (3.20)$$

где $J(S_t)$ – комплексный показатель эффективности диспетчера УВД;

$I_\nu^{(С_Ц)}$, $I_\nu^{(С_{ЧБ})}$ – частные показатели эффективности при полихромном и монохромном представлении ДВО в ЧМИ АС УВД;

$w_\nu^{(С_Ц)}/w_\nu^{(С_{ЧБ})} = 1$, согласно (3.19).

При таком подходе возникают следующие вопросы, которые необходимо учесть при подготовке эксперимента по влиянию способа предоставления информации о ДВО на анализ ДВО и оценке результатов группы диспетчеров УВД:

1) Соблюдение идентичности экспериментов при исследовании влияния восприятия на процесс принятия решения, когда *запоминание ДВО* оказывает

существенное воздействие как на восприятие ДВО, так и на ее обработку и анализ [99, 126].

В связи с чем можно говорить о возникающей неопределённости процесса сравнения и оценки тех или иных цветографических решений, парировать которую возможно конструированием зеркально отраженного по горизонтали ДВО, а также ДВО с одинаковым количеством ПКС и сложностью ДВО. Это, по мнению экспертной группы, принимавшей участие в подготовке экспериментов, является необходимым и достаточным. В дополнение имело место проведение эксперимента с интервалом, гарантирующим забывание деталей ДВО, в один месяц для диспетчеров УВД и в одну неделю для студентов.

2) Неопределенность оценки диспетчером УВД параметров развития ДВО и классификации ПКС.

Величина $\xi_k^{S_t^c}$ – отклонение реального результата деятельности диспетчера УВД от идеального. По факту эксперимента выражает разницу между определяемым количеством событий, ведущим к нарушению установленного уровня безопасности полетов $\varphi_S$ (ПКС и КС), и их закладываемым количеством в эксперименте в соответствии сложности ДВО.

Объектом $\xi_k^{S_t^c}$ выступает соотношение геометрического интервала предположительно конфликтующих ВС в момент пересечения их траекторий с интервалом, согласно установленных параметров безопасности - $\varphi_S$. Однако при возрастании дефицита и сложности УВД возникает склонность увеличивать заложенные $\varphi_S$ в интервалы оценки ПКС (по мнению диспетчеров из эксперт-группы в 2-5 раз – $\varphi'_S = (2 \div 5)\varphi_S$).

Тогда неопределенность будет характерна не только самому развитию ДВО (поворотные маршруты, нестабильность данных от систем обработки радиолокационной информации, изменение параметров движения, несанкционированные отклонения от маршрута движения, обход препятствий и проч.), но и классификации безопасного интервала (задача определения классов

толерантности по отношению к каждой ПКС) согласно $\varphi'_S$, формирующая, в свою очередь, множество управляющих воздействий.

3) Инертность кратковременной памяти и свойственные ЛПР искажения при переключениях внимания, а также при восприятии тех или иных цветографических решений ДВО.

Деятельность диспетчера УВД при высоком уровне дефицита времени на ППР и сложности УВД характеризуется высокой степенью многозадачности, многочисленными переключениями внимания и активным участием оперативной памяти при высоком уровне психофизиологической нагрузки. Это влечет нарушение последовательности действий в алгоритмах работы и, как следствие, влияет на неопределенность результатов решения задач классификации ПКС [27, 28, 32, 39, 65, 125, 128].

## 3.6. Компенсация остаточной энтропии полихромного отображения объектов в информационном обеспечении диспетчера УВД

При сравнении различных способов отображения ДВО в ЧМИ АС УВД через отношение изменений вектор-функционала личностного фактора диспетчера УВД в каждом из способов требуется конструировать идентичные условия проведения экспериментов, с одними и теми же ЛПР и одинаково сложными ситуациями УВД. Что на практике содержит ряд проблем, которые могут быть определены в следующие области:

I. Визуально-когнитивная составляющая деятельности диспетчера УВД при использовании полихромии объектов управления в ЧМИ;

II. Построения моделей поведения и стратегий диспетчером УВД в процессе ППР при использовании полихромии при использовании полихромии объектов управления в ЧМИ;

III. Измерение результатов деятельности диспетчера УВД с цветографическими решениями ЧМИ.

При этом надо понимать, что различные области могут пересекаться, влиять друг на друга и иметь некоторое не улучшаемое значение погрешности – остаточной энтропии, как меры потерь качества решения задач, поставленных в диссертации.

Особенности визуально-когнитивной составляющей деятельности диспетчера УВД при использовании полихромии связаны:

- с трудоемкостью проведения комплексной проверки воздействия цвета на зрительный аппарат диспетчера УВД с должной продолжительностью (и развитым навыком на первоначальном этапе исследования), в том числе при использовании профессионального диспетчерского оборудования;

- с субъективной стороной восприятия цветовых пятен в конкретных внешних условиях и подготовленности диспетчера УВД, которая отразится на поведенческой составляющей его деятельности (3.21):

$$\mathrm{Z_k(C_i)} = F\left[\mathrm{S(C_i)}, \mathrm{V}_{\mathrm{S_{C_i}}}^{(\mathrm{k})} f_k^{\mathrm{C_i}}\right], \qquad (3.21)$$

где $\mathrm{Z_k(C_i)}$ – стратегия поведения k-го диспетчера УВД;

F[…] – функциональна зависимость;

$\mathrm{S(C_i)}$ – состояние ДВО с применением некоторого цветографического способа представления объектов управления в ЧМИ;

$\mathrm{V}_{\mathrm{S_{C_i}}}^{(\mathrm{k})}$ – вектор-функционал характеристик личностного фактора диспетчера УВД;

$f_k^{\mathrm{C_i}} = f(\mathrm{H}^{\Sigma})$ – функция, задающая условия действия помех («шума») и суммарную неопределенность[7] восприятия данных о ДВО – $\mathrm{H}^{\Sigma}$.

[7] Под суммарной неопределенностью понимают стандартную неопределенность результата измерения, полученного из значений ряда других величин, равная положительному квадратному корню взвешенной суммы дисперсий или ковариаций этих величин, весовые коэффициенты при которых определяются зависимостью изменения результата измерения от изменений этих величин [5].

Тогда как неопределенность (измерения) есть параметр, относящийся к результату измерения и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине, где параметром может выступать, например, стандартное отклонение (или величина, пропорциональная стандартному отклонению) или полуширина интервала, которому соответствует заданный уровень доверия – понятие неопределенности измерений можно использовать и в других смыслах, таких как:

- мера возможной погрешности оценки измеряемой величины, полученной как результат измерения;

- оценка, характеризующая диапазон значений, в пределах которого находится истинное значение измеряемой величины.

Хотя оба эти традиционно используемые представления справедливы как идеализация, основной акцент в них сделан на «*неизвестные*» величины: "погрешность" результата измерения и "истинное значение" измеряемой величины (в противоположность известной оценке этой величины) соответственно. Тем не менее, независимо от того, какой смысл вкладывают в понятие неопределенности, для оценивания составляющей неопределенности всегда используют одни и те же данные и имеющуюся информацию [5].

При сравнении различных способов отображения ДВО в ЧМИ АС УВД через отношение изменений вектор-функционала личностного фактора диспетчера УВД некоторые «шумы» (недостаток освещения, угол и расстояние до дисплея, его степень цветопередачи) и неточности (например, непривычный масштаб полунатурной модели на используемом дисплее, влекущий неточность определения интервалов между ВС и как следствие идентификацию ПКС на более ранних этапах), присущие вектор-функционалу каждого ЛПР, а также характерные погрешности используемого измерительного и методического инструментария эксперимента таким образом взаимокомпенсируются.

Другой проблемой применения хроматической стереоскопии в ИО представляется формирование элементов дескриптора $D^{(C_ц)}$ (см. формула 3.14),

особенно функционального компонента (некоторого дополнительного интеллектуального оператора) *k*-го ЛПР – $\mathrm{Z^D}$: $\mathrm{s_i^t} \rightarrow \mathrm{S_t^{\Upsilon_D^k}}$. Если его действие выразить как ориентированный граф, осуществляющий проекцию цветовых элементов ДВО в трехмерное пространство цвето-когнитивной перспективы человека $\mathrm{L_{ЦСН}^{(k)}}$, то интерес для разработки цвето-графических решений представят и условия, которые могут придать $\mathrm{Z^D}$ свойства гиперграфа (цветовые иллюзии, наложения цвета). Насколько эффективно осуществляется формирование дескриптора у человека, не имеющего отработанных поведенческих техник; насколько «объемным» будет анализ ДВО – $\mathrm{S_t^{\Upsilon_D^k}}$ и в какой степени это будет происходить в разных возрастных группах и психотипах без комплексного исследования оценить непросто [25]. Объединению этих особенностей служит остаточная энтропия $\mathrm{H_D^*}$ – некоторое неулучшаемое на данном этапе значение неопределенности, задаваемого функцией $\mathrm{H_D^*} \in f_k^{\mathrm{C_i}}$. Работа дескриптора непременно отражается на результате работы испытуемых с некоторой, возможно уменьшающейся с приобретением опыта, неопределенностью $\mathrm{H_D^{(k)}} \in f_k^{\mathrm{C_i}}$.

Совершенно справедливо, что бóльшая достоверность результата, как следствие приближения дисперсии измерений к истинному значению и существенному снижению их неопределенности, достигается проведением бóльшего количество испытаний. При этом необходимым является также и соблюдение достаточной идентичности проводимых экспериментов [99]. Идентичность предполагает неизменность условий испытания. В случае проведения экспериментов с активно используемой памятью, это практически осуществимо только при их проведении с интервалами времени, обеспечивающими полное забывание предлагаемых схем у испытуемых, а также наличие моделей оценки идентичности откликов на ту или иную визуальную схему. Факт активного участия памяти влияет также на независимость наблюдений друг от друга. К тому же замечено, что в разные периоды времени ЛПР выбирают

разные стратегии и техники ППР. Например, у диспетчеров УВД, это может выражаться в увеличении времени оценки и анализа ДВО для достижения более высокой эффективности ППР.

В ситуации, где требуется построение оценок вероятности редко повторяющихся событий, исследование пользуется инструментами теории возможностей и моделирует распределение вероятности создания у испытуемых адекватного образа ДВО – $\Upsilon_1^k(\Upsilon_{1D}^k)$ и того, насколько верно он может им воспользоваться для анализа ПКС – $\Upsilon_2^k$ $(\Upsilon_{2D}^k)$, по распределению функции ошибки в зависимости от сложности $\mathrm{Q}_{\mathrm{S_{C_i}}}^{(k)}(\theta)$. А так как множества, формируемые $\Upsilon_1^k(\Upsilon_{1D}^k)$ и $\Upsilon_2^k(\Upsilon_{2D}^k)$ являются вложенными $S_t^{\Upsilon_2^k} \in S_t^{\Upsilon_1^k}$, то первоначальная неточность функционирования $\Upsilon_1^k$ и нечеткость отражаются и в характерных $\Upsilon_2^k$ неточности и нечеткости, формирующим неопределенность их функционирования – $\mathrm{H}_{\Upsilon_{1,2}}^{(k)}(\mathrm{L}_{\Lambda}^{\Upsilon_2^{\mathrm{k}}}) \in f_k^{\mathrm{C_i}}$. Поэтому исследовать неопределенность работы второго оператора отдельно от первого не реально (однако, обратное не верно).

По условиям экспериментальных исследований определение ошибки является производным понятием от конкретного задания. Потому как в каждую разрабатываемую имитационную модель (схему), согласно конкретному заданию, закладывается некоторый четко детерминированный уровень сложности $\theta$ – количество ВС, количество эшелон-уровней, количество ПКС, – то ошибкой будет считаться отклонение результата деятельности испытуемого от закладываемого (3.22):

$$\begin{gathered}
\xi_{\mathrm{k}}^{\mathrm{S_{C_i}}} = \mathrm{F}\left(\mathrm{L}_k^{\Upsilon_{1,2}^{\mathrm{S_{C_i}}}}\right); \Upsilon_{1,2}^{\mathrm{S_{C_i}}} : i = \begin{bmatrix} 1 \\ \text{Ц} \end{bmatrix}, \\
\mathrm{L}_{\mathrm{k}}^{\Upsilon_{1,2}^{\mathrm{S_{C_i}}}} = \left| \mathrm{L}_{\text{ИДЕАЛ}}^{\Upsilon_{1,2}^{\mathrm{S_{C_i}}}} \pm \Delta \mathrm{L}_{\mathrm{k}}^{\Upsilon_{1,2}^{\mathrm{S_{C_i}}}} \right|, \\
\xi^{\Upsilon_{1,2}^{\mathrm{S_{C_i}}}} = \sum_{\mathrm{k}=1}^{\mathrm{K}} \xi^{\Upsilon_{1,2}^{\mathrm{k}}}(\mathrm{S_{C_i}}) \,;\; \xi^{\Upsilon_{1,2}^{\mathrm{k}}}(\mathrm{S_{C_i}}) : i = \begin{bmatrix} 1 \\ \text{Ц} \end{bmatrix} \to \xi^{\Upsilon_{1\mathrm{D},2\mathrm{D}}^{\mathrm{k}}}(\mathrm{S_{C_{1,Ц}}}).
\end{gathered} \tag{3.22}$$

где $\xi_{k}^{S_{C_i}}$ – ошибка определения количества ПКС в заданной экспериментом ДВО $S_{C_i}$ со способом представления данных $C_i$ ($i$ =1 – монохромный, Ц – полихромный);

F – функциональная зависимость;

$L_{k}^{\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}}$ – область реальных и $L_{ИДЕАЛ}^{\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}}$ – область идеальных (закладываемых в имитационную модель ДВО $S_{C_i}$;) значений в пространстве вектор-функционала $V_{S_{C_i}}^{(k)}$ k-го испытуемого при работе интеллектуальных операторов $\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}$;

$\Delta L_{k}^{\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}}$ – вносимые k-м испытуемым изменения в область $L_{ИДЕАЛ}^{\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}}$;

$\Upsilon_{1D,2D}^{S_{C_{1,Ц}}}$ – интеллектуальные операторы, использующие дескриптор D при решении задач интеллект. операторов $\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}$;

К – численность испытуемой группы диспетчеров УВД.

