

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет гражданской
авиации» (МГТУ ГА)

На правах рукописи

ШАЛУПИН

Степан Владимирович

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЛИКА
ТРЕНАЖЕРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И
РЕМОНТА СРЕДСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПОЛЕТОВ И АВИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ**

Специальность 2.9.6 Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Болелов Эдуард Анатольевич

Москва

2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	4
Глава 1. Анализ системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов с учётом уровня профессиональной подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС	11
1.1. Анализ процесса технического обслуживания и ремонта средств РТОП при существующей системе подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС	11
1.2. Пути устранения недостатков современной системы подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС	22
1.3. Оценка адекватности существующей тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи. Постановка задачи исследований	27
Выводы по главе 1	35
2. Методика формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи	37
2.1. Структура методики формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП	37
2.2. Технический облик тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП	40

2.3. Структура математического обеспечения тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП	47
Выводы по главе 2	53
Глава 3. Математические модели средств радиотехнического обеспечения полетов	55
3.1. Математическая модель средства РТОП для модуля теоретической подготовки	56
3.2. Математическая модель средства РТОП для модуля практической подготовки	65
Выводы по главе 3	86
Глава 4. Оценка эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи	88
4.1. Оценка эффективности модуля теоретической подготовки тренажерной системы	89
4.2. Методика и оценка эффективности модуля практической подготовки тренажерной системы	98
Выводы по главе 4	112
Заключение	115
Список используемых сокращений	121
Список литературы	122
Приложение 1. Возможности специализированного тренажера ООО «Фирма НИТА»	133

Введение

Актуальность темы исследования. Обеспечение безопасности полетов является важнейшим приоритетом в деятельности гражданской авиации. На уровень безопасности полётов существенное влияние оказывает качество радиотехнического обеспечения полётов воздушных судов.

Возможности современных средств радиотехнического обеспечения полётов и авиационной электросвязи (далее - РТОП), основу которых составляют весьма совершенные системы наблюдения, радионавигации и посадки, системы связи и передачи данных, во многом зависят от качества их эксплуатации. Техническая эксплуатация средств РТОП представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение их надёжного функционирования. Техническую эксплуатацию осуществляет служба эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (ЭРТОС), одной из основных задач которой является обеспечение подготовки специалистов инженерно-технического персонала (ИТП) службы ЭРТОС в соответствии с нормативными квалификационными требованиями.

Как показывают результаты анализа безопасности полётов по причинам, связанным с РТОП [5], происходят около 9-10% инцидентов, причём детальный анализ этих инцидентов позволил выявить долю событий связанных с недостаточной профессиональной подготовкой ИТП служб ЭРТОС, который составил около 50% от инцидентов связанных с РТОП (20% инцидентов происходят вследствие неграмотных действий ИТП служб ЭРТОС, до 10 % инцидентов происходят по причине не выполнения требований федеральных авиационных правил и 20% инцидентов происходят вследствие других причин.

Деятельность ИТП служб ЭРТОС в процессе эксплуатации средств РТОП характеризуется временем и качеством выполняемых работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР). В свою очередь, на временные и качественные

характеристики существенно влияет уровень знаний и навыков, приобретённых ИТП в процессе обучения, повышения квалификации, технической учёбы и в повседневной деятельности.

Система подготовки ИТП служб ЭРТОС за последний десятилетия практически не претерпела изменений и использует традиционные формы и методы обучения, несмотря на широкое использование в процессе подготовки авиационного персонала (лётного состава, диспетчеров УВД, инженерно-авиационного персонала) тренажерных систем на всех этапах обучения.

Теория и практика построения авиационных тренажерных систем и комплексов получила значительное развитие благодаря научным исследованиям и практическим усилиям таких коллективов как: ГосНИИ АС, ГосНИИ ГА, ВУНЦ «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Гагарина», ПАО «Яковлев», АО «ВНИИ РА», компания «НИТА», МАИ, МГТУ ГА и др.

Проведённый в работе анализ системы теоретической и практической подготовки ИТП служб ЭРТОС, методов, форм и технических средств обучения свидетельствует об существующем **противоречии практического характера** между существующими традиционными методами, формами и техническими средствами подготовки ИТП и необходимостью повышения качества подготовки ИТП служб ЭРТОС в условиях возрастающей сложности средств РТОП.

Один из путей устранения данного противоречия связан с внедрением в практику обучения ИТП служб ЭРТОС тренажерных систем (ТрС) технического обслуживания и ремонта (ТОиР) средств РТОП. Центральной задачей разработки ТрС ТОиР средств РТОП является задача разработки методики формирования технического облика тренажерной системы ТОиР средств РТОП. Следствием этого является возникновение **противоречия научного характера** между необходимостью разработки методики формирования технического облика тренажерной системы ТОиР средств РТОП и отсутствием такой методики. Существующие методы и методики синтеза тренажерных систем и технических средств обучения не учитывают особенности подготовки ИТП служб ЭРТОС процедурам технического обслуживания и ремонта, тем более в условиях

сложившейся смешанной системы технического обслуживания средств РТОП. Кроме этого, требуется разработать методики оценки эффективности теоретической и практической подготовки ИТП, методики определения уровня навыка в целях учета индивидуальных психофизических особенностей обучаемых и формирования индивидуальных планов практической подготовки ИТП на тренажерной системе ТОиР.

Для разрешения сформулированных противоречий практического и научного характера в диссертации решается актуальная **научно-техническая задача** разработки методики формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП, в рамках которой обосновывается технический облик ТрС, разрабатываются математические модели средств РТОП, учитывающие возможность обучения процедурам технического обслуживания и ремонта, а также разрабатываются методики оценки эффективности теоретической и практической подготовки ИТП служб ЭРТОС.

В настоящее время задача разработки методики формирования технического облика тренажерной системы (ТрС) технического обслуживания и ремонта средств РТОП в целом не решена. Не решены в полном объеме, в частности, задачи разработки математических моделей, адаптированных для использования в ТрС ТОиР средств РТОП, и методик оценки эффективности теоретической и практической подготовки ИТП служб ЭРТОС. В ряде работ излагаются подходы, позволяющие эффективно решать отдельные частные задачи имитации работы отдельных средств РТОП [17]. Однако, эти подходы не обладают свойством системности и не адаптированы к изучению процедур ТОиР средств РТОП. Практически не существует методик оценки эффективности теоретической и практической подготовки ИТП служб ЭРТОС с использованием ТрС. В имеющихся методиках излагаются лишь общие вопросы оценки эффективности теоретической и практической подготовки ИТП.

Степень разработанности темы исследования

Большой вклад в решение широкого круга теоретических и прикладных вопросов построения авиационных ТрС и подготовки ИТП внесли Алымов В.Н.,

Артемов А.Д., Ветошкин В.М., Воскобоев В.Ф., Годунов А.И., Дозорцев В.М., Золотовский В.Е., Красовский А.А., Митрофанов С.Ю., Потапов А.Н., Рухлинский В.М., Хафизов Ф.Ш. Чинючин Ю.М., Шишкин В.В., Щербак В.В. и др.

Необходимо отметить также разработки компании «НИТА» в области создания специализированного тренажера технической эксплуатации транспортного радиооборудования, в котором частично решены задачи теоретической и практической подготовки ИТП служб ЭРТОС.

Таким образом, вопросы разработки и внедрения ТрС ТООиР в систему подготовки ИТП служб ЭРТОС нуждаются в дальнейшем развитии.

Целью диссертационной работы является повышение качества подготовки ИТП служб ЭРТОС в условиях возрастающей сложности средств РТОП.

Цель работы достигается решением **комплекса взаимосвязанных задач**, а именно:

1. Анализом системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП с учётом уровня профессиональной подготовки ИТП служб ЭРТОС.
2. Разработкой методики формирования технического облика ТрС технического обслуживания и ремонта средств РТОП, в рамках которой обосновываются назначение и задачи, решаемые ТрС ТООиР средств РТОП, его состав и структура, программное обеспечение и информационное взаимодействие модулей ТрС.
3. Разработкой математических моделей ТрС ТООиР средств РТОП, учитывающих функционирование средства РТОП в исправном и неисправном состояниях и позволяющих эффективно решать задачи обучения ИТП служб ЭРТОС процедурам ТООиР.
4. Оценкой адекватности существующей тренажерной системы ИТП служб ЭРТОС.
5. Разработкой методик оценки эффективности теоретической и практической подготовки ИТП служб ЭРТОС при использовании ТрС.
6. Разработкой методики оценки навыка обучаемых и формирования программы индивидуальной практической подготовки.

Средством диссертационного исследования являются ТрС ТОиР средств РТОП.

Предметом диссертационного исследования являются:

- методика формирования технического облика ТрС технического обслуживания и ремонта средств РТОП;
- математические модели средств РТОП, адаптированные для использования в ТрС ТОиР и методики оценки эффективности теоретической и практической подготовки ИТП служб ЭРТОС при использовании ТрС ТОиР средств РТОП.

Методы исследования базируются на основных положениях теории вероятности и математической статистики, методах теории графов, а также включают методы математического и имитационного моделирования.

Научная новизна работы состоит в развитии теории и практики построения тренажерных систем технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов (РТОП). В настоящей работе разработана:

1. Методика формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП, учитывающая в отличие от известных, особенности построения и технического обслуживания и ремонта средств РТОП.

2. Математическая модель средства РТОП в пространстве параметров, отличающаяся от известных, учетом: уровня восстановления средства РТОП; набора контролируемых параметров средств РТОП; процедур технического обслуживания и ремонта.

3. Методика оценки эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта для теоретической подготовки ИТП.

4. Методика оценки эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта для практической подготовки ИТП.

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что внедрение ее результатов в разработку перспективных тренажерных систем технического обслуживания и ремонта средств РТОП позволит повысить уровень профессиональной подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС

и совершенствовать подготовку инженеров по технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования аэропортов и воздушных трасс в транспортных вузах РФ.

Самостоятельную практическую значимость имеют методики оценки эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта для теоретической и практической подготовки ИТП.

Автором лично:

- разработана методика формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП, учитывающая особенности подготовки инженерно-технического персонала служб эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (ЭРТОС);

- разработана математическая модель средств РТОП в пространстве параметров, отличающаяся от известных моделей учетом процедур технического обслуживания и ремонта, учетом заданного уровнем восстановления средства РТОП и набором технических параметров, подлежащих контролю;

- разработана методика и проведена оценка эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта для теоретической подготовки ИТП;

- разработана методика и проведена оценка эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта для практической подготовки ИТП.