Для количественной оценки $\Delta L_{k}^{\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}}$ при проведении эксперимента можно вопользоваться бальной оценкой степени отклонения реального результата от закладываемого - штрафами, при которых за один пропуск ПКС будет присваиваться 1 штрафной балл.

Из этого следует, что неопределенностью работы интеллектуальных операторов $\Upsilon_1^k(\Upsilon_{1D}^k)$ и $\Upsilon_2^k(\Upsilon_{2D}^k)$ при изменении ИО может служить оценка, характеризующая диапазон значений штрафов $\Delta L_{k}^{\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}}$, в пределах которого находится истинное значение безошибочности работы, и при числе испытаний $n =$ К её можно задать среднеквадратическим отклонением результатов испытаний – $\sigma_\Theta$ (3.23) [99]:

$$\sigma_\Theta\left(\Delta L^{\Upsilon^{S_{C_i}}}\right) = \sqrt{\frac{1}{K-1}\sum_{k=1}^{K}(\Delta L_k^{\Upsilon^{S_{C_i}}} - \overline{\Delta L_k^{\Upsilon^{S_{C_i}}}})^2}, \qquad \overline{\Delta L_k^{\Upsilon^{S_{C_i}}}} = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\Delta L_k^{\Upsilon^{S_{C_i}}}. \tag{3.23}$$

где $\Delta L_k^{\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}}$ – вносимые k-м испытуемым изменения в область $L_{ИДЕАЛ}^{\Upsilon_{1,2}^{S_{C_i}}}$;

К – численность испытуемой группы диспетчеров УВД.

Однако результатом работы $\Upsilon_1^k(\Upsilon_{1D}^k)$ и $\Upsilon_2^k(\Upsilon_{2D}^k)$ при исследовании восприятия и анализа ДВО в конкретном способе отображения ДВО считается назначение испытуемым количества ПКС предлагаемой $S_{C_i}(\Theta)$ при наступлении достаточной уверенности в правильности подсчета. В проводимых экспериментах время подсчета не лимитировалось. При этом основным инструментом апробации цветографических решений были нединамические модели, при которых пренебрегалось обновление данных о ДВО. По той причине, что существенно большая часть выполнения заданий лежит в промежутке от 10 до 25 секунд, который соответствует несущественному изменению ДВО в рамках определения среднесрочных ПКС. Тогда неопределенность времени выполнения задания, как среднеквадратическое отклонение, безусловно следует учитывать при оценке общей неопределенности функционирования $\Upsilon_1^k(\Upsilon_{1D}^k)$ и $\Upsilon_2^k(\Upsilon_{2D}^k)$ в том или ином способе отображения ДВО.

Можно представить ситуацию, когда человек в силу возрастных или физиологических ограничений не в состоянии оперировать хроматической стереоскопией (однако из 30 испытуемых в возрасте от 20 до 60 такого состояния выявлено не было). Тем не менее, не исключено появление резко выбивающихся и неожиданных результатов, которые могут повлиять на результат оценки работы, что поднимает вопрос о робастности оценивания, а также проведения профессионального отбора.

Задача робастного оценивания состоит в построении решающих правил для получения статистики по эффективности близкой к оптимальной и в тоже время наименее чувствительной, как к приближенным распределениям параметров, так и к «выбросам». Хотя эту задачу нельзя считать изученной в полном объеме, достаточно убедительные решения все же существуют [63].

На практике широко используется подход, основанный на функции влияния, а также группировка данных наблюдений по равным параметрическим интервалам или равновероятностным областям, где достигается максимальная (минимальная) информационная энтропия, наибольшая мощность критерия согласия или отношение правдоподобия. Также известен подход, когда оценки параметров распределений находятся в результате максимизации функции правдоподобия $w$ по частично группированной, негруппированной и цензурированной выборке [63]. Таким способом получают некоторое представление о распределении временного параметра, однако, насколько правомерно полагать, что большее время является «выбросом», а не выбором стратегии поведения. При этом разумно установить ограничение в виде целесообразности выбираемых стратегий. В этом заключается дополнительная неопределенность временного показателя эффективности в вектор-функционале характеристик личностного фактора диспетчера УВД при конкретном способе отображения ДВО – неопределенность трактовки «восприятие-стратегия» [99].

## Выводы по главе 3

Цветографические решения визуализации ДВО при использовании полихромного отображения объектов управления сокращают:

1. В среднем на 21,8% количество информации в процессе создании первоначального информационного образа ДВО у диспетчера УВД;

2. Время механико-моторных переключений на активизацию функций ЧМИ АС УВД (в среднем от 17% и до 100% в определенных вариантах визуализаций);

3. Количество переборов формуляров сопровождения ВС при семантической навигации в процессе анализа ДВО до минимально возможного.

Как следствие, ожидаемое снижение времени анализа ДВО от ~20% и выше, соответственно законам Хика, Хика-Хайнама, Фиттса, Бугера-Вебера-Фехнера и др. Предполагается снижение загруженности диспетчера УВД и за счет изменения поведенческих стратегий и алгоритмов деятельности диспетчера УВД при анализе ДВО на ПКС с реализацией цветографического дескриптора в ИО.

Для решения прикладных задач улучшения ситуационной осведомленности при полихромии в третьей главе использованы принципы и модели разработки цветографических решений ИО диспетчера УВД, рассмотренные во второй главе:

- предложен способ отображения ДВО с хроматической стереоскопией высот ВС для сокращения времени обнаружения ПКС;
- представлено полихромное отображение ДВО, которое устраняет нагромождение элементов ДВО при высокой плотности ВД;
- разработан вид окна ПКС, устраняющий недостатки существующего аналога;
- разработан способ представления диспетчеру УВД вариантов решений ПКС.

Результаты решения вышеперечисленных задач компилируются в модели комплексного показателя эффективности визуально-когнитивных процессов УВД,

где основой является то, что более быстрое и точное восприятие объектов в ИО оставляет больший временной запас для остальных этапов принятия решений.

Метод полутоновой полихромной визуализации элементов ДВО получил одобрение со стороны персонала по УВД и разработчиков АС УВД, начата реализация средства оперативной оценки ДВО «Скроллинг» в комплексах средств автоматизации УВД (Приложения 3, 4).

В процессе разработки и дальней оценки результативности применения разрабатываемых средств визуализации ДВО остро встали вопросы остаточной энтропии, которая складывается из качества средств отображения ДВО и условий их использования, качества восприятия ДВО и решения задач УВД, отсутствия выработанных стратегий поведения при работе в исследуемых цветографических решениях, неопределенность оценки влияния полихромной визуализации ДВО на точность предполагаемого развития ДВО, интервалов сближения и проч.

Действенность разрабатываемых цветографических решений ДВО подлежит обоснованию по выбранным методам их оценки на имитационных моделях – чему посвящена четвертая глава.

# 4. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛИХРОМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ВИЗУАЛЬНО-КОГНИТИВНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

## 4.1. Оценка полихромного отображения и способов визуализации динамической воздушной обстановки в эксперт-группах

Как показано в Главе 3, п. 3.3., широкий спектр возможного применения полихромной визуализации для решения многочисленных задач УВД требует проведения оценки цветографических решений по тем направлениям, которые наиболее доступны и практически реализуемы с учетом располагаемых ресурсов. Оценка полихромной визуализации ДВО проводилась в имитационных моделях средств ИО диспетчера УВД на маршруте плотностью до 21 ВС в трех задачах обнаружения ПКС.

Специфика деятельности диспетчера на маршруте (прерогатива райono-диспетчерского центра ОВД) имеет негласное аллегоричное правило, надежность которого проверена поколениями специалистов – "один самолёт - один эшелон". Данное правило-аллегория закладывает принцип расстановки приоритетов в методах создания установленных интервалов при УВД в райono-диспетчерском центре прежде всего для обеспечения надлежащего уровня безопасности полетов при высокой загруженности диспетчера (или же сложности УВД/ДВО). Это связано с формирующимся временным дефицитом и необходимостью оптимального распределения усилий по выполнению увеличивающегося числа функциональных операций, в том числе и возможностью обладать наивысшей ситуационной осведомленностью, а также положительной тенденцией к ее изменению во времени.

По широкому спектру обстоятельств в полете возникает необходимость в

изменении эшелона при запросе со стороны экипажа ВС снижения/набора. Причём, подобный запрос вполне может иметь характер исключительной срочности при чрезвычайно высоком временном дефиците и психологической напряженности.

Так, при решении задачи изменения эшелона полета диспетчер радиолокационного контроля анализирует информационную среду на наличие следующих возможных ПКС:

- метки встречных и попутных ВС на пересекаемых эшелонах;
- метки встречных и попутных ВС на занимаемом эшелоне.

Возьмём типовую ситуацию (Задача №1), соответствующую работе секторов РДЦ. При запросе ВС, находящегося на эшелоне 360 (36000 футов), снижения до эшелона 340 диспетчеру необходимо проанализировать краткосрочные конфликты на эшелоне 350 при горизонтальном интервале 30 км и краткосрочные, среднесрочные на 340-м при интервале 10 км (а также по возможности и долгосрочные). При запросе же 320 (Задача №2) соответственно увеличивается количество эшелонов для анализа 350, 330 с интервалом 30 км, 340 – 10 км на краткосрочные и 320 на краткосрочные, среднесрочные и по возможности долгосрочные.

Причем, в существующей визуализации ДВО в АС УВД имеются особенности. Радиолокационные метки ВС смежных секторов при вертикальном делении воздушного пространства исполнены темно серым цветом и практически сливаются с серым фоном, что формирует дефекты восприятия и является причиной пропуска ПКС. И при необходимости снижения/набора ВС на эшелон, принадлежащий другой зоны ответственности, велика вероятность пропуска конфликтующих ВС. Поэтому его пересечение/занятие помимо собственного анализа ДВО смежной зоны ответственности, как правило, сопровождается дополнительными согласованиями диспетчеров смежных секторов возможности изменения высоты – анализа ДВО на кратко-, средне- и долгосрочные конфликты. При этом данные примеры являются общепринятыми способами визуализации ДВО в ЧМИ.

Имеющиеся средства АС УВД содержат цветовое выделение вовлечённых ВС одним цветом (однотонного цветового обозначения всех ВС от эшелона 360 до 320 – задача 2), что сопровождается формированием в восприятии новой ДВО, при том не всегда в удачной когнитивной схеме (Рисунок – 4.1). Также существует функция обнаружения ПКС, которую представляет окно среднесрочных конфликтов движения ВС (PPD – potential problem display). Данное окно содержит дополнительную к ДВО информацию, что увеличивает когнитивную нагрузку и требует переключения внимания. А при высокой загруженности диспетчера УВД ввиду дефицита времени и переизбытка информации может не использоваться.

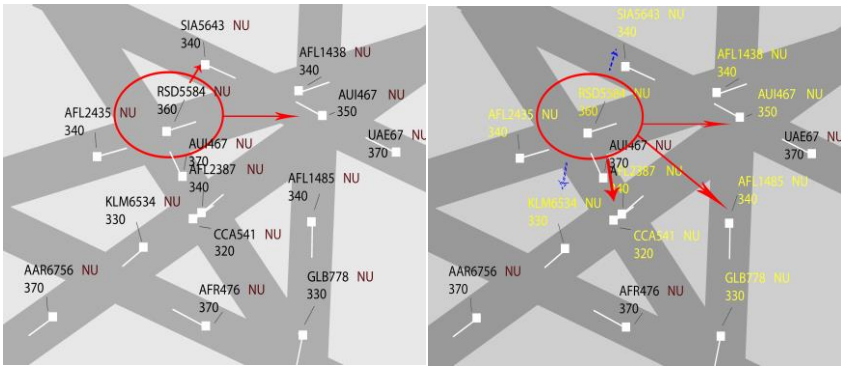



Рисунок 4.1 – Пример существующего однотонного обозначения ВС на разных эшелонах (в круге анализируемый ВС в задаче №2

Цветографические решения разрабатываются применительно к информационной среде средств отображения ДВО в целях создания необходимого когнитивно-методологического инструмента поддержки принятия рациональных решений в типовых задачах по выявлению КС и парирования невыявленных диспетчером КС/ПКС.

Отправная точка – графическое полихромное сопровождение эшелонов в формулярах сопровождения ВС, следующих по маршруту.

Первым этапом на пути к применению цветографических решений стали опросы, действующих диспетчеров различного возраста, класса, с различным

стажем УВД о предпочтительных цветовых сочетаниях, а также сбор накопившихся инициатив по модернизации интерфейса средств отображения ДВО – согласно известным методикам [62, 99]. Стоит заметить, что в целом диспетчеры выражали положительное отношение к существующим графическим элементам АС УВД, за исключением ситуаций высокой сложности УВД (высокая плотность ВС в зоне и на подлете к ней, множественные пересечения маршрутов ОВД, наличие аэродромов высокой регулярности и интенсивности полетов, особенности процедур УВД и проч.).

Отмечается, что практика взаимодействия в разных условиях по широкому спектру задач и психофизиологических состояний формирует у каждого диспетчера УВД некоторые тенденции к усовершенствованию интерфейса в соответствии с личными предпочтениями и опытом. Что вполне естественно и согласно современному уровню техники реализуемо. Таким образом, был составлен перечень некоторых цветовых и графических элементов (Рисунок – 4.2), вобравший в себя пожелания и предпочтения диспетчеров для проверки их в типовых задачах УВД.

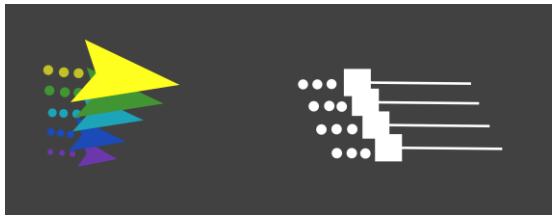


Рисунок 4.2 – Выбранное цветографическое решение радиолокационных меток ВС в ЧМИ для первоначального исследования (слева) и существующая (справа)

На основании этого перечня была разработана цветографическая схема (Рисунок – 4.2, 4.3) с предполагаемым максимальным цвето-хроматическим эффектом.

Для проверки эффективности деятельности диспетчера УВД в характерных задачах УВД в данной цветографической схеме была сформирована экспертная

группа из 10 действующих диспетчеров УВД РДЦ (генеральная совокупность 110 диспетчеров), работа с которой велась на протяжении всего периода исследования – от выявления предпочтений и нахождения компромиссного цветографического варианта до разработки ситуаций ДВО, учета сложности УВД и непосредственно участия в экспериментах, обсуждения результатов и внесения корректировок. Членами эксперт-группы стали действующие диспетчеры УВД со стажем ОВД не менее 5 лет, семеро 1-го и трое 2-го класса. Для проведения эксперимента в состав эксперт-группы был дополнен 21 студентом выпускного курса Белорусской государственной академии авиации по соответствующей специальности, прошедшиими тренажерную подготовку в качестве диспетчеров УВД на тренажерном модуле Минского РДЦ.

В ходе эксперимента предлагалось решить схожие задачи №1 и №2 для типовых ситуаций ДВО различной плотности ВД (8, 12, 16 ВС), а также задача анализа ДВО на наличие ПКС при следовании ВС по маршруту (условное обозначение «задача №0», т.е. с нулевым изменением ДВО) на нединамической имитационной модели (схожей визуально с привычным интерфейсом «Синтез АР2») средств наблюдения АС УВД при использовании цветографического решения (II) и в его отсутствие (I), Рисунок – 4.3.

Исследовалась и задача анализа ДВО на наличие ПКС при следовании ВС по маршруту на («задача №0) в динамической модели (Рисунок – 4.4). При применении полихромии в динамической имитационной модели задача была представлена в цветографической схеме без числовых обозначений для исследования именно цветового восприятия без усиленного стереоскопического эффекта. Однако, в реальном масштабе времени динамическая модель не оправдала своей результативности в виду того, что диапазон оценок ПКС находится в рамках 10-30 секунд, что соответствует незначительному изменению ДВО.

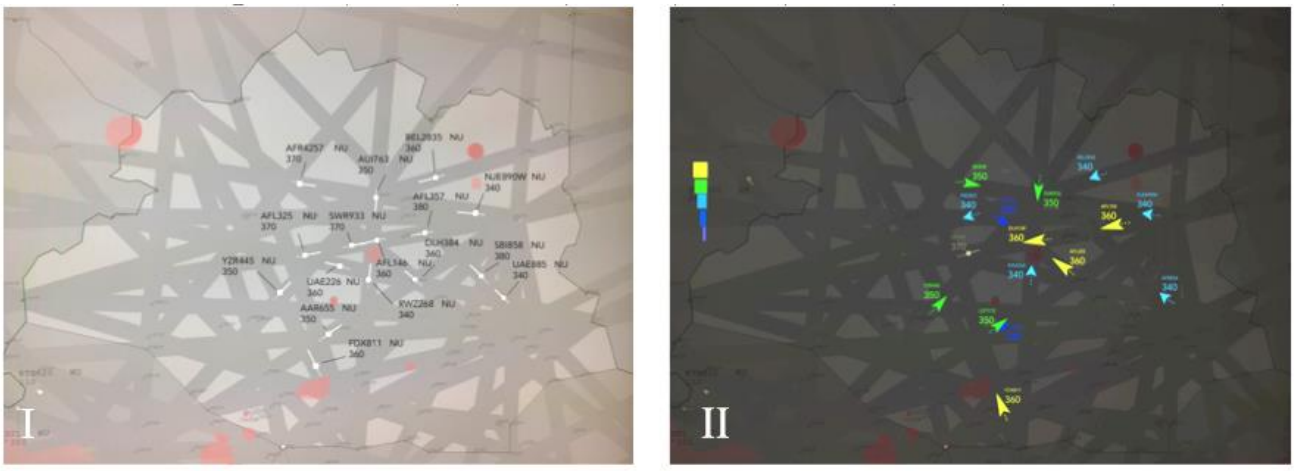



Рисунок 4.3 – Нединамические имитационные модели информационной среды средств наблюдения за ДВО в АС УВД (существующая цвето-графическая схема ДВО – I – (слева) и используемая при исследовании – II – (справа))

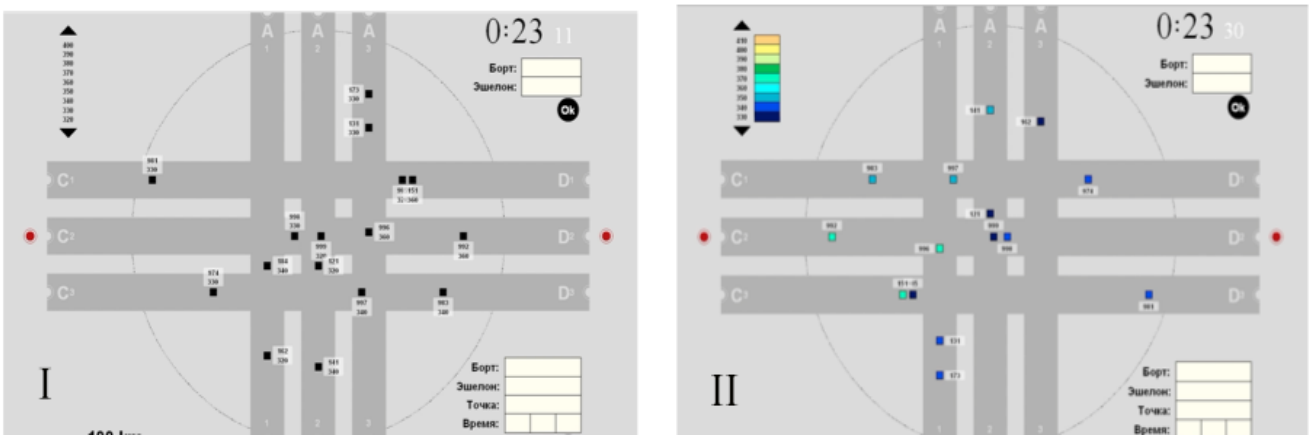



Рисунок 4.4 – Динамические имитационные модели информационной среды средств наблюдения за ДВО в АС УВД

Перед началом испытаний все участники были ознакомлены с целью исследования и принципами использования цветографического решения. Практика функционирования в подобных решениях у групп отсутствовала. Предварительно давалась возможность недолго ознакомиться с ситуацией. Затем предлагалось оценить воздушную обстановку на наличие ПКС (в среднем 3,3 ПКС на ситуацию) и зафиксировать их количество и время согласно хронометражу от начала отсчета времени выполнения задания.

В «задаче №0» предполагалось отсутствие изменения высоты полета ВС. В последующих заданиях имитировалось, что некоторое ВС запрашивает снижение (задача №1, №2), задание теста – «зафиксировать количество ПКС и в какой момент времени» – оставалось прежним.

В сравнении с эталонным количеством ПКС оценивалась правильность анализа в штрафных баллах. Для группы диспетчеров УВД из экспертной группы пропуск одной ПКС расценивался как «-1» штрафной балл, а подсчет больше заданного числа – как «-0,25» балла за 1 сверх ПКС. Расценки штрафов согласовывались с соображениями «платы» в контексте исполнения функций по УВД.

У студентов принималось сверхколичество ПКС за 1 штрафной балл с оговоркой на «перестраховку» и указывалось в выборочной совокупности со знаком «+», как превышение эталонного количества, а пропуск ПКС указывался со знаком «-». Такой подход обеспечивает анализ данных о пропусках и неточности оценки при ещё только развивающемся навыке оценки ПКС, т.е. с широким диапазоном и неоднородным характером нечетких оценок дистанций и критериев классификаций ПКС при прогнозировании у студентов.

Между тем идентичность сложности тестов обеспечивалась зеркальным отражением воздушной обстановки, изменением цифр обозначения меток и высотного положения, а также ситуациями ДВО с аналогичным количеством ВС и однотипными ПКС, что по мнению эксперт-группы устраняло узнаваемость и запоминание ситуаций.

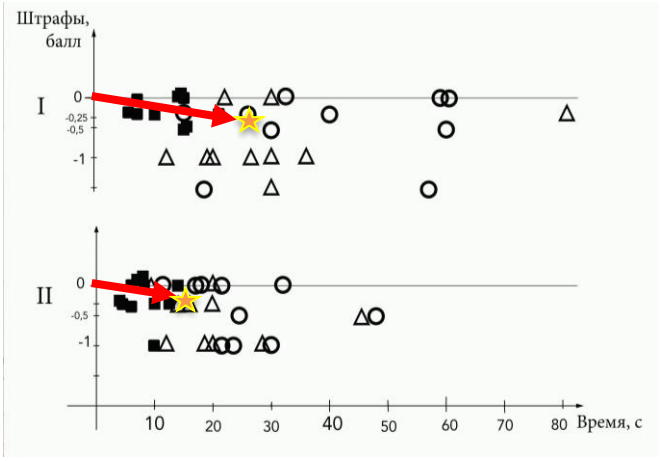
Методика проведения экспериментов и представления результатов основывалась на теории и практике инженерно-психологического проектирования и экспертизы, разработанных в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники под руководством специалистов Объединенного института проблем информатики НАН Республики Беларусь [99]:

- сравнительная оценка переработки человеком-оператором наглядной визуальной информации в зависимости от системы отсчета [99, в п. 2.7];

- исследование влияния количества объектов на эффективность деятельности диспетчера УВД [99, в п. 2.10].

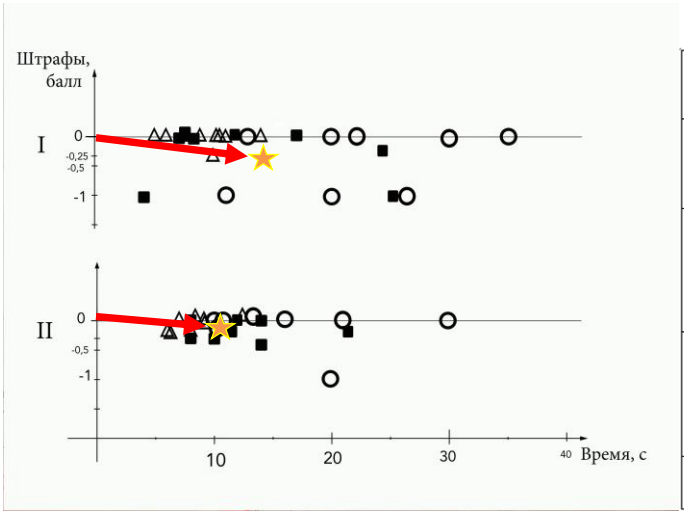
## 4.2. Оценка влияния хроматической стереоскопии в динамической воздушной обстановке на обнаружение потенциально конфликтных ситуаций диспетчером УВД

Для оценки изменения временной характеристики деятельности испытуемых удобно воспользоваться представлением сборных данных нединамической (Рисунок – 4.5, 4.6, 4.7) и динамической моделей (Рисунок – 4.8). Диаграмма статического варианта отображает персональные данные каждого испытуемого при различном количестве ВС – 8, 12, 16 в плоскости «штрафы/время решения задач». На Рисунке – 4.8, слева: $\xi_k^{S_t^c}$ – средние значения штрафов группы испытуемых диспетчеров УВД (ошибки идентификации ПКС), $t_k^{S_t^c}$ – затраты времени на решение поставленных задач (медианное значение).