Достоверность научных результатов основана на:

- глубоком анализе состояния проблем в системе подготовки и повышения квалификации инженерно-технического персонала служб ЭРТОС;

- корректном использовании известных теоретических методов теории графов при построении математических моделей средств РТОП для модуля практической подготовки тренажерной системы;

- сравнительном экспериментальном анализе качества подготовки обучаемых при использовании традиционных методов обучения и существующего

специализированного тренажера технической эксплуатации транспортного радиооборудования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП и требования к ТрС ТОиР средств РТОП;

2. Математическая модель средства РТОП, адаптированная для использования в модуле практической подготовки ТрС ТОиР средства РТОП;

3. Методики оценки эффективности теоретической и практической подготовки ИТП служб ЭРТОС при использовании в ТрС ТОиР средств РТОП.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 5-ти международных и всероссийских научных конференциях, 3-х научно-технических семинарах кафедры ТЭ РЭО ВТ МГТУ ГА.

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в 12 печатных работах, в том числе: 7 научных статей в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ; 1 научная статья в журнале, рецензируемом Scopus; 2 научные статьи, опубликованные в других изданиях; 2 отчета о НИР.

Реализация результатов работы проводилась при выполнении инициативных НИР в МГТУ ГА. Полученные теоретические результаты приняты к использованию в учебном процессе в МГТУ ГА, что подтверждается соответствующим актом.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех разделов и заключения. Основная часть работы содержит 132 страницы текста, включая 42 рисунка, 16 таблиц. Общий объем работы 145 страниц. Библиографический список включает 114 наименований работ. Приложения общим объемом 13 страниц содержат 1 приложение.

1. Анализ системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов с учётом уровня профессиональной подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС

1.1. Анализ процесса технического обслуживания и ремонта средств РТОП при существующей системе подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС

Возможности современных средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи (РТОП), основу которых составляют весьма совершенные системы наблюдения, радионавигации и посадки, системы связи и передачи данных, во многом зависят от качества их эксплуатации. Принятой системой эксплуатации средств РТОП в значительной мере определяется безопасность полетов воздушных судов (ВС) гражданской авиации (ГА).

По определению техническая эксплуатация средств РТОП представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение их надежного функционирования. Техническую эксплуатацию осуществляет служба эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (ЭРТОС) [94].

Основными целями службы ЭРТОС являются [94]:

- обеспечение аэронавигационного обслуживания полетов воздушных судов наземными средствами РТОП;
- организация технической эксплуатации объектов и средств РТОП для осуществления аэронавигационного обслуживания;

- обеспечение подготовки специалистов ИТП службы ЭРТОС в соответствии с нормативными квалификационными требованиями.

На рисунке 1.1. представлена типовая структура службы ЭРТОС. Отличия в структуре служб ЭРТОС конкретных аэродромов состоят в штатном составе групп, которые определяются номенклатурой эксплуатируемых средств РТОП.

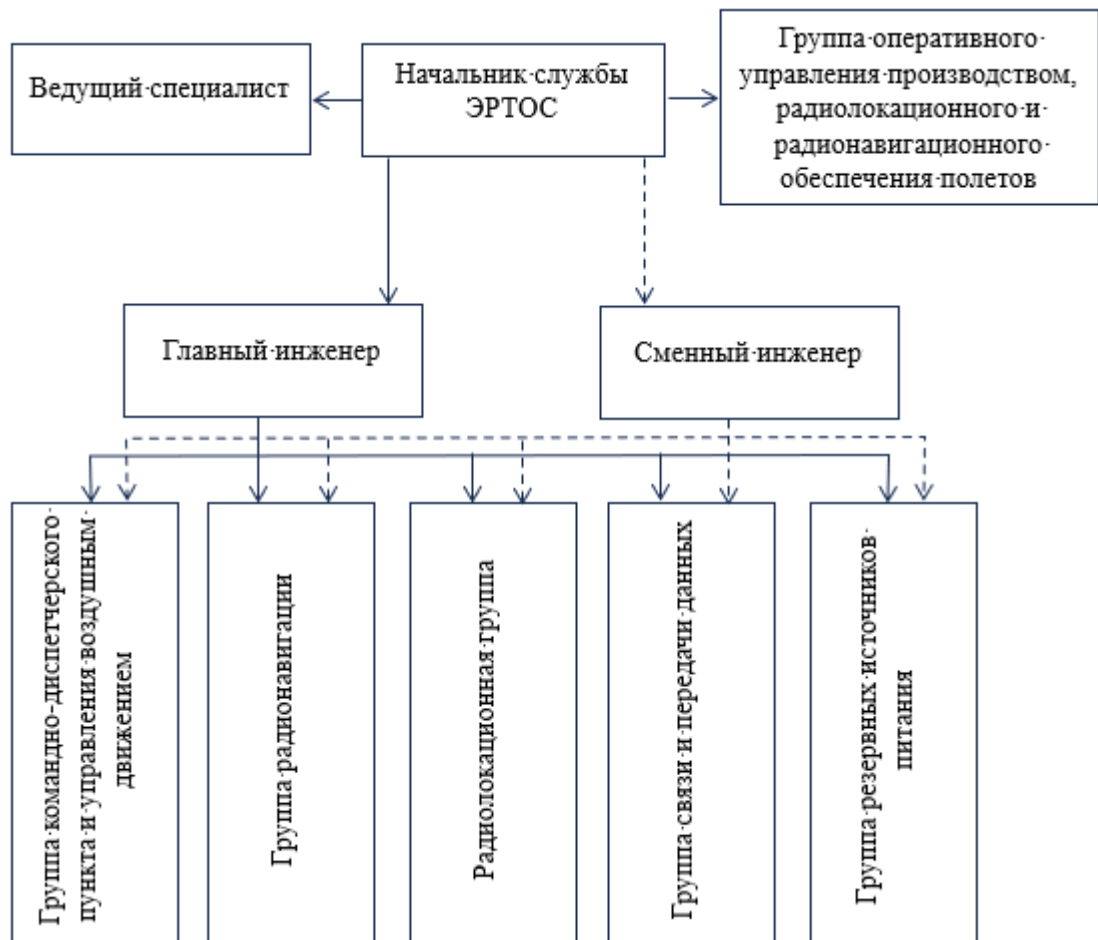


Рисунок 1.1. Типовая структура службы ЭРТОС

Техническая эксплуатация средств РТОП включает [94]:

- мероприятия по вводу в эксплуатацию и выводу из эксплуатации;
- мероприятия по техническому обслуживанию (ТО);
- мероприятия по проведению устранения неполадок;
- мероприятия по проведению ремонта;
- мероприятия по продлению срока службы (ресурса);

- мероприятия по материально-техническому обеспечению (МТО);
- мероприятия по проведению летных проверок (ЛП);
- мероприятия по метрологическому обеспечению технического обслуживания и ремонта;
- мероприятия по охране труда и пожарной безопасности;
- мероприятия по подготовке и повышению квалификации инженерно-технического персонала (ИТП).

Процесс эксплуатации средств РТОП представляет собой целенаправленную деятельность ИТП службы ЭРТОС, в результате которой обеспечивается успешное использование их по назначению. Данный процесс можно представить в виде взаимосвязанных этапов (рис.1.2.), каждый из которых подразумевает определенную совокупность выполняемых работ.

Рассмотрим наиболее важную составляющую системы технической эксплуатации (СТЭ) – систему технического обслуживания (СТО). Для примера рассмотрим некоторые средства РТОП, а именно: ТРЛК «Утес-ТМ», АОРЛ-85 «Экран», АОРЛ-1АС, АРЛК «Лира-А10», ТРЛК «Сопка-2», РЛ ОЛП «Атлантика», МВРЛ «Аврора-2» и системы посадки СП-90 и СП-200 [70-78].

Техническое обслуживание средств РТОП включает в себя:

- оперативные формы обслуживания;
- периодические формы обслуживания;
- регламентные работы и летные проверки.

Оперативное ТО средства РТОП проводится в целях поддержания его работоспособности при повседневной эксплуатации.

Периодическое ТО проводятся с целью поддержания технических характеристик средства РТОП в пределах установленных допусков, обеспечения надежной работы в межрегламентные периоды эксплуатации и повышения срока службы. В таблице 1.1. приведены формы ТО для указанных средств РТОП.