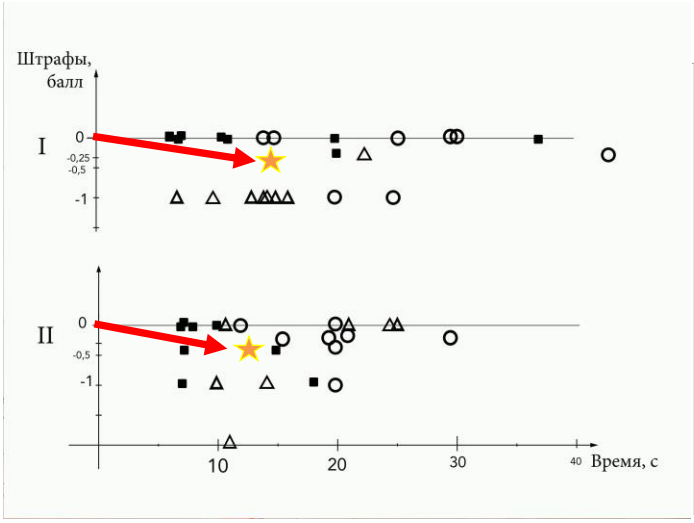

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\lvert\xi_k^{S_t^c}$(балл)$\rvert$ | 0,195 | 0,775 | 0,475 | **0,48** |
| $t_k^{S_t^c}$(с) | 14,5 | 27,5 | 44,5 | **28,8** |
| $\lvert\xi_k^{S_t^c}$(балл)$\rvert$ | 0,225 | 0,525 | 0,4 | **0,38** -20% |
| $t_k^{S_t^c}$(с) | 7,5 | 18 | 22,5 | **16** -44,4% |
| | 8 ВС | 12 ВС | 16 ВС | Ср.знач. $\theta(S_t)$ |

Рисунок 4.5– Сборные данные задача №0: определение количества ПКС по эшелон-уровням, график время/штрафы, статическая модель I – монохромная, II – полихромная (квадрат – при 8 ВС, треугольник – при 12 ВС, круг – при 16 ВС)




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\lvert\xi_k^{S_t^c}$(балл)$\rvert$ | 0,28 | 0,03 | 0,375 | **0,229** |
| $t_k^{S_t^c}$(с) | 10,5 | 20,5 | 21 | **14** |
| $\lvert\xi_k^{S_t^c}$(балл)$\rvert$ | 0,22 | 0,09 | 0,125 | **0,146** -36% |
| $t_k^{S_t^c}$(с) | 11,5 | 8 | 14,5 | **11,33** -19% |
| | 8 ВС | 12 ВС | 16 ВС | Ср.знач. $\theta(S_t)$ |

Рисунок 4.6 – Сборные данные – задача №1: определения количества ПКС при снижении на два эшелона полета, график время/штрафы, статическая модель I – монохромная, II – полихромная (квадрат – при 8 ВС, треугольник – при 12 ВС, круг – при 16 ВС)




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\lvert\xi_k^{S_t^c}$(балл)$\rvert$ | 0,03 | 0,94 | 0,31 | **0,427** |
| $t_k^{S_t^c}$(с) | 10,5 | 14 | 25 | **16,5** |
| $\lvert\xi_k^{S_t^c}$(балл)$\rvert$ | 0,375 | 0,625 | 0,3125 | **0,437** +2% |
| $t_k^{S_t^c}$(с) | 8,5 | 12 | 20 | **13,5** -18% |
| | 8 ВС | 12 ВС | 16 ВС | Ср.знач. $\theta(S_t)$ |

Рисунок 4.7 – Сборные данные – задача №2: определения количества ПКС при снижении на четыре эшелона полета, график время/штрафы, статическая модель I – монохромная, II – полихромная (квадрат – при 8 ВС, треугольник – при 12 ВС, круг – при 16 ВС)

Для диаграммы динамического варианта будем использовать коллективные данные исследования решения «задачи №0» при одновременном количестве 15 меток ВС по 8-и отдельным ПКС, которые возникают в разное время. Здесь «время

решения задачи» – это среднее время обнаружения отдельного ПКС группой (от момента представления ДВО с 15 метками и 5 ПКС, а также появления последующих меток – 3 ПКС, до записи номера меток, участников ПКС, и времени обнаружения ПКС), а штрафы начисляются за каждый пропуск этой ПКС одним из участников и суммируются для группы.

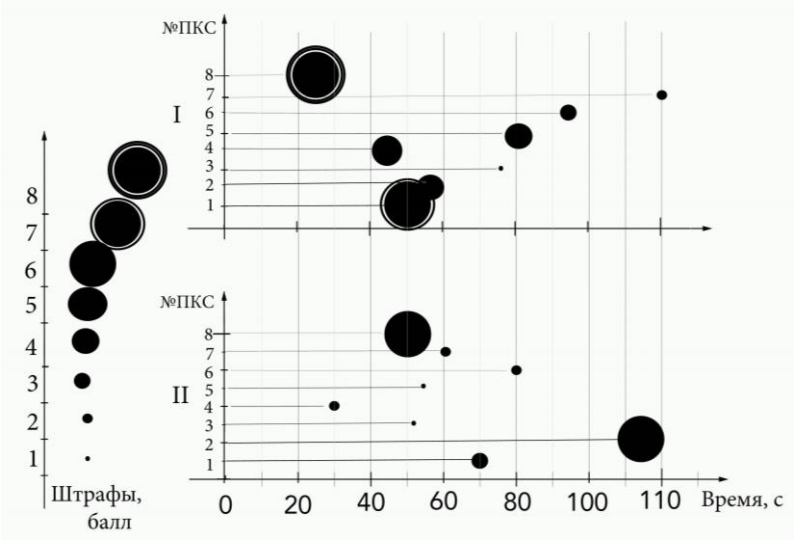



Рисунок 4.8 – График коллективное время/штрафы, «задача №0», динамическая модель, 15 ВС

Как можно заметить, полученные результаты для Решения (II) сокращают времени на оценку количества ПКС при довольно высоких показателях правильности, соразмерных существующему решению (I) и в некоторых моментах даже лучших, стоит принять во внимание отсутствие опыта работы с цветографическими решениями как у экспертной группы диспетчеров УВД, так и студентов, проходивших практическую подготовку на диспетчерском тренажере.

Данные по студенчской выборке представлены в Таблице – 4.1, где анализ проведен как по вероятности правильного решения – P, необходимости безошибочной работы – N – и возможности безошибочной работы – П, так и по медиане времени появления результата и усредненного времени по медианам для каждой задачи.

Результаты решения задач №0,1,2 группой студентов с применением возможнотных моделей оценки безошибочной работы, а также с суммарным штрафом при пропуске ПКС представлены в Таблице - 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты решения задач №0,1,2 группой студентов

| | № задачи | L | Медиана времени выполнения задания, ($\tau_k$, *сек*) | | | Среднее значение по медианам времени (<$\tau_k$, >, *сек*) | Усреднённые медианы времени (<t>, сек) | Вероятность ошибочного результата (Q - вероятность/штрафной балл) | | | безошибочность | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | Статистическая из эксперимента (P) | | | Необходимость безошибочной работы (N) | | | Возможность безошибочной работы (П) | | |
| | | | плотность ВС | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 8 | 12 | 16 | | | 8 | 12 | 16 | 8 | 12 | 16 | 8 | 12 | 16 | 8 | 12 | 16 |
| МОНОХРОМНОЕ | 0 | + | 32 | 49 | 70 | 50,3 | | 0,47/13 | 0,22/5 | 0,22/10 | | | | 0,53 | 0,78 | 0,78 | 0,76 | 0,89 | 0,89 |
| | | 0 | 35 | 60 | 59 | 51,3 | 47,5 | | | | 0,14 | 0,18 | 0,42 | | | | | | |
| | | - | 14 | 49 | 60 | 41 | | 0,39/6 | 0,6/15 | 0,36/13 | | | | 0,61 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,8 |
| | 1 | + | 15 | 30 | 30 | 24,8 | | 0,07/2 | 0,32/14 | 0,5/21 | | | | 0,93 | 0,68 | 0,5 | 0,96 | 0,84 | 0,75 |
| | | 0 | 18 | 21 | 30 | 23 | 23,2 | | | | 0,18 | 0,32 | 0,21 | | | | | | |
| | | - | 20 | 23 | 23 | 22 | | 0,75/20 | 0,36/13 | 0,29/8 | | | | 0,75 | 0,36 | 0,29 | 0,875 | 0,68 | 0,645 |
| | 2 | + | 18 | 35 | 33 | 28,6 | | 0,14/6 | 0,18/8 | 0,32/15 | | | | 0,86 | 0,82 | 0,68 | 0,93 | 0,91 | 0,84 |
| | | 0 | 16 | 23 | 34 | 24,3 | 26,4 | | | | 0,47 | 0,11 | 0,39 | | | | | | |
| | | - | 20 | 30 | 29 | 26,3 | | 0,39/14 | 0,71/26 | 0,29/9 | | | | 0,39 | 0,71 | 0,29 | 0,695 | 0,855 | 0,645 |
| ПОЛИХРОМНОЕ | 0 | + | 0 | 24 | 36 | 20 | | 0 | 0,39/15 | 0,46/28 | | | | 1 | 0,61 | 0,54 | 1 | 0,805 | 0,77 |
| | | 0 | 14 | 25 | 30 | 22,8 | 21,8 (-54%) | | | | 0,36 | 0,25 | 0,32 | | | | | | |
| | | - | 9 | 23 | 36 | 22,6 | | 0,64/10 | 0,36/10 | 0,22/7 | | | | 0,36 | 0,64 | 0,22 | 0,68 | 0,82 | 0,61 |
| | 1 | + | 21 | 16 | 27 | 21,2 | | 0,11/2 | 0,43/19 | 0,64/22 | | | | 0,89 | 0,57 | 0,36 | 0,95 | 0,785 | 0,68 |
| | | 0 | 11 | 17 | 15 | 14,2 | 18,7 (-20%) | | | | 0,14 | 0,25 | 0,04 | | | | | | |
| | | - | 15 | 23 | 25 | 20,8 | | 0,73/23 | 0,32/10 | 0,32/7 | | | | 0,27 | 0,32 | 0,68 | 0,635 | 0,66 | 0,84 |
| | 2 | + | 22 | 23 | 26 | 23,6 | | 0,18/6 | 0,46/23 | 0,5/25 | | | | 0,82 | 0,54 | 0,5 | 0,91 | 0,77 | 0,75 |
| | | 0 | 18 | 23 | 30 | 23,6 | 26,4 | | | | 0,57 | 0,18 | 0,32 | | | | | | |
| | | - | 23 | 33 | 40 | 32 | | 0,25/7 | 0,36/15 | 0,18/5 | | | | 0,75 | 0,64 | 0,82 | 0,875 | 0,82 | 0,91 |

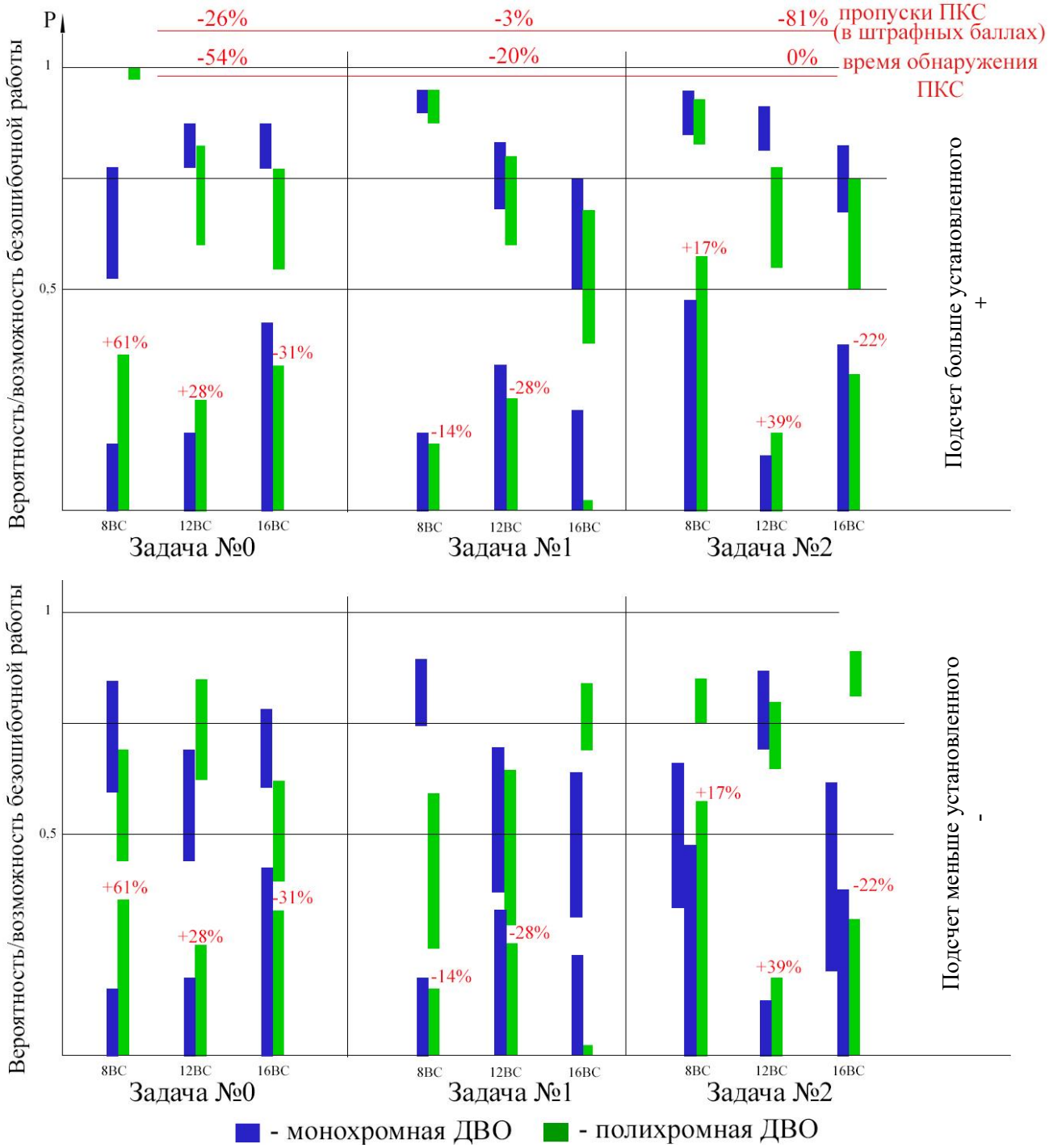



Рисунок 4.9 – Сравнение результатов работы студентов в полихромной (справа) и монохромной (слева) ДВО в задачах №0, 1, 2 на основе теории возможностей (сокращение штрафов и времени при полихромии указаны для пропуска ПКС)

Сводные данные результатов выполнения задач №0, 1, 2 группой студентов также представлены в графической форме – Рисунок 4.9. На диаграммах от оси

абсцисс отображены вероятности безошибочной работы (одинаковы для обоих диаграм) для каждой задачи при возрастающей сложности ДВО. Выше черты «0,5» - результаты возможности безошибочной работы по количеству определенных ПКС, больше заложенного в ДВО – верхняя часть рисунка, и пропусков ПКС – нижняя часть рисунка. Числа, обозначенные красным над диаграммами вероятности, показывают в % преимущество/недостаток полихромной ДВО перед монохромной.