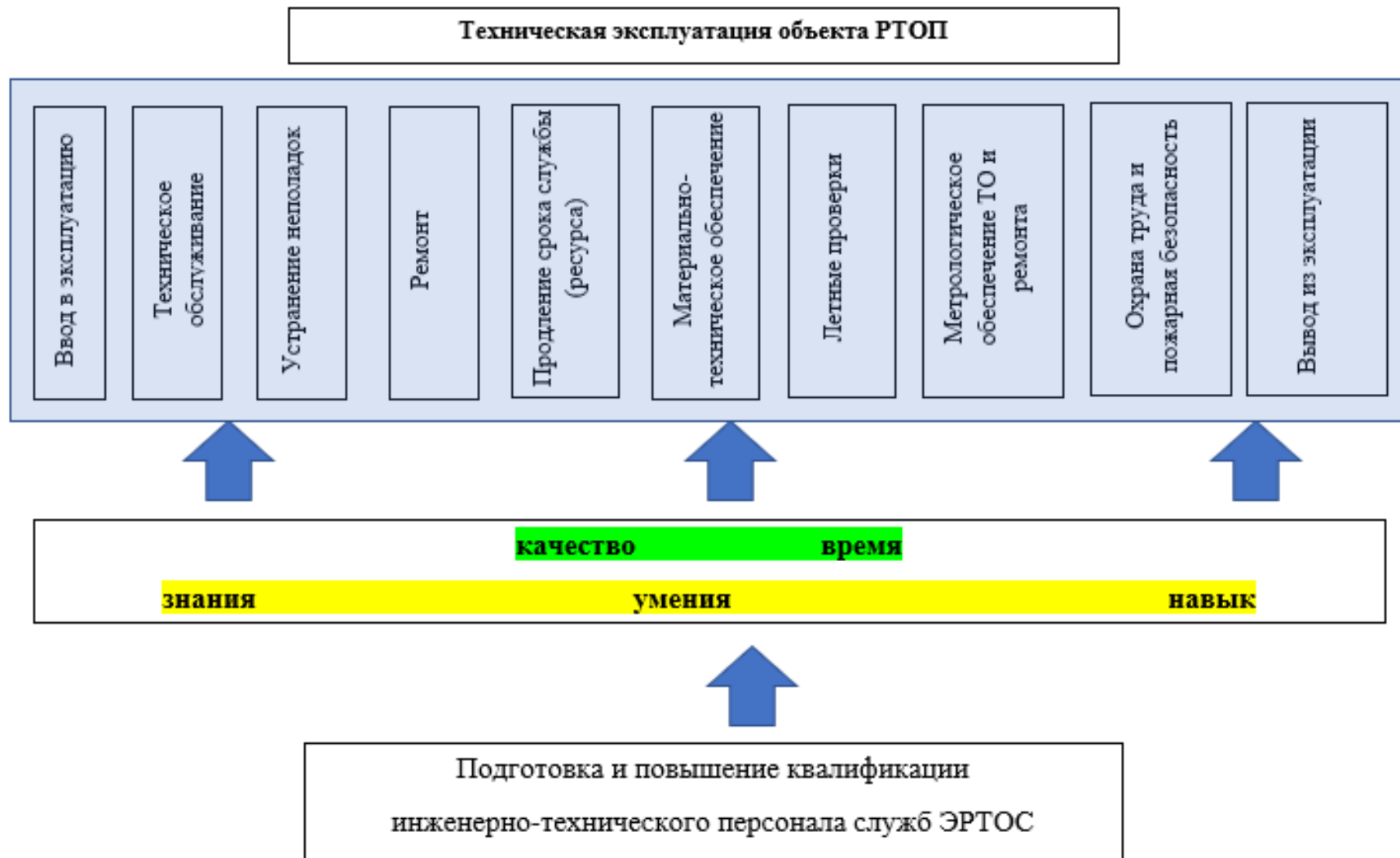


Рисунок 1.2. Типовая структура процесса технической эксплуатации средства РТОП

Таблица 1.1. Формы технического обслуживания средств РТОП

		Оперативные формы ТО	Периодические формы ТО	Принятая СТО
ТРЛК «Утес-Т		Ежедневное ТО-1	Сезонное ТО-С	СТО-К
АОРЛ-85 «Экран»		Ежедневное ТО-1 Еженедельное ТО-2 Ежемесячное ТО-3	Квартальное ТО-4 Полугодовое ТО-5 Сезонное ТО-С	СТО-Р
АОРЛ-1АС		Ежедневное ТО-1 Еженедельное ТО-2 Ежемесячное ТО-3	Квартальное ТО-4 Полугодовое ТО-5 Сезонное ТО-С	СТО-К
АРЛК «Ли́ра-А10»		Ежедневное ТО-1	Сезонное ТО-С	СТО-К
ТРЛК «Сопка-2»		Ежедневное ТО-1 Ежемесячное ТО-3	Годовое ТО-6 Сезонное ТО-С	СТО-К
РЛ ОЛП «Атлантика»		Ежедневное ТО-1 Еженедельное ТО-2 Ежемесячное ТО-3	Полугодовое ТО-5	СТО-Р
МВРЛ «Аврора 2»		Ежедневное ТО-1	Квартальное ТО-4 Полугодовое ТО-5	СТО-Р
СП-200	ГРМ	Ежедневное ТО-1 Еженедельное ТО-2	Квартальное ТО-4 Полугодовое ТО-5 Сезонное ТО-С	СТО-К
	КРМ	Ежедневное ТО-1 Еженедельное ТО-2	Квартальное ТО-4 Полугодовое ТО-5 Сезонное ТО-С	СТО-К
СП-90	ГРМ	Ежедневное ТО-1 Еженедельное ТО-2	Квартальное ТО-4 Полугодовое ТО-5 Сезонное ТО-С	СТО-К
	КРМ	Ежедневное ТО-1 Еженедельное ТО-2	Квартальное ТО-4 Полугодовое ТО-5 Сезонное ТО-С	СТО-К

Как видно из таблицы для средств РТОП предусмотрены несколько видов ТО:

- оперативный ежедневный контроль технического состояния средства РТОП (ТО-1), который, как правило, осуществляется дистанционно без выезда на средство;

- оперативный еженедельный контроль технического состояния средства РТОП (ТО-2) осуществляется ИТП с проведением измерений технических параметров средства через 170 часов наработки и предназначен для определения работоспособности, исправности средств РТОП и вспомогательного оборудования (дизель-генераторов резервного электропитания, линий связи и управления, систем охранной и пожарной сигнализации), состояния помещений и др., а также для

устранения неисправностей, которые могут явиться причинами отказов средства РТОП;

- оперативный ежемесячный контроль технического состояния средства РТОП (ТО-3) через 750 часов наработки;

- периодический квартальный контроль технического состояния средства РТОП (ТО-4) проводится через 2250 часов наработки;

- полугодовое (ТО-5) и годовое (ТО-6) техническое обслуживание средства РТОП проводится через 4500 часов и 8800 часов наработки, соответственно;

- сезонное техническое обслуживание средства РТОП (ТО-С), которое выполняется при переходе на зимнюю или летнюю эксплуатацию.

Работы по ТО проводятся в соответствии с графиком, утвержденному эксплуатирующей организацией, включающим работы по ТО и ремонту, летные проверки и мероприятия по технической учебе.

В настоящее время в эксплуатации находятся средства РТОП как современные (чаще всего выпускаемые в вариантах, предусматривающих минимальные трудозатраты на ТО), так и устаревшие, требующие проведения всех перечисленных видов ТО.

Конкретный тип средства РТОП, его влияние на безопасность полетов определяет систему технического обслуживания (СТО). Подавляющее большинство устаревших средств РТОП эксплуатируются по ресурсу (СТО-Р). Однако, для современных средств РТОП (например, СП-200, АРЛК «Лира-А10», АОРЛ-1АС и др.) СТО приобретает черты системы технического обслуживания по состоянию (СТО-С), когда периодичность и объем работ по ТО определяется фактическим состоянием средства РТОП по результатам контроля его параметров, причем ряд работ выполняется, как и прежде, по ресурсу, т.е. сохраняются элементы СТО-Р. Такая комбинированная СТО (СТО-К) вызывает определенные сложности в подготовке ИТП служб ЭРТОС, а именно:

- изложение теоретического материала для формирования знаний у обучаемых требует большего времени, что не всегда возможно в рамках повышения квалификации и переподготовки ИТП служб ЭРТОС;

- получение обучаемыми требуемых умений и навыков в техническом обслуживании и ремонте различных средств РТОП на основе единых подходов к обучению затруднено.

Вместе с тем, качество выполнения работ по ТО и их оперативность напрямую зависит от уровня квалификация ИТП служб ЭРТОС.

Анализ причин инцидентов при аэронавигационном обеспечении полетов (АНО), проводимый в ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» приведен на рисунке 1.3.

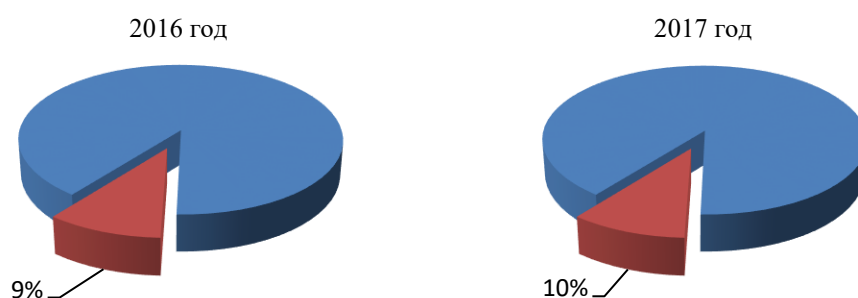


Рисунок 1.3. Доля инцидентов по причинам, связанным с РТОП

Как видно, по причинам, связанным с РТОП, в 2016 и 2017 годах произошло сравнительно не много инцидентов, примерно 9-10% случаев от общего количества инцидентов при АНО полетов.

Более детальный анализ причин инцидентов [4,5] по причинам РТОП показал (рис.1.4.), что около 20% инцидентов происходят вследствие неграмотных действий ИТП служб ЭРТОС. Кроме этого, 10 % инцидентов происходят по причине не выполнения требований ФАП и 20% инцидентов происходят вследствие других причин.

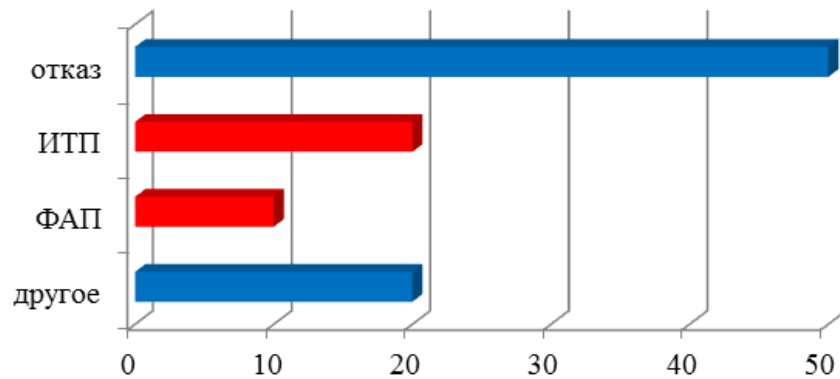


Рисунок 1.4. Факторный анализ инцидентов по причинам РТОП

В качестве примера можно привести следующее событие. 29.03.2016 прерван по команде диспетчера взлет ВС А-320, VQ-BAH, ПАО «Аэрофлот», выполнявшего рейс АФЛ029 по маршруту Санкт-Петербург (Пулково) - Москва (Шереметьево), на аэродроме Санкт-Петербург (Пулково) из-за наличия метки на РЛ ОЛП. Комиссия признала неудовлетворительную работу ИТП службы ЭРТОС Санкт-Петербургского центра ОрВД по восстановлению работоспособности РЛС ОЛП в соответствии с требованиями ФАП.

На инциденты, связанные с отказом авиационной техники приходится около половины всех инцидентов. Таким образом, практически треть инцидентов, связанных с РТОП, происходят, так или иначе, по причинам, связанным с недостаточной профессиональной подготовкой ИТП служб ЭРТОС.

Система технической эксплуатации и ремонта (СТЭР) средств РТОП характеризуется совокупностью показателей эффективности: коэффициент готовности (оперативной готовности); коэффициент технического использования; средние удельные трудозатраты на ТОиР и др. В целях достижения их требуемого уровня проводится дополнительное профессиональное образование и профессиональное обучение (ДПОО) ИТП служб ЭРТОС, а также техническая учеба, направленные на обучение ИТП грамотной эксплуатации и эффективному применению средств РТОП.

ДПОО ИТП служб ЭРТОС и техническая учеба являются одними из важнейших составляющих технической эксплуатации средств РТОП. Основной

целью является постоянное повышение теоретических знаний и совершенствование практических навыков эксплуатации средств РТОП в соответствии с функциональными обязанностями ИТП.

Основным документом, регламентирующим ДПОО ИТП ЭРТОС является «Положение об организации дополнительного профессионального образования и профессионального обучения работников ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», введенное в действие приказом ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» № 647 от 26.11.2014 г.

В данном Положении указывается, что высокое качество дополнительного профессионального образования и профессионального обучения ИТП служб ЭРТОС зависит от применения современных средств обучения и внедрения передового опыта в области эксплуатации средств РТОП. Периодичность повышения квалификации ИТП служб ЭРТОС устанавливается один раз в 5 лет. Помимо этого, по решению работодателя может быть проведена внеплановое повышение квалификации ИТП служб ЭРТОС.

Занятия по технической учебе проводятся в эксплуатирующих подразделениях ежемесячно.

ДПОО ИТП служб ЭРТОС осуществляется в образовательных учреждениях высшего (или среднего) профессионального образования или авиационных учебных центрах (АУЦ), а также в филиалах некоммерческого образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Институт аэронавигации» (далее по тексту – Институт аэронавигации). Алгоритм планирования ДПОО ИТП служб ЭРТОС представлен на рисунке 1.5.

В настоящее время ДПОО ИТП служб ЭРТОС состоит из теоретической и практической подготовки. Анализ состояния ДПОО показал, что формы, средства и методы обучения совершенствуются медленно и малоэффективно.

На сегодняшний день основными формами обучения являются:

- лекционные занятия;
- групповые и практические занятия;
- тренажи на средствах РТОП;

- самостоятельная подготовка.

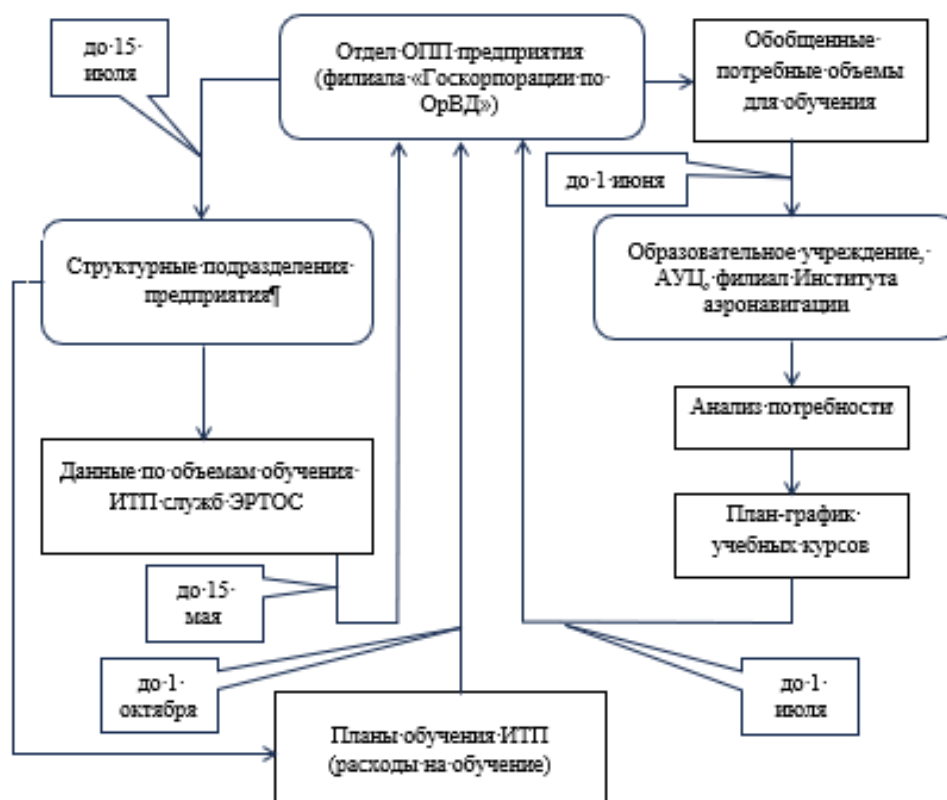


Рисунок 1.5. Алгоритм планирования повышения квалификации ИТП служб ЭРТОС

Особенностями существующей системы ДПОО ИТП служб ЭРТОС является то, что в ней по-прежнему основными средствами обучения являются плакаты, стенды, технические средства обучения (интерактивные доски, проекторы и т.д.), макеты различных изделий средств РТОП, которые не дают возможности представить свойства и особенности функционирования средств РТОП в динамике и тем более не позволяют проводить обучение ИТП по проведению различных видов ТО и ремонта конкретных средств РТОП. Также необходимо отметить, что модернизация эксплуатируемых средств РТОП и введение в эксплуатацию современных систем РТОП, предусматривающих эксплуатацию по состоянию или комбинированные формы эксплуатации требует внедрения новых средств обучения в систему ДПОО ИТП служб ЭРТОС.

Таким образом, эффективность и качество ДПОО ИТП служб ЭРТОС зависят от используемых форм, методов и технических средств обучения, которые должны учитывать постоянную модернизацию техники и возрастающую сложность оборудования средств РТОП.

Техническая учеба ИТП служб ЭРТОС проводится непосредственно в эксплуатирующем подразделении в соответствии с месячным графиком работы. В подразделении назначаются для проведения занятий наиболее опытные инженеры. Учет проводимых занятий осуществляется в журнале учета технической учебы подразделения (группы). Основными формами занятий являются лекции и практические занятия, реже тренажи на средствах РТОП.

Таким образом, основными характерными недостатками существующих форм и методов обучения ИТП служб ЭРТОС являются:

- преобладание устного изложения материала при низкой степени использования всевозможных технических средств обучения. При этом эффективность приёма и переработки информации при слуховом восприятии значительно ниже, чем при зрительном и комбинированном;
- различный уровень квалификации инструкторов (ведущих инженеров) и преподавателей организаций, занимающихся ППК ИТП служб ЭРТОС;
- запаздывание контроля знаний и действий обучаемых;
- ограниченная возможность формирования соответствующих навыков в условиях дефицита времени, выделенного для ППК и технической учебы;
- ограниченная возможность проведения индивидуального обучения.

В целом, традиционные формы и методы подготовки не являются достаточно эффективными. По мнению экспертов, наиболее существенными причинами низкой эффективности системы ДПОО ИТП служб ЭРТОС и технической учебы, следует считать [96,100-102]:

- отсутствие возможности проведения занятий на средствах РТОП, находящихся в режиме типового функционирования;
- недостаточный объём и уровень учебно-методических пособий и разработок по ТО и ремонту средств РТОП;

- низкий уровень индивидуализации обучения.

Оценивая эти недостатки и причины их порождающие, можно заключить, что даже при наличии самых перспективных методов организации обучения существующая система ДПОО и технической учебы (ТУ) ИТП служб ЭРТОС требует широкого внедрения современных технических (компьютерных) средств, а также перспективных методов и форм обучения, направленных на развитие продуктивного мышления, индивидуализацию процесса обучения и его интенсификацию.

1.2. Пути устранения недостатков современной системы подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС

Указанные выше. недостатки современной системы ДПОО и технической учебы ИТП служб ЭРТОС могут быть устранены или существенно уменьшены путём внедрения в практику тренажерных систем (ТрС) [8,9,17,31,96,101].

Под тренажерной системой будем понимать совокупность взаимосвязанных математических, методических, лингвистических, информационных, программных и технических средств, предназначенных для автоматизации процесса обучения в различных его формах в диалоговом режиме индивидуального и коллективного пользования.

Основными задачами ТрС являются [31,52,]:

1. Ознакомление обучаемого с задачами его деятельности, глубокое изучение средства РТОП и совокупности действий по его ТОиР в нормальных и аварийных режимах функционирования.

2. Поддержание и развитие навыков оценки сложных ситуаций, принятие решений на основе имитационных моделей функционирования оборудования средств РТОП.

3. Обеспечение наглядной демонстрации обучаемому результатов обучения.

4. Осуществление пооперационного контроля, с выдачей обучаемому сообщений об ошибках и пояснений (по запросу) их причин.

5. Планирование процесса обучения, генерирование учебных программ в зависимости от исходного и требуемого уровней подготовки обучаемого.

6. Предоставление инструктору (преподавателю) средств, обеспечивающих формирование и корректировку информационных моделей ситуаций любой степени вложенности и сложности с целью показа, тренировки и контроля качества деятельности обучаемых.

В настоящее время накоплен определенный опыт создания авиационных ТрС, основу которых, как правило, составляет автоматизированный учебный класс с использованием средств мультимедиа. Например, широко используется в учебном процессе в МГТУ ГА процедурные тренажеры самолетов А-320 и Boeing 747.

Однако, в настоящее время авиационные ТрС предназначены для обучения летного и диспетчерского состава, авиационно-технического персонала, обслуживающего воздушные суда. Исчерпывающие сведения об авиационных тренажерах, предназначенных для летного состава, диспетчеров и авиационно-технического персонала приведены в [17].

На сегодняшний день автору известна только одна тренажерная система производства ООО «Фирма НИТА», позволяющая проводить обучение ИТП служб ЭРТОС. Данный тренажер используется при подготовке инженеров по специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» в МГТУ ГА и его филиалах.

Рассмотрим структуру ТрС производства фирмы НИТА, решаемые ею задачи и возможности по обучению ИТП служб ЭРТОС.

Тренажер ООО «Фирма НИТА» является комплексным и предназначен для:

- обучения студентов принципам функционирования гидромеханических систем и двигателей ВС, процедурам технического обслуживания при выполнении работ в кабине ВС в условиях авиатехнической базы (модуль «А» тренажера);
- обучения студентов принципам функционирования авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов ВС (модули «Б» и «В» тренажера);
- обучения студентов принципам функционирования средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи (модули «Б» и «В»).

Каждый из модулей может функционировать отдельно и включает в себя рабочее место инструктора и рабочие места обучаемых.

Модуль «А» (см. рис.1.6.) представляет собой, по сути, процедурный тренажер, позволяющий проводить обучение студентов работам по подготовке ВС к полету и контролю технического состояния систем в кабине ВС.