В верхней части Рисунка 4.9. красным обозначены в %-м соотношении монохромной и полихромной ДВО сокращение штрафов за пропуски ПКС и сокращение времени решения поставленных задач (по трем видам сложности).

Также для вероятности определения студентом количества ПКС, больше заложенного в задачу (сверх-ПКС, Q+) представлена Таблица – 4.2. Данное обстоятельство подразумевает неточные оценки развития ДВО, интервалов конфликтующих ВС в зависимости от расстояния и времени до небезопасного события. На что может влить как способ отображения меток ВС (размер, форма, взаиморасположение), так и стратегия студента (необходимость «перестраховки»). Так, превышение равное +50% означает, что при двух ПКС в ДВО, студент определяет три ПКС.

Таблица 4.2 – Вероятность обнаружении большего, чем заложено в ДВО, количества ПКС и сумма штрафов в группе студентов

| | *№ задачи* | Время обнаруж. ПКС (t, сек.) | Вероятность определения количества ПКС (сверх-ПКС), больше заложенного в задаче (Q+) | | | Сумма штрафов при Q+ (балл) | Среднее количество сверх-ПКС на 10 человек |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Монохромная ДВО | 0 | 47,5 | 0,47 | 0,22 | 0,22 | 28 | 5 |
| | 1 | 23 | 0,1 | 0,32 | 0,5 | 37 | |
| | 2 | 26 | 0,14 | 0,18 | 0,32 | 29 | |
| Полихромная ДВО | 0 | 22 (-54%) | 0 | 0,39 (+43%) | 0,46 (+52%) | 43 (+35%) | 7 |
| | 1 | 19 (-20%) | 0,11 (+36%) | 0,43 (+26%) | 0,64 (+22%) | 43 (+13%) | |
| | 2 | 26 | 0,18 (+22%) | 0,46 (+61%) | 0,5 (+36%) | 54 (+46%) | |

Результат дополнительного эксперимента в эксперт-группе диспетчеров УВД по подсчету количества меток ВС на каждом эшелоне (21 метка, 5 эшелонов) заключается в существенном преимуществе в правильности и времени решения данной задачи в полихромной ДВО (Рисунок – 4.10).

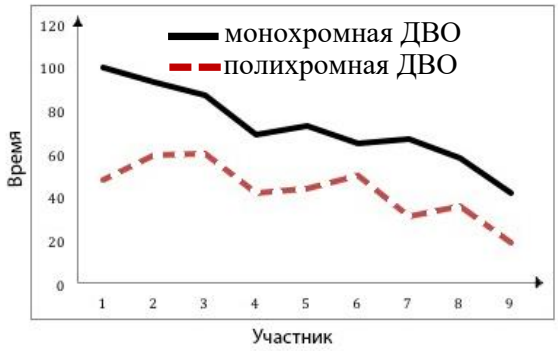



Рисунок 4.10 – Подсчет количества ВС на каждом эшелоне (21 ВС/ 5 эшелонов) в эксперт-группе диспетчеров УВД

Результат применения полутоновой полихромной визуализации ДВО заключается в сокращении времени деятельности диспетчера УВД в рассматриваемых задачах УВД в среднем на 25,8%, способствуя снижению когнитивных затрат на восприятие и оценку ДВО на конфликтность при сохранении высокого уровня правильности. Что открывает широкие перспективы для создания систем поддержки принятия решений при манипулировании вниманием диспетчера УВД с помощью визуализации объектов управления.

## 4.3. Оценка остаточной энтропии полихромной визуализации объектов управления динамической воздушной обстановки и её компенсация

Оценка остаточной энтропии полихромной визуализации высотного признака ВС может быть проведена путем корреляции возникающих дефектов восприятия цветографичеких решений и изменений характеристик деятельности диспетчера УВД при использовании хроматической стереоскопии.

Сравнения полихромных способов визуализации ДВО на имитационных моделях проводились с использованием пользовательских дисплеев, которые отличаются по своим характеристикам от использующихся в центрах УВД, а также в условиях дневной освещенности, что отражается в уменьшении качества цветопередачи и восприятия близких цветовых тонов на дисплее.

Некоторые полученные замечания от испытуемых по отображению меток ВС в цветографических схемах касаются близких тонов – темных (как изображение темно-фиолетового на Рисунке – 4.11, слева) или светлых (как изображение ВС на 350 и 30 эшелонах полета на Рисунке – 4.11, справа). Что послужило причиной неоднократного изменения цветовой схемы с целью адаптации под конкретные условия и чтобы максимизировать эффект «хроматической стереоскопии».

Рисунок 4.11 – Дефекты восприятия цветографических решений ДВО в конкретных условиях

Однако, полностью устранить дефекты восприятия возможно только при индивидуальной настройке визуализации под каждого отдельного испытуемого, при сохранении одних и тех же условий освещенности, расстояния по средства отображения, при развитии навыка работы с цветовыми плоскостями.

Если обратиться к результатам проведенных экспериментов, то можно заметить, как подобные дефекты восприятия цветографических решений ДВО отражаются на параметрах функционирования испытуемых в той или иной здаче.

Например, замечания к тому, что фиолетовое обозначение эшелона полета ВС недостаточно разборчиво (задача №2 – снижение на 4 эшелон-уровня, применение фиолетового цвета для FL-40), на темном фоне проявляется в потере преимуществ цветографического решения (Таблица 4.3) по – $\Delta\xi_k^{S_t^c}$ – ошибкам идентификации ПКС (для студентов среднее значение между вероятностью пропуска ПКС и превышением количества ПКС) и – $t_k^{S_t^c}$ – времени решения задач.

Также при разработке цветографических решений отмечено, что светло серый фон картографии уменьшает стереоскопический эффект оттенков зеленого цвета, с которыми соперничают светлые оттенки синего цвета. Это также отражается на результатах анализа ДВО на конфликтность. Наиболее же контрастным ко всем цветам спектра был определен черный фон, но в условиях дневной освещенности изображение на дисплее сильно подвержено бликам от окружающей среды или же перепадам освещенности изображение в зависимости от угла зрения.

Таблица 4.3 - Корреляции дефектов восприятия и результатов экспериментов по визуализации ДВО

| | Преимущество полихромного ДВО перед монохромным (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Диспетчеры УВД | | | Студенты | | |
| | Задача | | | | | |
| | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| $\Delta\xi_k^{S_t^c}$ | +20 | +36 | -2 | +7,5 | -3,8 | -19,4 |
| $\Delta t_k^{S_t^c}$ | +44 | +19 | +18 | +54 | +20 | 0 |

На основании отзывов и предложений эксперт-групп диспетчеров УВД и студентов, информации из источников [21, 28 32, 121 и др.], а также проведенной работы по разработке и проведению экспериментальной части исследования,

справедливо заметить, что для успешной реализации цветографических решений в АС УВД, потребуется:

- использование при разработке визуализации ДВО аналогов тех средств отображения, на которых планируется применение цветографических решений;

- сотрудничество разработчика цветографических решений (промышленного дизайнера) и экспертной группы испытателей из числа диспетчерского состава той АС УВД, в ЧМИ которой планируется внедрение соответствующих цветографических решений, для определения цветографических схем, наиболее контрастных и неконфликтующих с привычной цветовой палитрой ЧМИ используемой АС УВД;

- сотрудничество разработчика с инженером-программистом в процессе подготовки цветографических макетов и моделей отображения ДВО;

- использование консультаций компетентного специалиста в области цветопередачи и зрения (например, офтальмолога) всеми перечисленными выше лицами для определения порогов цветовой чувствительности каждого испытуемого;

- сотрудничество с учреждениями образования и повышения квалификации, тренажерными центрами и другими институтами, участвующими в подготовке специалистов по ОрВД, по вопросам обучения в области ноон-технологии и организации УВД, проведения практических занятий по развитию цветового зрения, памяти и навыка обращения с новыми технологиями, включая визуализацию ДВО, как часть систем поддержки принятия рациональных решений;

- экономическая оценка преимуществ внедряемых систем и оценка уменьшения факторов риска безопасности полетов.

## Выводы по главе 4

Сравнение количественных характеристик деятельности действующих диспетчеров УВД, а также диспетчеров-студентов в типовых ситуациях УВД на имитационных моделях ИО показало следующие преимущества полихромной визуализации ДВО перед монохромной (при работе с ДВО до 16 ВС одновременно в зоне ответственности):

1. Сокращение времени обнаружения ПКС:
   - на одном эшелон-уровне: на 44% – диспетчеры УВД, на 54% – студенты;
   - на трех эшелон-уровнях: на 19% – диспетчеры УВД, на 20% – студенты;
   - на пяти эшелон-уровнях: на 18% – диспетчеры УВД, равно – студенты.
2. Сокращение количества пропусков ПКС:
   - на одном эшелон-уровне: на 20% – диспетчеры УВД, на 26% – студенты;
   - на трех эшелон-уровнях: на 36% – диспетчеры УВД, на 3% – студенты;
   - на пяти эшелон-уровнях: на -2% – диспетчеры УВД, на 81% – студенты.
3. Двукратное сокращение времени определения численного состава эшелон-уровня при абсолютном превосходстве по правильности (включая условия наивысшей плотности ВС в зоне).

Оценка представленных данных показывает, что полихромное отображение объектов ДВО может использоваться для оценки конфликтности ДВО на одном (FL) и четырех смежных эшелон-уровнях (FL±10, FL±20) при использовании трех оттенков одного из двух цветовых тонов – синего и зеленого на темном фоне.

Использование трех (и более) оттенков зеленого и/или синего цветового тона при обозначении большего количества эшелон-уровней потребует специальной настройки средств отображения, внешней освещенности и учета цветоразличения диспетчера – для компенсации остаточной энтропии.

Также реализации цветографических решений ДВО на основе полихромии способствуют:

- использование разработанной моделей ИО диспетчера УВД с функциональными блоками, учитывающими дефицит времени и сложность УВД;

- применение принципов человек-ориентированного проектирования и методов оценки влияния полихромной визуализации ДВО, предложенных в диссертационной работе;

- привлечение широкого спектра специалистов к участию в исследовании и внедрению полихромной визуализации ЧМИ в АС УВД;

- практика УВД в разработанных моделях ДВО.

Создание интерактивного, соответствующего психофизиологии человека ИО диспетчера УВД при полихромной визуализации ДВО позволит обеспечить:

- снижение загруженности визуально-когнитивной составляющей в часы высокой интенсивности воздушного движения;

- минимизацию механико-моторных операций и переключений внимания при анализе ДВО;

- развитие средств визуальной коммуникации смежных диспетчерских пунктов и способов информационного обмена;

- высокий уровень ноон-технологии в АС УВД и др.

Важно понимать при разработке и оценке визуализации в АС УВД, что современные средства автоматизации и интеллектуальные информационные системы, перерабатывающие большие объемы данных, самообучающиеся и осуществляющие поддержку принятия решений, не несут ответственности за понимание диспетчером УВД генерируемых программами подсказок. Тогда как окончательное решение в системе УВД, на сегодняшний день, остается за человеком, в существенной мере использующим средства визуальной коммуникации при работе с информационным обеспечением сложных АС для выполнения требований по безопасности полетов.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потребность обслуживать высокий спрос на использование воздушного пространства вынуждает центры УВД по всему миру применять современное информационное обеспечение диспетчера УВД и непрерывно его совершенствовать. Создаваемые АС УВД характеризуются наращиванием технической, функциональной и когнитивной сложности и предъявляют большие требования к качеству, объему и скорости обработки информации диспетчером УВД в процессе принятия решений. Снижение загруженности и улучшение ситуационной осведомленности диспетчера УВД при сохранении гарантированной безопасности полетов в значительной степени помогают решить эту проблему [8, 9]. Решающая данную проблему научная задача в диссертации заключается в разработке метода оценки динамической воздушной обстановки на конфликтность посредством полихромного отображения объектов в информационного обеспечения диспетчера УВД, при котором сокращается время восприятия объектов управления и улучшается их выявляемость за счет управления вниманием при помощи полихромии и повышения содержательности информации о параметрах движения ВС.

Для решения научной задачи в диссертации решены следующие частные научные задачи, а именно:

1. Предложена структура объектов управления в средствах ИО диспетчера УВД, определяющая применение визуализации ДВО.

2. Разработана функциональная модель ИО диспетчера УВД с учетом профессионально-мотивационной составляющей деятельности, отражающая условия дефицита времени при УВД и различную сложность УВД/ДВО, для использования при проектировании цветографических решений визуализации ДВО.

3. Предложены алгоритм конструирования ситуаций ДВО с заданным уровнем сложности при использовании разработанных дополнений модели ИО диспетчера УВД.

4. Разработана аналитическая модель процесса формирования информационного образа ДВО при полихромии объектов управления в средствах ИО диспетчера УВД для формализации функциональных (визуально-когнитивных) процессов при анализе ДВО на конфликтность.

5. Разработан метод полутоновой полихромной визуализации ДВО для улучшения ситуационной осведомленности диспетчера УВД.