Рисунок 1.6. Вид модуля «А»

Модули «Б» и «В» (см. рис.1.7.) являются идентичными по составу оборудования, программного обеспечения и функциональным возможностям и

дают возможность для изучения студентами следующих видов систем и оборудования бортового и наземного радиоэлектронного оборудования:

- спутникового навигационного приемника GPS/ГЛОНАСС;
- бортовой ОБЧ радиостанции (Орлан-85СТ);
- наземных ОБЧ радиостанций (RS-2500V, Фазан-19 Р50);
- азимутального (DVOR 2000) и дальномерного (DME 2000) радиомаяков;
- курсоглиссадной системы точного захода на посадку СП-200.

Модули «Б» и «В» могут быть использованы для проведения занятий в различных режимах:

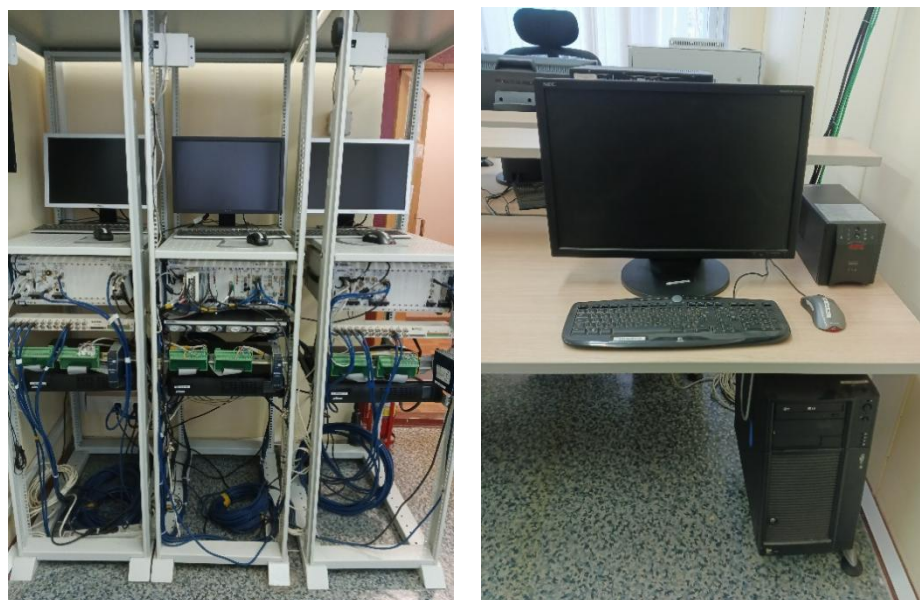


Рисунок 1.7. Вид модуля «Б» («В») и рабочего места обучаемого

- предоставление студентам аудиовизуальной информации (фильмы, презентации и т.п.) с использованием мультимедийной презентационной системы.
- практическая работа студентов с эмуляторами измерительных систем и эмуляторами средств РТОП.

Программное обеспечение тренажера (ПО) включает в себя:

- общесистемное ПО;
- специальное (прикладное) ПО модуля «А»;

- специальное (прикладное) ПО модулей «Б» и «В», включающее имитаторы оборудования средств РТОП:

Azimuth – эмулятор приемопередатчика RS 2500V;

FAZAN – эмулятор радиостанции «Фазан-19 P50»

Orlan 85ST – эмулятор радиостанции «Орлан-85СТ»;

DVOR – эмулятор бортовых приборов самолета для работы с системами ближней навигации;

ILS – эмулятор бортовых приборов самолета для работы с системами посадки;

DME2000 – эмулятор дальномерного радиомаяка DME2000;

DVOR2000 – эмулятор азимутального радиомаяка DVOR2000;

SP-200 – эмулятор системы посадки СП-200;

GPS – модуль для работы с СНС ГЛОНАСС/GPS.

Подход к построению эмуляторов средств РТОП един. В Приложении 1 на примере эмулятора системы посадки СП-200 показаны возможности тренажера.

Анализ эмуляторов средств РТОП показал, что они позволяют изучить средства РТОП, познакомиться с их процедурами управления, настройкой параметров, но практически не пригодны для формирования навыков ТО и поиска неисправностей.

Известно, что одной из основных характеристик тренажерной системы является ее адекватность реальной системе [42,47,69,80]. Проведем оценку адекватности существующей тренажерной системы ООО «Фирма НИТА» в части касающейся средств РТОП.

1.3. Оценка адекватности существующей тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи. Постановка задачи исследований

По своей сути, адекватность тренажерной системы (ТрС) A представляет собой меру соответствия ТрС реальному средству РТОП. В качестве показателя адекватности A может выступать вероятность того, что обучаемый не будет чувствителен к различию между реальным средством РТОП и тренажерной системой. На практике это будет означать, что обучаемый не будет выполнять на ТрС действий, отличных от правильных действий на реальном средстве (РС) РТОП.

В настоящее время имеется ряд подходов и связанных с ними методик оценки адекватности ТрС. Все эти подходы различаются по степени охвата функций тренажера, его эргономичности, экономической эффективности и т.д. Методики расчета адекватности ТрС подробно описаны в [17,69].

Для оценки адекватности тренажера ООО «Фирма «НИТА» остановимся на методе, получившем название «оценка адекватности «глазами обучаемого» [69]. Этот метод относится к экспертным методам, а в качестве экспертов выступают сами обучаемые. Применение этого метода возможно в том случае, если в учебной организации (вузе, центре повышения квалификации и т.д.) наряду с тренажерами имеются и реальные средства РТОП. В этом случае обучаемые проходят подготовку как на тренажерах, так и на реальных средствах, а, следовательно, могут оценить степень соответствия тренажера реальному средству, т.е. его адекватность.

В тренажере ООО «Фирма НИТА» имеются эмуляторы наземных радиостанций ОВЧ диапазона и эмулятор системы посадки. На кафедре «Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта» МГТУ ГА имеются наземные радиостанции ОВЧ диапазона, аналогичные тем, которые реализованы в тренажере, а в УАТЦ МГТУ ГА имеется

система посадки. Таким образом, как этого и требует метод оценки адекватности «глазами обучаемых», имеются эмуляторы оборудования РТОП и сами средства РТОП. Используя метод оценки адекватности «глазами обучаемых» определим адекватность тренажера. На рисунке 1.8. приведена последовательность этапов реализации метода оценки адекватности тренажера.

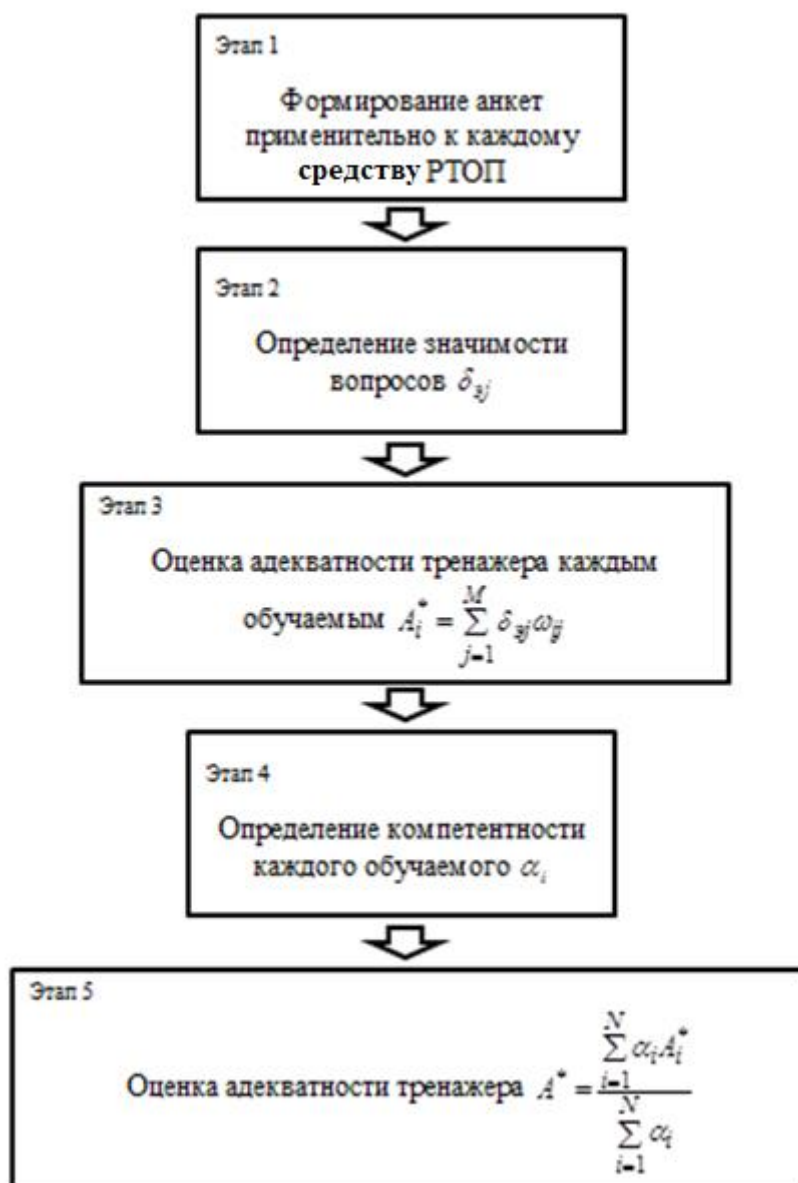


Рисунок 1.8. Метод оценки адекватности тренажера «глазами обучаемых»

На первом этапе реализации метода оценки адекватности «глазами обучаемых» были сформированы анкеты, которые представлены в таблице 1.2. и таблице 1.3., соответственно для наземной радиостанции ОВЧ диапазона и системы посадки.

Второй этап связан с ранжированием вопросов анкеты по уровню значимости. В таблице 1.4. представлены результаты опроса студентов 5 курса специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования». Очевидно, что каждый вопрос в анкетах имеет свою значимость $\delta_{\alpha j}$. Экспертным путем можно предварительно проранжировать вопросы анкеты [69] и определить вес каждого j -ого вопроса. Очевидно, что $\sum_{j=1}^M \delta_{\alpha j} = 1$. Ранжирование вопросов было выполнено на основании заявленного производителем целевого назначения тренажера и важности решаемых им задач (см. табл.1.5.).

Таблица 1.2. Анкета обучаемого (для радиостанций ОВЧ диапазона)

ФИО студента: Иванов И.И.		
№	Вопрос	Оценка (в %) от 0 до 100
1	Как Вы оцениваете соответствие состава имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона реальному средству	
2	Как Вы оцениваете соответствие перечня функций имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона реальному средству	
3	Как Вы оцениваете соответствие органов управления и настройки имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона реальному средству	
4	Как Вы оцениваете полноту функций управления и настройки имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона реальному средству	
5	Как Вы оцениваете соответствие функции встроенного контроля имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона реальному средству	
6	Как Вы оцениваете полноту перечня кодов ошибок имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона реальному средству	
7	Как Вы оцениваете соответствие внешнего вида имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона реальному средству	
8	Как Вы оцениваете соответствие размещения имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона и реального средства	
9	Как Вы оцениваете возможность имитации подключения к имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона сервисной КПА	
10	Как Вы оцениваете имитацию работ по ТО имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона	
11	Как Вы оцениваете имитацию поиска отказов в имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона и реальном средстве	
12	Как Вы оцениваете имитацию восстановления работоспособного состояния имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона	

ФИО студента: Иванов И.И.		
№	Вопрос	Оценка (в %) от 0 до 100
13	Как Вы оцениваете имитацию источников питания имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона	
14	Как Вы оцениваете полноту перечня возможных отказов имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона и реального средства	
15	Как Вы оцениваете имитацию сервисной КПА и измерительных приборов общего назначения для измерения параметров имитируемой радиостанции ОВЧ диапазона и реального средства	

Таблица 1.3. Анкета обучаемого (для системы посадки)

ФИО студента: Иванов И.И.		
№	Вопрос	Оценка (в %) от 0 до 100
1	Как Вы оцениваете соответствие состава имитируемой системы посадки реальному средству	
2	Как Вы оцениваете соответствие перечня функций имитируемой системы посадки реальному средству	
3	Как Вы оцениваете соответствие органов управления и настройки имитируемой системы посадки реальному средству	
4	Как Вы оцениваете полноту функций управления и настройки имитируемой системы посадки реальному средству	
5	Как Вы оцениваете соответствие функции встроенного контроля имитируемой системы посадки реальному средству	
6	Как Вы оцениваете полноту перечня генерируемых отказов имитируемой системы посадки реальному средству	
7	Как Вы оцениваете соответствие внешнего вида имитируемой системы посадки реальному средству	
8	Как Вы оцениваете соответствие размещения имитируемой системы посадки и реального средства	
9	Как Вы оцениваете возможность имитации подключения к имитируемой системе посадки сервисной КПА	
10	Как Вы оцениваете возможность имитации работ по ТО имитируемой системы посадки	
11	Как Вы оцениваете имитацию поиска отказов в имитируемой системе посадки и реальном средстве	
12	Как Вы оцениваете имитацию восстановления работоспособного состояния имитируемой системы посадки и реальном средстве	
13	Как Вы оцениваете имитацию размещения оборудования системы посадки в кунгах	
14	Как Вы оцениваете имитацию размещения системы посадки на аэродроме	
15	Как Вы оцениваете имитацию сервисной КПА и измерительных приборов общего назначения для измерения параметров имитируемой системы посадки и реального средства	

Таблица 1.4. Результаты опроса

обучаемый	Вопрос															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	A_i^*
Наземная радиостанция ОВЧ диапазона																
1	0,5	0,6	1	1	0,9	1	1	0,1	0,5	0,2	0,2	0	0	0	0,3	0,464
2	0,3	0,4	1	1	0,7	1	1	0,2	0,5	0,2	0,1	0	0	0	0,2	0,41
3	0,5	0,4	1	1	0,8	1	1	0,2	0,5	0,2	0,3	0	0	0	0,2	0,451
4	0,6	0,5	1	1	0,8	1	1	0,1	0,5	0,1	0,3	0	0	0	0,4	0,466
5	0,6	0,6	1	1	0,8	1	1	0,3	0,5	0,3	0,3	0	0	0	0,4	0,504
6	0,5	0,6	1	1	0,9	1	1	0,3	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0,3	0,469
7	0,7	0,3	1	1	0,6	1	1	0,2	0,6	0,3	0,2	0	0	0	0,1	0,447
8	0,5	0,3	1	1	0,8	1	1	0,2	0,6	0,2	0,2	0	0	0	0,2	0,438
9	0,5	0,2	1	1	0,8	1	1	0,1	0,5	0,2	0,3	0	0	0	0,6	0,458
10	0,4	0,4	1	1	0,9	1	1	0,4	0,6	0,4	0,4	0	0	0	0,5	0,514
11	0,6	0,6	1	1	0,9	1	1	0,1	0,4	0,2	0,3	0	0	0	0,2	0,47
12	0,7	0,7	1	1	0,9	1	1	0,2	0,3	0,2	0,3	0	0	0	0,5	0,507
13	0,3	0,7	1	1	0,7	1	1	0,2	0,5	0,3	0,4	0	0	0	0,5	0,495
14	0,5	0,8	1	1	0,7	1	1	0,1	0,5	0,1	0,3	0	0	0	0,2	0,463
15	0,5	0,5	1	1	0,8	1	1	0,1	0,5	0,3	0,3	0	0	0	0,3	0,471
Система посадки																
1	0,5	0,7	1	1	0,8	0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,2	0	0	0,1	0,5	0,42
2	0,6	0,6	1	1	0,8	0,6	0,6	0,5	0,6	0,4	0,1	0	0	0,1	0,7	0,436
3	0,4	0,8	1	1	0,9	0,4	0,7	0,4	0,4	0,4	0,1	0	0	0,1	0,4	0,391
4	0,5	0,8	1	1	0,8	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0	0	0,1	0,5	0,448
5	0,5	0,6	1	1	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0	0	0,2	0,5	0,426
6	0,3	0,7	1	1	0,8	0,4	0,7	0,3	0,4	0,3	0,2	0	0	0,1	0,3	0,358
7	0,6	0,6	1	1	0,9	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,2	0	0	0,1	0,6	0,464
8	0,6	0,8	1	1	0,9	0,5	0,7	0,6	0,4	0,4	0,2	0	0	0,2	0,5	0,445
9	0,4	0,8	1	1	0,9	0,4	0,7	0,4	0,4	0,4	0,3	0	0	0,1	0,4	0,411
10	0,5	0,7	1	1	0,7	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,3	0	0	0,3	0,5	0,443
11	0,5	0,7	1	1	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0	0	0,1	0,5	0,42
12	0,5	0,7	1	1	0,8	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,2	0	0	0,2	0,5	0,434
13	0,6	0,5	1	1	0,9	0,6	0,8	0,6	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,6	0,459
14	0,7	0,5	1	1	0,9	0,6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,2	0	0	0,2	0,8	0,78
15	0,4	0,7	1	1	0,9	0,4	0,7	0,4	0,5	0,4	0,2	0	0	0,2	0,4	0,402

Таблица 1.5. Веса вопросов анкеты

Вес $\delta_{эj}$	Вопрос														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Наземная радиостанция ОВЧ диапазона														
	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,03	0,05	0,07
	Система посадки														
	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,04	0,04	0,07

Третий этап связан с определением адекватности тренажера каждым обучаемым в отдельности. С учетом представленных данных оценка адекватности тренажера, определенная i -ым обучаемым, будет определяться как:

$$A_i^* = \sum_{j=1}^M \delta_{\alpha j} \omega_{ij}, \quad (1.1)$$

где: ω_{ij} - оценка формируемая i -ым обучаемым по j -ого вопросу анкеты, представленная в таблице 1.4.

Значения A_i^* приведены в таблице 1.4.

Четвертый этап позволяет учесть уровень компетентности каждого обучаемого α_i . Действительно, каждый обучаемый в силу своей компетентности дает свою оценку адекватности тренажера. При этом требуется учитывать, что тестируемая группа студентов имеет в своем составе как «отличников» и «хорошистов», так и «троечников». Уровень подготовки студентов нельзя не учитывать при определении адекватности тренажера. Существует несколько способов и методик, которые позволяют определить уровень компетентности каждого студента [69]. Однако, проще всего использовать такую известную характеристику как средний балл студента. Следует также при определении среднего бала учитывать успеваемость студента только по специальным дисциплинам, именно знания в области специальных дисциплин позволят студенту ответить на поставленные в анкете вопросы с высокой долей достоверности.

Уровень компетентности студентов будем определять по формуле:

$$\alpha_i = \frac{a_i}{a_{\max}}, \quad (1.2)$$

где a_i - средний балл i -ого обучаемого; $a_{\max}$ - максимальное значение среднего балла, равное пяти.

В таблице 1.6. приведены значения компетентности студентов, рассчитанные по формуле (1.2).

Таблица 1.6. Уровень компетентности студентов

α_i	Студент														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	0,84	0,81	0,6	0,67	0,76	0,79	0,84	0,94	0,69	0,97	0,91	0,74	0,8	0,87	0,64

На заключительном пятом этапе проводится расчет адекватности тренажера при обработке всех N анкет [69]:

$$A^* = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i A_i^*}{\sum_{i=1}^N \alpha_i}. \quad (1.3)$$

На основании приведенных в таблицах данных определена адекватность тренажера ООО «Фирмы НИТА», применительно к средствам наземной радиосвязи и системе посадки. Величина адекватности составила:

- для наземных систем радиосвязи ОВЧ диапазона - $A^* = 0,46$;
- для системы посадки - $A^* = 0,47$.

Очевидно, что общая адекватность тренажера ООО «Фирма НИТА» будет достаточно низкой, учитывая, что в тренажере полностью отсутствуют эмуляторы радиолокационных систем наблюдения (АОРЛ, ТРЛ, РЛ ОЛП и др.), многопозиционных систем наблюдения и оборудования АЗН-В.

Полученные результаты позволяют сделать ряд важных выводов:

1. Тренажерная система ООО «Фирма НИТА» не обладает высокой адекватностью.
2. Практически полностью отсутствует возможность формирования навыков проведения ТО и поиска отказов.

3. ТрС фирмы НИТА не отвечает заявленным производителем возможностям и требует глубокой модернизации, связанной с:

- расширением номенклатуры эмуляторов средств РТОП, прежде всего радиолокационных систем, многопозиционных систем наблюдения и АЗН-В;
- возможностями формирования навыка проведения всех видов ТО на существующих средствах РТОП;
- возможностями формирования навыка проведения процедур по поиску и устранению отказов.

В связи со сказанным, можно сформулировать постановку задачи исследований.

В целях повышения качества подготовки ИТП служб ЭРТОС в условиях возрастающей сложности средств РТОП требуется:

1. Разработать методику формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи. Данная методика должна включать в себя:

- обоснование назначения и задач, решаемых тренажерной системой;
- обоснование состава и структуры тренажерной системы, структуры ее программного обеспечения;
- обоснование режимов функционирования тренажерной системы;
- разработку математических моделей средств РТОП, учитывающих как нормальное, так и аномальное функционирование средства;
- обоснование технических требований к тренажерной системе.