6. Предложены способы применения метода полутоновой полихромной визуализации ДВО в средствах ИО диспетчера УВД, улучшающие его ситуационную осведомленность:

- в высотном признаке радиолокационных меток и формуляров сопровождения ВС в средствах ИО диспетчера УВД, снижающие время восприятия ДВО и время оценки ДВО на конфликтность в среднем на 25,8%;
- цветографической информации о деятельности государственных и других ведомств;
- векторов экстраполяции движения ВС;
- динамических элементов окна потенциальных конфликтов в ЧМИ;
- возможных решений по траекторному управлению конфликтующих ВС, предлагаемых программно-аппаратным комплексом АС УВД.

Для решения частных научных задач выполнено следующее:

1. Проведен анализ современных способов представления цветографической информации в интерфейсах АС УВД.

2. Проведен анализ методологических основ разработки цветографических решений в средствах ИО диспетчера УВД (принципы, модели, методы оценки), а также разработан алгоритм конструирования ситуаций УВД с заданным уровнем сложности для получения эффективных цветографических решений интерфейса.

3. Разработан метод полихромной визуализации объектов управления динамической воздушной обстановки с использованием алгоритмов создания информационного образа ДВО в средствах ИО диспетчера УВД и модели ИО на основе теории функциональных систем.

4. Обосновано применение полихромной визуализации ДВО при формировании визуально-когнитивной составляющей диспетчера УВД для повышения эффективности оценки потенциальных конфликтных ситуаций за счет сокращения времени их обнаружения и снижения факторов опасности, таких как пропуски конфликтов, пропуски аварийной сигнализации, наличие «слепых зон»;

5. Разработана и внедрена система оперативной оценки ДВО «Скроллинг» в КСА УВД с использованием полихромной визуализации ДВО.

6. Проведены экспериментальные исследования оценки влияния хроматической стереоскопии в ДВО на обнаружение ПКС диспетчером УВД и анализ состава эшелон-уровней в имитационных моделях.

7. Предложен способ учета дефицита времени при УВД и сложности УВД/ДВО в проектировании имитационных моделей, а также применение теории возможностей для оценки безошибочности работы при неточных оценках ДВО.

В результате постановки научной задачи о повышении эффективности оценки ДВО на конфликтность за счет улучшения выявляемости объектов управления в средствах ИО и снижении времени их восприятия при полихромной визуализации, в диссертационной работе, на примере работы диспетчера района в АС УВД были получены следующие результаты:

1. Предложена декомпозиция процессов системы ОрВД для определения прикладных областей визуализации ДВО, отделяющая их от процессов систем ПИО и АО.

2. Предложена новая форма полихромного отображения информации о высотном признаке ВС с возможностью панорамного анализа ДВО посредством селективных свойств внимания при хроматической стереоскопии (с

преимуществом по времени анализа ДВО до 50% и преимуществом в безошибочности работы до 20%).

3. Рассмотрен новый метод формализации временных интервалов конфликтности ВС в окне потенциальных конфликтов ЧМИ в АС УВД посредством изменения цветового тона сигнализации.

4. Разработанный способ оценки безошибочности работы диспетчера УВД на основе теории возможностей позволяет проводить анализ влияния полихромной визуализации ДВО на выявляемость ПКС в типовых ситуациях УВД при ограниченном количестве экспериментов.

5. Рассмотрен вопрос компенсации остаточной энтропии при полихромной визуализации ДВО с рекомендациями для успешной реализации цветографических решений в АС УВД.

Полученные результаты использованы в разработке и внедрении в КСА УВД системы оперативной оценки ДВО «Скроллинг» для проведения последующих производственных испытаний и проведении семинаров в службе воздушного движения Минского центра УВД, кафедрах Белорусской государственной академии авиации и Института повышении квалификации и переподготовки, Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации.

Также в ходе исследования подтверждено пропорциональное сокращение времени восприятия информации о ДВО при уменьшении ее количества, согласно закону Фиттса; кроме того, установлено, что инвестиционный лаг – от появления идеи до её реализации в промышленном образце – составил 14 лет.

# СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АС УВД – автоматизированная система управления воздушным движением;

ВС – воздушное судно;

ДВО – динамическая воздушная обстановка;

ИВО – индикатор воздушной обстановки;

ИВП – использование воздушного пространства;

Индустрия 4.0 – Четвертая промышленная революция;

ИО – информационное обеспечение;

ИОТОД – информационное обеспечение техники и операторской деятельности;

ЛПР – лицо, принимающее решение;

НИК – наборы информационных комплексов;

ОВД – обслуживание воздушного движения;

ОрВД – организация воздушного движения;

ПКС (КС) – потенциально конфликтная ситуация (конфликтная ситуация);

ПО – программное обеспечение;

ППР – процесс принятия решения;

РДЦ – районно-диспетчерский центр;

РЛК – радиолокационный контроль;

РФА – рече-функциональный акт;

СЧИМ – система «человек-информация-машина»;

УВД – управление воздушным движением;

ЧМИ – человеко-машинный интерфейс;

Big Data – большой объем структурированных и неструктурированных данных;

EATCHIP - Европейская программа гармонизации и интеграции УВД;

PPD – potential problem display – окно потенциальных конфликтов;

RGB – red-green-blue, аддитивная цветовая модель для кодирования цвета;

SESAR – Программа развития системы ОрВД Единого Европейского Неба;

TCT – tactical control tool, инструмент тактического контроля.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные правила «Методика определения пропускной способности органов диспетчерского обслуживания воздушного движения» : утв. Министерством транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь 31.03.2008. – Минск, 2008. – 15 с.

2. Большая медицинская энциклопедия / гл. ред. ред. Б. В. Петровский. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1974-1989. – Т.22

3. ГОСТ Р 43.0.3. Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Ноон-технология в технической деятельности. - М.: Стандартинформ, 2018.

4. ГОСТ Р 43.0.5. Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Процессы информационно-обменные в технической деятельности. - М.: Стандартинформ, 2009.

5. ГОСТ Р 54500.3. Неопределенность измерения. Руководство по выражению неопределенности измерения. Ч. 3. - М.: Стандартинформ, 2012.

6. ГОСТ Р ИСО 9241-210-2012. Эргономика взаимодействия «человек-система. Ч. 210 – Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем. - М.: Стандартинформ, 2013.

7. Док.10001. Годовой доклад Совета ИКАО. Montreal: ICAO. – 2012.

8. Док.9854. Глобальная эксплуатационная концепция ОрВД [Электронный ресурс]. URL: https://standart.aero/ru/icao/book-документ-9854. (дата обращения 22.02.2022).

9. Док.9750. Глобальный аэронавигационный план на 2016–2030 гг. [Электронный ресурс]. URL:https://www.icao.int/publications/Documents/9750_cons_ru.pdf (дата обращения 22.02.2022).

10. Док.9882. Руководство по требованиям к системе ОрВД [Электронный ресурс] URL: https://standart.aero/ru/icao/book/документ-9882... (дата обращения 22.02.2022).

11. Правила аэронавигационного обслуживания. Организация воздушного движения: утв. Генеральным секретарем Международной организации гражданской авиации 10.11.2016. – Монреаль, 2016. – 508 с.

12. Распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. N 3363-р «О транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402052 (дата доступа – 22.02.2022).

13. 30 лет Единой системе ОрВД: Исторический обзор. / Под ред. Ю. Б. Мелешко, Л. К. Щербакова и др. – М.: Агенство А. Н. К. А., 2003.

14. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Учеб. пособ. Для вузов / Под ред. Шатракова Ю. Г. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Политехника, 2014. – 448 с.

15. Агранович-Пономарева, Е.С., Литвинова, А.А. Архитектурная колористика. Практикум. – Мн.: УП "Технопринт", 2002. – 122 с.

16. Акуленко, А.А. Способы устранения потенциально-конфликтных ситуаций невыявленного типа при управлении воздушным движением / А.А. Акуленко, К.Ю. Пономарев, Ю.А. Бай // Сборник материалов III международной научно-практической конференции УО БГАА. «Авиация: история, современность, перспективы развития». – Минск: БГАА, 2018. – С. 4-8.

17. Анохин, П.К. Психическая форма отражения действительности. Ленинская теория отражения и современность / под ред. Т. Павлова. София: Наука и искусство. 1969.

18. Анохин, П.К. Философские аспекты теории функциональной системы. Избр. труды. - М.: Наука, 1978

19. Арнхейм, Р. (Arnheim R.) Искусство и визуальное восприятие. – М.:Прогресс,1974. – 392с.

20. Аюпов, Р.Р. Оценка временных затрат диспетчера управления воздушным движением по определению необходимых значений минимальных

интервалов горизонтального эшелонирования / Р.Р. Аюпов, В.В. Купин, А.П. Плясовских // Научный вестник МГТУ ГА. – 2012. – № 186. – С. 118-122.

21. Баканов, А.С. Эргономика пользовательского интерфейса: от проектирования к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2011. С. 176

22. Батюгин, М. А. К оценке пропускной способности воздушной трассы с учетом ограничений на загрузку диспетчера / М. А. Батюгин, В. Л. Кузнецов // Вестник МГТУ ГА. – 2010. - №157. – С. 113-117.

23. Беседин, В.П. Исследование подходов к оценке ценности информации при УВД // Межвузовский сборник научных трудов, Ленинград. – 1982. – С. 131-135.

24. Беляева-Экземплярская С. Н. Об иллюзии выступающих вперед цветов// Психология, неврология, психиатрия. 1924. Приложение к IV тому

25. Блум, Ф., Лейзерсон, А., Хофстедтер, Л. Мозг, разум и поведение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 248 с.

26. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. - М.: Наука, 1968. – 356 с.

27. Величковский, Б.М. Когнитивная наука : Основы психологии познания: в 2 т. — М. : Смысл : Издательский центр «Академия», 2006. — 448 с.

28. Венда, В. Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. — 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1982. — 344 с.

29. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учебное пособие / Е. С. Вентцель, Л. А.Овчаров. – 5-е изд. стер. – М.: КНОРУС, 2016. – 448 с.

30. Волков, Н. Н. О константности восприятия величины и формы // Исследования по психологии восприятия. М.: Л.: Изд. АН СССР, 1948. – С. 201-254.

31. Волкова, В.Н., Козлов, В. Н. Системный анализ в проектировании и управлении: Научно-педагогическая школа. – СПб., 2018. – 70 с.

32. Галактионов, А. И. Представление информации оператору (исследование деятельности человека-оператора производственных процессов) / А. И. Галактионов. – М. : Энергия, 1969. – 139 с.

33. Глухих, И. Н. Интегрированные автоматизированные системы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении воздушным движением: теория, модели, алгоритмы, принятие решений : дис. докт. техн. наук: 05.13.16 / И. Н. Глухих. – Самара, 2000. – 353 с.

34. Голубев, И. С. Исследование операций в гражданской авиации / И. С. Голубев, Р. В. Сакач, Е. Л. Логинов, Е. Г. Пинаев. – М.: Транспорт, 1980. – 256 с.

35. Губенко, А. В. Современное состояние и перспективы развития рынка пассажирских авиаперевозок в России / А. В. Губенко, Ю. И. Растова, А. Р. Панкратова // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2019. – №2. – С. 82-89.

36. Дегтярев, О. В. Алгоритмы обнаружения и децентрализованного разрешения опасных сближений самолетов в воздухе, основанные на методе потенциальных полей / Дегтярев О. В., Орлов В. С. // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 5. – С. 93-113.

37. Денисов, А. А. Современные проблемы системного анализа. Спб.: Изд-во политехнического университета, 2008. – 310 с.

38. Дюбуа, Д. (Dubois D.), Прад, А. (Prade H.). Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

39. Еникеев, М. И. Общая и социальная психология. учебник для вузов.– М.: Издательская группа НОРМА–ИНФРА • М, 1999. – 624 с.

40. Ефимов, А.В. Формообразующее действие полихромии и вопросы его изучения в архитектурной школе: дис. … канд. арх.: 105363/П.П. Ревякин. – Москва, 1973. – 228 с.

41. Ефимов, А.В. Влияние полихромии на формообразование [Электронный ресурс] / Ефимов, А.В., Панова, Н.Г. // Архитектура и современные технологии. – 2014. – №4(29) – 14-05. URL:

http://www.marhi.ru/AMIT/2014/4kvart14/efimov/efimov.pdf (Дата доступа 22.02.2022)

42. Задорожный, А. И. Пути развития автоматизированных систем управления воздушным движением на основе использования принципов искусственного интеллекта / А. И. Задорожный, И. П. Щеглов // Проблемы организации воздушного движения. Безопасность полетов: Сборник научных трудов. Вып. 2. - М,: ГосНИИ «Аэронавигация», 2000. - С. 59-70.

43. Затонский, В. М. Моделирование процессов рационального принятия решения в типовых ситуациях УВД / В. М. Затонский, В. А. Солодухин // Методы и модели анализа процессов УВД: Межвузовский сборник научных трудов. Под ред. Г. А. Крыжановского. – Л.: ОЛАГА, 1981. – С. 77-81.

44. Зернов, В. А. Цветоведение. – М.: изд. «Книга», 1972. – 246 с.

45. Иттен, И. (Itten J.) Искусство цвета. – М.: Издатель Д. Аронов, 2014. – 96 с.

46. Каталевский, Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. – М.: Московский университет, 2011. – 304 с.

47. Кизько, В.Г. Метод построения комплексной оценки деятельности диспетчера в системе УВД / В.Г. Кизько, Г.А. Крыжановский, В.А. Солодухин // Авиационная эргономика: Труды КНИГА. – Киев: КИИГА, 1979.

48. Князева, Е.Н. Когнитивная сложность // Философия науки и техники. – 2013. - № 1, т. 18. – С. 81-94.

49. Колмогоров, А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987.- 304 с.

50. Котик, М.А., Курс инженерной психологии. - 2-е изд., иснр. И доп. - Таллин: Валгус, 1978. – 364 с.

51. Кравков, С.В. Цветовое зрение. М.1951. – 354 с.