2. Разработать методики оценки эффективности тренажерной системы ТОиР средств РТОП для теоретической и практической подготовки.

Выводы по главе 1:

1. Детальный анализ инцидентов по причинам, связанным с недостатками в работе средств РТОП показал, что около 20% инцидентов происходят вследствие неграмотных действий ИТП служб ЭРТОС, до 10 % инцидентов происходят по причине не выполнения требований ФАП. Таким образом, порядка трети инцидентов, связанных с недостатками в работе средств РТОП, происходят, так или иначе, по причинам, связанным с недостаточной профессиональной подготовкой ИТП служб ЭРТОС.

2. Анализ системы подготовки ИТП служб ЭРТОС показал, что существующие средства обучения устарели и не дают возможности представить свойства и особенности функционирования средств РТОП в динамике и тем более не позволяют проводить обучение ИТП проведению различных видов ТОиР конкретных средств РТОП. В результате анализа выявлены основные характерные недостатки существующих форм и методов обучения ИТП служб ЭРТОС является:

- отсутствие возможности проведения занятий на средствах РТОП, находящихся в режиме типового функционирования;
- низкий уровень индивидуализации обучения.

Указанные недостатки современной системы профессиональной подготовки ИТП служб ЭРТОС могут быть устранены или существенно уменьшены путём внедрения в практику тренажерных систем.

2. Оценка адекватности существующей тренажерной системы технической эксплуатации транспортного радиооборудования ООО «Фирма НИТА» выявила низкий уровень адекватности данного тренажера (менее 0,5). Кроме этого, были определены существенные недостатки тренажера ООО «Фирма НИТА», а именно:

- полное отсутствуют в номенклатуре тренажера имитаторов систем наблюдения (обзорные радиолокаторы, вторичные радиолокаторы, многопозиционные системы наблюдения и т.д.);

- практически полное отсутствие возможности формирования навыков проведения ТО и поиска отказов.

3. В целях повышения качества процесса профессиональной подготовки ИТП служб ЭРТОС требуется разработать методику формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП, который позволит разработать ТрС, позволяющую эффективно решать задачи подготовки ИТП служб ЭРТОС на качественно новом уровне.

2. Методика формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи

2.1. Структура методики формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП

Разработка методики формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи представляет собой многоплановую, многоуровневую задачу, направленную на обоснование рациональных технических решений и требований к системе.

Анализ различных подходов к формированию технического облика технических систем и комплексов [13] позволяет сделать вывод о том, что методика формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП должна включать три основных этапа, а именно:

- 1) анализ существующих тренажерных систем технического обслуживания и ремонта средств РТОП, оценку их адекватности;
- 2) разработку вариантов технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП;
- 3) оценку эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП.

На рисунке 2.1. представлена структура методики формирования тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП.

Первый этап включает в себя:

- анализ существующих тренажерных систем ТОиР средств РТОП;
- оценку адекватности существующих тренажерных систем ТОиР средств РТОП и определение направлений их модернизации;
- анализ потребностей в тренажерных системах ТОиР средств РТОП.

Второй этап реализации методики связан непосредственно с формированием технического облика тренажерной системы ТОиР средств РТОП и включает в себя:

- определение целей и задач тренажерной системы ТОиР средств РТОП, ее структуры и режимов работы;
- разработку подсистем теоретической и практической подготовки, их математического обеспечения;
- разработку технических требований к тренажерной системе ТОиР средств РТОП, определение особенностей ее построения;
- обоснование видов обеспечения (информационного, алгоритмического, методического, технического и др.) тренажерной систем ТОиР средств РТОП.

Третий этап реализации методики включает в себя:

- разработку методики и оценку эффективности теоретической подготовки ИТП;
- разработку методики и оценку эффективности практической подготовки ИТП.

При разработке вариантов подсистем теоретической и практической подготовки требуется сформировать не только структуру этих подсистем, но и разработать математические модели средств РТОП, адаптированные к использованию в тренажерной системе ТОиР и учитывающие процедуры технического обслуживания и ремонта средств РТОП.

Совокупность математических моделей средств РТОП определяет облик математического обеспечения ТРС ТОиР.

В диссертационной работе последовательно рассматриваются все три этапа методики формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП.

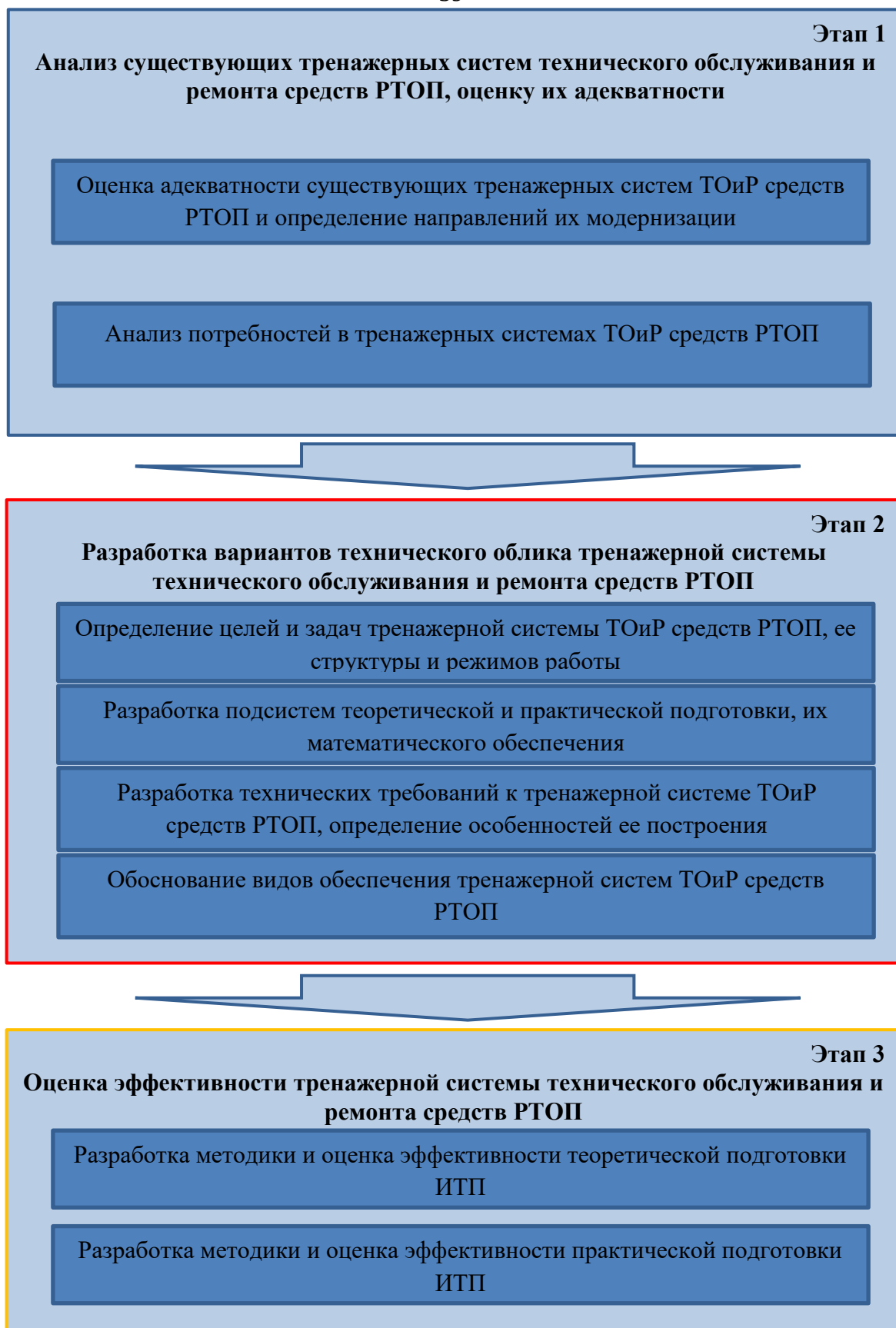


Рисунок 2.1. Структура методики формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП

2.2. Технический облик тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП

Основу современной учебной базы для подготовки ИТП служб ЭРТОС должны составлять совершенные системы обучения. Программное обеспечение и аппаратные средства таких систем должны позволять проводить теоретическое и практическое обучение в полном объеме с контролем знаний обучаемых для поддержания высокого уровня их технической подготовки и безошибочной эксплуатации современных средств РТОП.

Технический облик тренажерной системы ТОиР средств РТОП, должен включать в себя:

- цель разработки системы, его назначение и решаемые задачи;
- состав и обобщенную структуру ТрС;
- режимы функционирования ТрС;
- технические и методические требования к ТрС.

Рассмотрим каждый из приведенных выше пунктов.

Цель разработки тренажерной системы, ее назначение и решаемые задачи.

Целью разработки ТрС является повышение качества подготовки ИТП служб ЭРТОС в условиях возрастающей сложности средств РТОП.

ТрС ТОиР средств РТОП предназначен для решения следующих задач:

- теоретическое изучение средств РТОП, форм их ТО, правил эксплуатации и ремонта;
- практическое изучение форм ТО средств РТОП, специализированной контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) при выполнении форм ТО;
- отработка сценариев поиска и устранения отказов средств РТОП;
- отработка сценариев аварийных ситуаций на средствах РТОП;
- анализ результатов действий обучаемого;
- подготовка индивидуальных заданий для обучаемого.

Состав и обобщенная структура тренажерной системы. В состав ТрС ИТП служб ЭРТОС должны входить [85]:

- автоматизированное рабочее место инструктора (АРМ-И) с функцией контроля действий обучаемого;
- автоматизированное рабочее место обучаемого (АРМ-О), позволяющее имитировать органы управления и индикации средств РТОП, специализированные средства контроля технического состояния и средства измерения общего применения и т.п.;
- вычислительный комплекс (ВК) ТрС ТОиР, включающий модули (подсистемы) теоретической и практической подготовки;
- программно-математические модули (ПММ) средств РТОП;
- эксплуатационно-техническая документация к ТрС.

На рисунке 2.2. представлена типовая схема размещения АРМ-И и АРМ-О ТрС ТОиР в учебном классе.



Рисунок 2.2. Типовая схема размещения АРМ-И и АРМ-О тренажерной системы в учебном классе

Постановка задач



Рисунок 2.3. Структура тренажерной системы ТОиР средств РТОП

Основным принципом построения ТрС ТОиР должен быть принцип модульности. Структура ТрС ТОиР, реализующей этот принцип приведена на рисунке 2.3.