52. Кругликов, С. В. Автоматизация процессов организационного управления силами и средствами. – Мн.: Воен. акад. Респ. Беларусь, 2007. – 229 с.

53. Крыжановский, Г.А. Введение в прикладную теорию управления

воздушным движением. М.: «Машиностроение», 1984. – 264 с.

54. Крыжановский, Г.А. Оптимизация процессов принятия решений в системе УВД // Межвузовский сборник научных трудов, Ленинград. – 1982. – С. 131-135.

55. Крыжановский, Г.А. К вопросу формализации предпочтений активных элементов в системе организации воздушного движения / Г.А. Крыжановский, В.В Купин. // Научный вестник МГТУ ГА. - №171. – 2011.

56. Крыжановский, Г. А. Моделирование транспортных процессов: учеб. пос. / Университет ГА. С-Петербург, 2014. – 262 с.

57. Крыжановский, Г.А. К оптимизации управления воздушным движением при развитии визуально-когнитивной составляющей / Г. А. Крыжановский, К. Ю. Пономарев, М. В. Тимошко // Научный вестник МГТУ ГА. – 2018. – 21(3). – С. 16-24. https://doi.org/10.26467/2079-0619-2018-21-3-16-24

58. Кузьминов, А.Л. Применение возможностных моделей для оценки безопасности грузоподъемных машин / А.Л. Кузьминов, В.С. Уткин, А.В. Кожевников // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2, 2009. – С. 104-110.

59. Куклев, Е. А. Управление безопасностью полетов воздушных судов на основе нечетких оценок рисков возникновения нештатных условий полета // Научный вестник МГТУ ГА. – 2016. – 19 (04). – С. 199-205.

60. Куклев, Е. А., Смуров, М. Ю., Байрамов, А. Б. Моделирование систем и процессов: Методы разработки математических и комбинированных моделей систем и процессов в гражданской авиации. Учебное пособие / Под общ. ред. проф. Е.А. Куклева. – СПб: СПбГУГА. – 2015. – 166 с.

61. Кухта, М. С. Модели восприятия информации в вербальных и визуальных текстах // Вестник ТГПУ. Сер.: Гуманит. Науки. – 2004. – № 3(40). – С. 116-119.

62. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах. М.: Логос. 2006. – 296 с.

63. Лемешко, Б. Ю. Робастные методы оценивания и отбраковка аномальных измерений // Заводская лабратория. – 1997. – Т. 63, №5. – С. 43-49.

64. Леонтьев, А. Н. Деятельность, сознание, личность. М., 1975. – 304 с.

65. Линдсей, П. Переработка информации у человека (Введение в психологию) / П. Линдсей, Д. Норман; под ред. А.Р. Лурия. – М., 1974. – С. 549.

66. Лоскутов, Ю. А., Михайлов, А. С. Основы теории сложных систем. – М.- Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 620 с.

67. Лурия, А. Р. Внимание и память. М., 1975. – 106 с.

68. Малыгин, И. Г., Комашинский, В. И. Информационные технологии и искусственный интеллект - основные двигатели четвертой индустриальной революции (Industrie 4.0) // Информационные технологии. 2016. Т. 22. № 12. С. 899-904.

69. Малыгин, И. Г., Комашинский, В. И., Афонин, П. Н. Системный подход к построению когнитивных транспортных систем и сетей // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2015. № 4. С. 68-73.

70. Матюшин, М. В. Справочник по цвету. Закономерность изменяемости цветовых сочетаний. – М: Издатель Д. Аронов, 2007. – 72 с.

71. Миллер, Дж (Miller G.)., Галантер, Е. (Galanter E.), Прибрам, К. (Pribram K.). Планы и структура поведения. М., 1965. – 238 с.

72. Никитин, Д.А. Первая отечественная районная автоматизированная система управления воздушным движением (1974- начало 90-х гг. XX в.) // Научный Вестник МГТУ ГА, № 95 (13), 2005.

73. Никулова, Г.А. Средства визуальной коммуникации – инфографика и метадизайн / Г.А. Никулова, А.В. Подобных // Образовательные технологии и общество, №2, т.13, 2010. – С. 369-387.

74. Новиков, П. П. Принятие решений человеком в авиационных системах управления. М. : Воздушный транспорт, 1980. – 341 с.

75. Плясовских, А. П. Разработка методов и средств процедурного контроля воздушного движения: дис. … докт. техн. наук : 05.22.13 / А. П. Плясовских. – С.-Петербург, 2005. – 335 с.

76. Плясовских, А. П. Концепция ОрВД пяти измерений / А. А. Ведров, А. П. Плясовских // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2015. - №222 (12).

77. Пономарев, К. Ю. Методологические основы разработки визуально-когнитивных решений интерфейса АС УВД / К. Ю. Пономарев, А.А. Соколовский // Вестник СПбГУ ГА. – 2018. – №3 (20). – С. 75-87.

78. Пономарев, К.Ю. О своевременности действия средств поддержки принятия решений при управлении воздушным движением / В. А. Дубовский, К. Ю. Пономарев, Р. А. Вишневский // Авиационный вестник БГАА. – 2021. - №5. – С. 45-50

79. Пономарев, К.Ю. Оценка влияния хроматизма на формирование первоначального образа динамической воздушной обстановки // Вестник СПбГУ ГА. – 2017. – №1 (14). – С. 59-70.

80. Пономарев, К.Ю. Цветографические решения человеко-машинных интерфейсов для рационально деятельности диспетчера по управлению воздушным движением // Материалы всеросс. научн.-практ. Конф. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук. – Спб.: Изд-во Инст-та проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2018. – С. 68-72.

81. Пономарев, К.Ю. Экспериментальные исследования интерфейса, разработанного с использованием методики синтеза информационной модели на автоматизированном рабочем месте диспетчера управления воздушным движением / О. А. Капцевич, Д. И. Рабченок, К. Ю. Пономарев // Доклады БГУИР. – 2019. – № 7-8. – С. 149–158.

82. Пытьев, Ю. П. Возможность, как альтернатива вероятности. – М.: Физматлит, 1999. – 212 с.

83. Раутиан, Г. Н. Цветовая адаптация и пороги цветоразличения // Доклады Академии Наук СССР. — М., 1953. — Т. 92. — С.297—299.

84. Рева, А.Н. Синтез деятельности и кибернетический анализ информационной нагрузки авиадиспетчера при высокой интенсивности воздушного движения / А. Н. Рева, И. М. Устименко, А. П. Плясовских // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. - №10(127). – С. 145-157.

85. Руководство по эксплуатации изделия СИНТЕЗ-АР2. Ч. 2. : утв. ТАЛМ.461214.003 РЭ2-ЛУ. – СПб, 2003. – 185 с.

86. Савкова, Е.Н. Способ оценивания неопределенности измерений в программно-аппаратных средах на основе энтропии / Е. Н. Савкова, Е.Н. Карпиевич // Сборник докладов 9-ой Международной научно-технической конференции «Приборостроение -2016». – 2016. – Секция 2. – С. 205-207.

87. Сборник типовых технологий работы персонала ОрВД. - Мн: Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, 2009 – 26 с.

88. Семенов, С.А. Формирование интегрального показателя эффективности функционирования информационной системы / Семенов, С.А., Аржаев, В.И. Семенов, В.С., Моничев С.С // Программные продукты и системы.- 2012. – №2. – С. 144-146.

89. Староселец, В. Г. Основы теории управления транспортными системами. – СПб:.СПбГУГА. 2008. – 218 с.

90. Судаков, К.В. Голографическое построение интегративной деятельности головного мозга. Известия РАН. Сер. биол. – 2012. – №1. – С. 61-71.

91. Судаков, К.В. Доминирующая мотивация. М: Изд-во РАМН. 2004.

92. Судаков, К.В. Информационные аспекты системной организации психической деятельности // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2012. - №8, т. 67. – С. 53-56.

93. Сухих, Н.Н. Представление системы управления воздушным движением как системы массового обслуживания с отказами / Н.Н. Сухих, И.Н. Шестаков // Вестник МГТУ ГА. – 2014. - №210. – С. 122-123.

94. Тимофеев С.Ю. Методика расчета потенциальных конфликтных ситуаций в автоматизированной системе планирования воздушного движения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2014. – Выпуск 2. – С.1-20.

95. Тиханычев, А. В. Теория и практика автоматизации поддержки принятия решений (монография) / А. В. Тиханычев. – М.: Эдитус. – 2018. – 76 с.

96. Фершильд, М. (Fershild M.) Модели цветового восприятия. 2-е изд. Пер. А. Е. Шадрин. Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology, USA, 2004. – 437 с.

97. Цаплин, В.В. Когнитивные технологии визуализации многомерных данных для интеллектуальной поддержки принятия решений / В.В. Цаплин, В.Л. Горохов // Программные продукты и системы, №3 (107). – 2014. – С. 22-25.

98. Шестаков, И. Н. Интеграция и автоматизация процессов выполнения полетов и управления воздушным движением // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2006. - №107. – С.170-179.

99. Шупейко, И. Г. Теория и практика инженерно-психологического проектирования и экспертизы : учебно - метод. пособие / И. Г. Шупейко. – Минск: БГУИР, 2010. – 120 с.

100. Юшкова, О.И. Методическое обоснование оценки функционального напряжения организма при умственном труде / Юшкова, О.И., Матюхин, В. В., Бухтияров, И.В., Капустина, А.В., Порошенко А.С. и др. // Вестник ТеГУ. Серия «Биология и экология». – 2014. - №3. – С. 15-26.

101. Ярбус А.Л. Роль движения глаз в процессе знания. М.: Наука. – 1965г.

102. Application of Color to Reduce Complexity in Air Traffic Control / Yuditsky T., Sollenberger R. L.,Della Rocco P. S.,Friedman-Berg F.,Manning. Washington DC:U.S. Department of Transportation: DOT/FAA/CT-TN03/01. – 2002.

103. Brian H. Cognitive complexity in air traffic control: a literature review. EUROCONTROL, Center for Human Performance Research, 2004.

104. Brooker P. Control workload, airspace capacity and future systems // Human Factors and Aerospace Safety. – 2003. – Vol.3 (1). – pp. 1-23.

105. Callantine, T. J. CATS-based Air Traffic Controller Agents. Ames Research Centre. California, 2002. - NASA/CR -2002-211856.

106. Cardosi, K. and Hannon, D. Guidelines for the Use of Color in ATC Displays, DOT/FAA/AR99/52, 1999.

107. Cora. Conflict Resolution Assistant. EATMP ASA Proramme. NEXTOR-FAA Conference. -2003.

108. CoRe Project. Baseline Exemplary Style Guide – Edition 1.0, EATM Doc. HRS/HSP-006-GUI-01, 2004. – P. 138.

109. De Frutos, P.L. COMETA: An Air Traffic Controller's Mental Workload Model for Calculating and Predicting Demand and Capacity Balancing / de Frutos P.L., Rodríguez R.R., Zhang D.Z., Zheng S., Cañas J.J., Muñoz-de-Escalona E. In: Longo L., Leva M. (eds) Human Mental Workload: Models and Applications. H-WORKLOAD 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1107. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32423-0_6

110. Di Stasi, L.L. Microsaccade and drift dynamics reflect mental fatigue / Di Stasi, L.L., McCamy, M.B., Catena, A., Macknik, S.L., Canas, J.J., Martinez-Conde, S.// Eur. J. Neurosci. – 2003. – V.38. – pp. 2389-2398.

111. Edward R. Tufte. Envisioning Informtion. Graphics Press LLC. Cheshire, Connecticut, 2005. – P. 126.

112. Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis Montréal, Canada 25 January 2022 Economic Development – Air Transport Burea. [Electronic resource]. URL: https://www.icao.int/sustainability/Pages/Eco nomic-Impacts-of- COVID-19.aspx (date of access – 22.02.2022)

113. Eißfeldt, H. Aviator 2030 - Ability Requirements in Future ATM Systems: International Symposium on Aviation Psychology. Humburg, 2009, pp. 112-117.

114. Endsley, M.R., Jones D. G. Designing for Situation Awareness. An Approach to User-Centered Design. Second Edition. New York: CRC Press, 2011. - DOI:10.1201/b11371.

115. Ericka, R. Transitioning to Future Air Traffic Management: Effects of Imperfect Automation on Controller Attention and Performance / R. Ericka, R. Parasuraman // Human Factors The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. – 2010. - №52(3). -pp. 411-25.

116. Eurocontrol DIS/ATD HMI Service EATMP Generic HMI Specification SECTION 7 Added Functions: SNET, MONA, MTCD Version 1.0.

117. Eurocontrol Specification for monitoring aids: Eurocontrol-spec-0142. – Brusseles, 2017. – Ed. 2.0. – P. 22.

118. Eurocontrol-EATMP DIS/ATD HMI Service, 10 March 2000, EATMP Generic HMI Specification, Section 1-5, Human Machine Interface Baseline, Version 1. 0, Brussels, Belgium.

119. EVP-CORA1 real-time simulation. Eurocontrol experimental centre Report No 367, 2001.

120. Gabasova, E. Putting the AI in air traffic control [Electronic resource] / E. E. Gabasova, R. MacLeod // Research. Impact stories. The Alan Turing Institute. – 2020.URL:https://www.turing.ac.uk/research/impact-stories/putting-ai-air-traffic-control#more-info. – Date of access: 22.08.2021.

121. H. Springborn, “Design and Assessment of Methods of Attention Guidance for the Sector-Less Air Traffic Management Controller Working Position,” Master’s Thesis, FH Joanneum, Graz, Austria, 2017.

122. Hauland, G. Measuring individual and team situation awareness during planning tasks in training of en route air traffic control // The International Journal of Aviation Psychology. – 2008. – V.18. – pp. 290-304. doi:10.1080/10508410802168333

123. ICAO Air navigation report 2015. Montreal: ICAO, 2015. [Электронный ресурс].URL:http://www.icao.int/airnavigation/Documents/ICAO_Air_Navigation_Report_2015_Web.pdf.

124. Innovation in Visual Display Solutions for Airport Traffic Control Operations. [Электронный ресурс]. URL: http://www.christiedigital.com/en-us/3d/3d-

and-advanced%20visualization-case-studies/3d-and-advanced-visualization-projector-installations/Pages/3d-air-traffic-control-workstation.aspx.

125. J.-P. Imbert, H.M. Hodgetts, R. Parise, F. Vachon, F. Dehais, and S. Tremblay, “Attentional costs and failures in air traffic control notifications,” in “Ergonomics,” Taylor & Francis. – 2014. - №57 (12). – pp. 1817-1832.

126. Kwantes, P.J., Neal, A., Loft, S., Developing a formal model of human memory in a simulated air traffic control conflict detection task. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 48th Annual Meeting (Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society), 2004. – pp. 391-395.

127. Lamoureux, T. The influence of aircraft proximity data on the subjective mental workload of controllers on the air traffic control task // Ergonomics. – 1999. - №42. – pp. 1482–1491.

128. Loft, Sh. Modeling and predicting mental workload in En Route Air Traffic Control: critical review and broader implications / Loft, Sh., Neal A., Sanderson P-M. // The Journal of the Human Factor and Ergonomics Society. – 2007. – 49 (3). – pp. 376-399. - DOI:10.1518/001872007X197017

129. Madanan, M. Embedding machine learning in air traffic control systems to generate effective route plans for aircrafts in order to avoid collisions / M. Madanan, N. Hussain, N. C Velayudhan, B. T Sayed // Journal of theoretical and applied information technology. – 2019. – Vol.97. №2. – pp. 605-616.

130. Manning, C., Mills, S., Fox, C., Pfleiderer, E. Investigating the validity of performance and objective workload evaluation research (POWER) (No. DOT/FAA/AM-01/10). Washington, DC: Federal Aviation Administration Office of Aviation Medicine, 2001.

131. Marinella L. Tactical controller tool. TCT Real-time simulation. Final Report (for EUROCONTROL) – 3d Edition. Think Research. Bournemouth Dorset England, 2009. – Ref. 09-110142-C.

132. Merlo, P. Why artificial intelligence is highly relevant to air traffic control / P. Merlo // Skyway magazine. Eurocontrol. – 2019. – Autumn-winter. – pp. 16-18.

133. Miller, G. The magical number seven, plus or minus two: some limits on or capacity for processing information // Psychological Review. – 1956. – №63.– pp.81-97.

134. Mogford, R.H., Guttman, J., Morrow, S.L., Kopardekar, P., The Complexity Construct in Air Traffic Control: A Review and Synthesis of the Literature (No. DOT/FAA/CT-TN95/22), Atlantic City, NJ: FAA William Hughes Technical Center, 1995.

135. MTCD Concept of operation. EATCHIP III Evaluation and Demonstration. PHASE 3. – Eurocontrol, 1999. – P. 29.

136. Narborough-Hall, C. S. Recommendations for applying colour to air traffic control displays / C. S. Narborough-Hall // Displays. – 1985. – № 6. – pp. 131–137.

137. Neal, A. An analysis of relational complexity in an air traffic control conflict detection task / Boag C., Halford G., Loft S.// Ergonomics. – 2006. – V. 49(14). – pp. 1508-1526. - DOI:10.1080/00140130600779744

138. NEXTGEN priorities joint implementation plan. Executive Report. Rolling plan 2017-2019. US FAA. [Электронный ресурс]: https://www.faa.gov/nextgen/programs.

139. O. Ohneiser, F. De Crescenzio, G. Di Flumeri, J. Kraemer, B. Berberian, S. Bagassi, N. Sciaraffa, P. Aricò, G. Borghini, and F. Babiloni, “Experimental Simulation Set-Up for Validating Out-Of-The-Loop Mitigation when Monitoring High Levels of Automation in Air Traffic Control,” in “International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering”, 12 (4), 2018, pp. 307-318.

140. O. Ohneiser, M.-L. Jauer, H. Gürlük, and H. Springborn, “Attention Guidance Prototype for a Sectorless Air Traffic Management Controller Working Position,” German Aerospace Congress (DLRK), Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V., 4.-6. Sep 2018, Friedrichshafen, Germany.

141. ODID IV. Simulation Description. Eurocontrol Experimental Centre. EEC №15/93, 1993. – P. 79.

142. Pagnotta, M. Task difficulty and physiological measures of mental workload in air traffic control: A scoping review. / M. Pagnotta, D. Jacobs, P. Frutos, R. Rodríguez, J. Ibáñez-Gijón, D. Travieso // Ergonomics. – 2021. – pp. 1-54.

143. Parasuraman, R. Situation awareness, mental workload, and trust in automation: Viable, empirically supported cognitive engineering constructs / R. Parasuraman, T. B. Sheridan, C. D. Wickens // Journal of Cognitive Engineering and Decision Making. – 2008. – Vol. 2. – pp. 140-160.

144. Please have a Look here: Successful Guidance of Air Traffic Controller's Attention / Ohneiser O., Szöllősi Á., Gürlük H.; Jauer M-L., Balló D.: In: Materials of 9th SESAR Innovation Days Conference, 2019. - ISSN 0770-1268

145. Remington, R. W. Visual search in complex displays: Factors affecting conflict detection by Air Traffic Controllers / Remington R. W., Johnston J. C, Ruthruff, E // Human Factors. – 2000. – Vol. 42(3). – pp. 349-366.

146. Reynolds, L. and Metcalfe, C. The Interim NATS Standard for the Use of Colour on Air Traffic Control Displays. CS Report 9213. Issue 1.2, .1992.

147. Roorda et al. Packing arrangement of the three cone classes in primate retina // Vision Research. – 2001. – №41. – pp. 1291-1306. DOI: 10.1016/S0042-6989(01)00043-8.

148. Sanchez, J., Krumbholz, C.J., O. Silva, M. Controller-Automation Interaction in NextGen: A New Paradigm. ©The MITRE Corporation. 2010.

149. SESAR (2007a). The ATM Target Concept (Rep. No. DLM-0612-001-02-00a). Brussels: SESAR Consortium.

150. Thong Dang-Nguyen. 3D Stereo displays for Air Traffic Control: a multidisciplinary framework and some results // Division of Human-Computer Interaction Research Report. Sweden, Uppsala University. 2004.

151. Wickens, C. D. Situation awareness: Review of Mica Endsley's 1995 articles on situation awareness theory and measurement // Human Factors. – 2008. - №50. – pp. 397–403. doi:10.1518/001872008X288420

**Приложение 1**

Анкета для оценки эксперт-группой различных сочетаний факторов сложности УВД

| Балл | Оценка сложности УВД |
|---|---|
| 7 | Экстремальная |
| 6 | Высокая |
| 5 | Умеренно высокая |
| 4 | Умеренная |
| 3 | Умеренно низкая |
| 2 | Низкая |
| 1 | Очень низкая |

Подразделение:
Класс диспетчера:
Стаж УВД:

| | | Интенсивность 6ВС на связи одновременно | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ограничения 1 | Метеорологические | - | X | X | | | X | | X | | X | | | | |
| | Ведомственные | - | X | | | X | | | | | | X | | | |
| | Процедурные | - | X | | | X | | | | | | | | | |
| Ограничения 2 | Координация закрытие части ВП, FL, CDRIII,.. | - | X | X | X | X | | X | X | X | | | | | |
| Ограничения 3 | Координация необходимость голосового обмена данными | - | X | | X | X | X | X | X | | | | | X | |
| Ограничения 4 | Технические Наблюдение, навигация, связь | - | X | X | X | | X | | X | | | | | | |
| Потенциально конфликтные ситуации | - | - | | | | | | | | | X | X | | X | X |
| | 1 | - | | | | | | | X | X | | | X | | |
| | 2 | - | | | X | | X | X | | | | | | | |
| | 3 | - | X | X | | X | | | | | | | | | |
| Сложность | | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |

| | | Интенсивность 12ВС на связи одновременно | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ограничения 1 | Метеорологические | X | X | X | | X | | | X | | X | | | | |
| | Ведомственные | | X | | X | | | X | | | | | | | |
| | Процедурные | | | | | | | | X | | | X | | | |
| Ограничения 2 | Координация закрытие части ВП, FL, CDRIII,.. | | | X | | | | | | | | | | | |
| Ограничения 3 | Координация необходимость голосового обмена данными | | X | | | | | | | | | | | | |
| Ограничения 4 | Технические Наблюдение, навигация, связь | X | | | X | | X | | | | | | | | |
| Потенциально конфликтные ситуации | - | | | | | | | | | | | X | | X | X |
| | 1 | | | | X | | | | X | | X | | X | | |
| | 2 | | | X | | | X | X | | X | | | | | |
| | 3 | X | X | | | X | | | | | | | | | |
| Сложность | | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |

**Приложение 2**

Компонентный состав дополнительных функциональных блоков в модели ИО диспетчера УВД для задач конструирования ситуаций ДВО

**Приложение 3**

ДЗЯРЖАЎНЫ
ВАЕННА-ПРАМЫСЛОВЫ КАМІТЭТ
РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

АДКРЫТАЕ АКЦЫЯНЕРНАЕ ТАВАРЫСТВА
"АГАТ- сістэмы кіравання" - кіруючая кампанія
холдынгу "Геаінфармацыйныя сістэмы кіравання"

пр. Незалежнасці, 117, 220114, г. Мінск
Тэл. (8-10-375-17) 337 54 55
Тэл. дав. (8-10-375-17) 287 12 47
Факс (8-10-375-17) 374 24 50
http://www.agat.by

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМИТЕТ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"АГАТ- системы управления" - управляющая компания
холдинга "Геоинформационные системы управления"

пр. Независимости, 117, 220114, г. Минск
Тел. (8-10-375-17) 337 54 55
Тел. спр. (8-10-375-17) 287 12 47
Факс (8-10-375-17) 374 24 50
http://www.agat.by

# АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОНОМАРЕВА КИРИЛЛА ЮРЬЕВИЧА НА ТЕМУ: «ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИХРОМИИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В СРЕДСТВАХ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ»

24.02.2022 г. Минск

Настоящим актом подтверждается, что в ОАО «АГАТ-системы управления» - управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления» разработано и внедрено в рабочем месте диспетчера КСА УВД средство оперативной оценки динамической воздушной обстановки (ДВО) «Скроллинг». «Скроллинг» представляет собой реализуемое посредством программно-аппаратных средств КСА УВД техническое устройство анализа ДВО, а также человеко-машинный интерфейс цветографического отображения высотного признака радиолокационных меток воздушных судов (ВС) с целью повышения ситуационной осведомленности диспетчера УВД.

Предметом разработки выступает цветографическое представление элементов ДВО с возможностью внесения изменений в их отображение при помощи манипулятора графической информации.

Основной результат: сокращение времени восприятия пространственного взаимоположения ВС по высотному признаку.

Дополнительный результат: возможность оценки ДВО на бесконфликтность при необходимости траекторного управления ВС.

Средство оперативной оценки ДВО «Скроллинг» сокращает временные и функциональные затраты при анализе воздушной обстановки в процессе принятия решения диспетчером по траекторному управлению ВС посредством последовательного полихромного отображения эшелон-уровней, а также исключает присутствие «слепых зон» восприятия воздушной обстановки монохромного исполнения, что особенно актуально в условиях высокой плотности формуляров сопровождения в контролируемой зоне.

Первый заместитель директора
по информационным технологиям А.Н. Бевзюк

**Приложение 4**

ATMsystem

*Общество с ограниченной ответственностью «Атмсистем»*
*Республика Беларусь*
*220114 г. Минск*
*ул.Скорины, 14, офис 329*
*УНП 192152908*
*тел. +37517 347-55-84*
*факс +37517 347-35-24*
*mail@atmsys.by*
*www.atmsys.by*

АКТ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ
ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПОНОМАРЕВА КИРИЛЛА ЮРЬЕВИЧА НА ТЕМУ:
«ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИХРОМИИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В СРЕДСТВАХ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ»

22.02.2022 г. Минск

Настоящим актом подтверждается, что в ООО «Атмсистем», планируется осуществить разработку средств тактического контроля бесконфликтности потока воздушных судов на основе цветографических решений визуализации воздушной обстановки при полихромии объектов управления в средствах информационного обеспечения диспетчера управления воздушным движением.

Данные решения позволят снизить время восприятия воздушной обстановки диспетчером, а также повысить его ситуационную осведомленность с возможным снижением загруженности, благодаря чему улучшается анализ бесконфликтности потока воздушных судов, что положительно скажется на безопасности полетов и создаст перспективу для повышения пропускной способности системы обслуживания воздушного движения.

В составе автоматизированной системы управления воздушным движением BCWP (КСА УВД «Агата») после предварительных опытно-конструкторских работ будет внедрен модуль оценки эшелон-уровней «Скроллинг». Данный модуль позволяет минимизировать временные и функциональные затраты при анализе воздушной обстановки в процессе принятия решения диспетчером по траекторному управлению воздушным судном, что особенно актуально в условиях высокой интенсивности воздушного движения.

Также будет рассмотрена возможность разработки нового типа дисплея потенциально-конфликтных ситуаций на основе методологического инструментария, приводимого в диссертационном исследовании, с применением ноон-технологии.

Управляющий ООО «Атмсистем» Деркачева Ю. С.

«Атмсистем»

М.П.