Автоматизированное рабочее место инструктора АРМ-И должно выполняться в виде отдельных модулей, включающих в себя:

- средства отображения информации на АРМ инструктора;
- средства управления на АРМ инструктора, которые предназначены для индикации информации, необходимой для контроля учебного процесса, органов управления, через которые инструктор осуществляет ввод необходимой информации и выполняет функции управления процессом выполнения обучаемыми конкретных заданий.

АРМ-И в составе ТрС предназначено для решения следующих задач управления и контроля за процессом подготовки на тренажере, а именно:

- включение, выключение (включая аварийное) и подготовка тренажера к работе, контроль за работоспособностью систем и тренажера в целом;
- предварительное задание сценария упражнения и ввод необходимых исходных данных;
- оперативный контроль и управление процессом подготовки обучаемого, контроль действий обучаемых, «подыгрывание» обучаемому при выполнении упражнений, связанных с технологическими операциями по ТОиР;
- оперативное изменение текущего сценария задания (например, ввод нештатной ситуации, ввод отказов и т.д.);
- оперативное изменение внешних условий, например, погоды при проведении форм ТОиР;
- контроль и корректировку действий обучаемого;
- показ правильных действий;
- проведение оценки действий обучаемых;
- анализ и документирование результатов контроля по выполненным упражнениям.

Автоматизированное рабочее место обучаемого АРМ-О представляет собой рабочее место, оснащенное двумя (или более) мониторами и органами управления. АРМ-О также выполнен в виде модулей:

- средств отображения информации на АРМ обучаемого;
- средств управления на АРМ обучаемого.

На мониторах АРМ-О обучаемому представляется необходимая информация по теоретическому изучению средств РТОП и практическому освоению форм ТОиР средств РТОП.

Вычислительный комплекс, включающий модули теоретической и практической подготовки ПММ должен выполняться на базе стандартных серийных вычислительных средств и обеспечивать:

- общее функционирование тренажера и работу его подсистем;
- предоставление исчерпывающей информации о изучаемом средстве РТОП при теоретической подготовке;
- моделирование работы имитируемых средств РТОП при выполнении форм ТО;
- моделирование отказов имитируемых средств РТОП;
- моделирование поиска отказа и восстановления имитируемых средств РТОП при выполнении ремонта, а также моделирование работы специализированных контрольно-проверочных средств и средств измерения общего назначения.
- управление и наблюдение за процессом обучения.

Режимы работы тренажерной системы. ТРС ТОиР средств РТОП должна обеспечивать подготовку обучаемых в двух режимах:

- теоретическая подготовка;
- практическая подготовка.

Режим «Теоретическая подготовка» предназначен для формирования у обучаемых необходимых знаний по назначению, решаемым задачам, принципу работы, функционированию средства в целом и его составных частей, составу и конструктивным особенностям конкретных средств РТОП и их технической

эксплуатации. В ТрС должны быть заложены теоретические сведения о всех находящихся в эксплуатации средствах РТОП, а также предусмотрена возможность расширения номенклатуры средств РТОП, которые вводятся в эксплуатацию.

Подходы к конкретной реализации режима «Теоретическая подготовка» могут быть различными. Они зависят от сложности средства РТОП, конкретных используемых программных средств и систем.

Режим «Практическая подготовка» предназначен для формирования у обучаемых умений и навыков по проведению всех форм ТО, поиску отказов и восстановлению средств РТОП. Режим практической подготовки является основным режимом работы тренажерной системы ТОиР.

Технические и методические требования к ТрС. К ТрС ТОиР средств РТОП должны быть предъявлены определенные требования, в том числе требования к ее методическим возможностям.

Тренажерная система должна обеспечивать отработку и формирование умений и навыков выполнения технологических операций (заданий) по ТОиР средств РТОП. ТрС должна обладать следующими возможностями по организации процесса обучения:

- задание и оперативное изменение начальных условий упражнения, внешних факторов выполнения задания;
- контроль над действиями обучаемых, а также оперативное изменение условий задания;
- ввод отказов и контроль над действиями обучаемых при их поиске и устранении;
- возможность многократной отработки отдельных задач и этапов ТОиР при заданных начальных условиях;
- возможность остановки выполнения упражнения с замораживанием текущих технологических операций, показаний контрольных приборов на панелях и органах управления средств РТОП, на приборах специализированной

контрольно-проверочной аппаратуры для разбора ситуации и продолжения упражнения с данной точки;

- объективный (автоматизированный) контроль и оценка выполнения заданий;

- создание базы данных для каждого обучаемого с возможностью обработки информации о результатах выполнения упражнений на ТрС.

Вызывает определенный интерес имитация работы средства РТОП в определенных географических и климатических условиях. Для этого к ТрС могут быть предъявлены требования к имитации внешних условий эксплуатации имитируемых средств РТОП. В частности:

- должна обеспечиваться имитация влияния на эксплуатацию средств РТОП температуры воздуха и атмосферного давления;

- должна обеспечиваться имитация размещения средства РТОП на аэродроме, при этом высота аэродрома должна моделироваться в пределах от минус 500 до плюс 3000 м относительно уровня моря;

- должна обеспечиваться имитация влияния на эксплуатацию средств РТОП ветра, всех видов осадков, в том числе ливневых дождей и снежных буранов.

Имитация функционирования средств РТОП должна производиться в вычислительном комплексе ТрС ТОиР.

Математические модели средств РТОП должны отражать логику работы имитируемых средств РТОП с учетом режимов работы, условий работы и внешних факторов.

В состав ТрС должны входить сцены, включающие типовые ландшафты местности на которых размещаются средства РТОП: пустыни; горная местность; равнина; морское побережье; тундра и т.д.

Представляется важным требование наличия в ТрС ТОиР имитатора акустической информации. Имитатор акустической информации должен воспроизводить:

- аэродинамические шумы;

- шумы от движения ВС по ВПП, рулежным дорожкам, шумы взлетающих ВС и ВС, совершающих посадку;
- шумы от работы оборудования конкретного средства РТОП;
- шумы от источников питания (дизель-генераторов) средств РТОП.

Проводя анализ технического облика ТрС ТООР можно сделать следующий вывод. Центральной задачей является задача разработки математических моделей (ММ) средств РТОП адекватно отражающих их функционирование, процедуры технического обслуживания, поиска отказов и восстановления.

2.3. Структура математического обеспечения тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП

Эксплуатация средств РТОП по своему содержанию является системой управления техническим состоянием (ТС). В системе управления ТС непосредственным средством управления является средство РТОП, на информационные входы которого подаются искусственно созданные стимулирующие воздействия для имитации функционирования средства в различных режимах. В данном случае информационным элементом служит система контроля и диагностирования средства РТОП, которая оценивает ТС средства.

Ключевую роль в системе управления ТС играет человек (инженер ИТП службы ЭРТОС), который непосредственно делает окончательное заключение о виде ТС и принимает решение о соответствующем воздействии на средство РТОП.

При существующих показателях безотказности и восстанавливаемости средства РТОП, системе контроля и диагностики ТС средства РТОП необходимо

достичь и поддерживать наиболее высокий уровень подготовленности специалиста ИТП служб ЭРТОС к работам по ТО и поиску отказов.

Из анализа процесса эксплуатации средств РТОП, проведенного в п. 1.1, следует, что при выполнении различных видов работ по ТО, ИТП сталкивается с ситуацией, когда оборудование может находиться как в подпространстве работоспособных технических состояний – Ω_1 , так и неработоспособных – Ω_2 . Выполняя тот или иной вид работ, ИТП служб ЭРТОС должен знать и уметь выполнять в установленной последовательности заданный перечень операций ТО, знать и умело обрабатывать установленный набор контролируемых параметров, необходимый при оценке ТС средства РТОП. В случае, если в результате оценки ТС принадлежит к классу неработоспособных, то выполняются восстановительные работы. Процесс восстановления включает в себя поиск места отказа и его непосредственное устранение.

Из опыта эксплуатации средств РТОП известно, что на поиск места отказа затрачивается до 80% всего времени восстановления [38]. Это вызвано рядом причин, которые, в свою очередь, влияют на осведомлённость ИТП о ТС средства РТОП. В зависимости от уровня информированности ИТП устранение одного и того же отказа может быть произведено различными способами, каждому из которых соответствует свои затраты времени.

При определении вида ТС средства РТОП на уровень информированности ИТП существенное влияние оказывают:

- уровень знаний об средстве РТОП (принцип работы и функционирование средства РТОП, конструктивное исполнение средства РТОП, правила ТО и ремонта и т.п.);
- уровень знаний о средствах контроля технического состояния средства РТОП;
- набор контролируемых параметров и имеющийся алфавит отказов, определяемый исходя из требуемой глубины поиска места отказа.

Все перечисленное должно быть учтено при разработке математической модели средства РТОП. Совокупность математических моделей средства РТОП образуют математическое обеспечение тренажерной системы ТОиР средств РТОП.

Структура модели средства РТОП, представленная в виде совокупности математических моделей для модуля теоретической и практической подготовки средств РТОП приведена на рисунке 2.4.

В модуле теоретической подготовки должны быть предусмотрены исчерпывающие сведения о средстве РТОП: структурные, функциональные и принципиальные схемы средства и его составных частей; сведения о конструктивном исполнении средства РТОП, вплоть до элементной базы; регламент и правила технического обслуживания и ремонта средства РТОП; сведения о контрольно-проверочной аппаратуре общего назначения и сервисной. Основным элементом теоретического модуля должна являться модель, отражающая принцип работы средства РТОП и его взаимодействие с другими системами (формат данных).

Модуль практической подготовки модели средства РТОП включает в себя две части. Первая часть обеспечивает практическое обучение ИТП служб ЭРТОС при работе с исправным оборудованием средства РТОП. Элементами этой части являются виды работ по формам ТО, набор и последовательность выполняемых операций, набор контролируемых параметров, вид ТС.

Во вторую часть, при работе с неисправным оборудованием средства РТОП, помимо элементов первой части, дополнительно включаются такие элементы, как алфавит отказов F , математическая модель средства РТОП Ψ , адаптированная к процессу изучения операций поиска отказа, набор контролируемых параметров (КП) B .

При этом необходимо отметить, что при разработке модели, требования, предъявляемые к ней, будут определяться в зависимости от того, какие работы и на каком уровне, а, соответственно, и кем они будут проводиться. Работы по ТО осуществляются ИТП на уровне эксплуатирующего подразделения (база ЭРТОС),

ремонтные работы проводятся на уровне ремонтных подразделений (при текущем ремонте - база ЭРТОС).

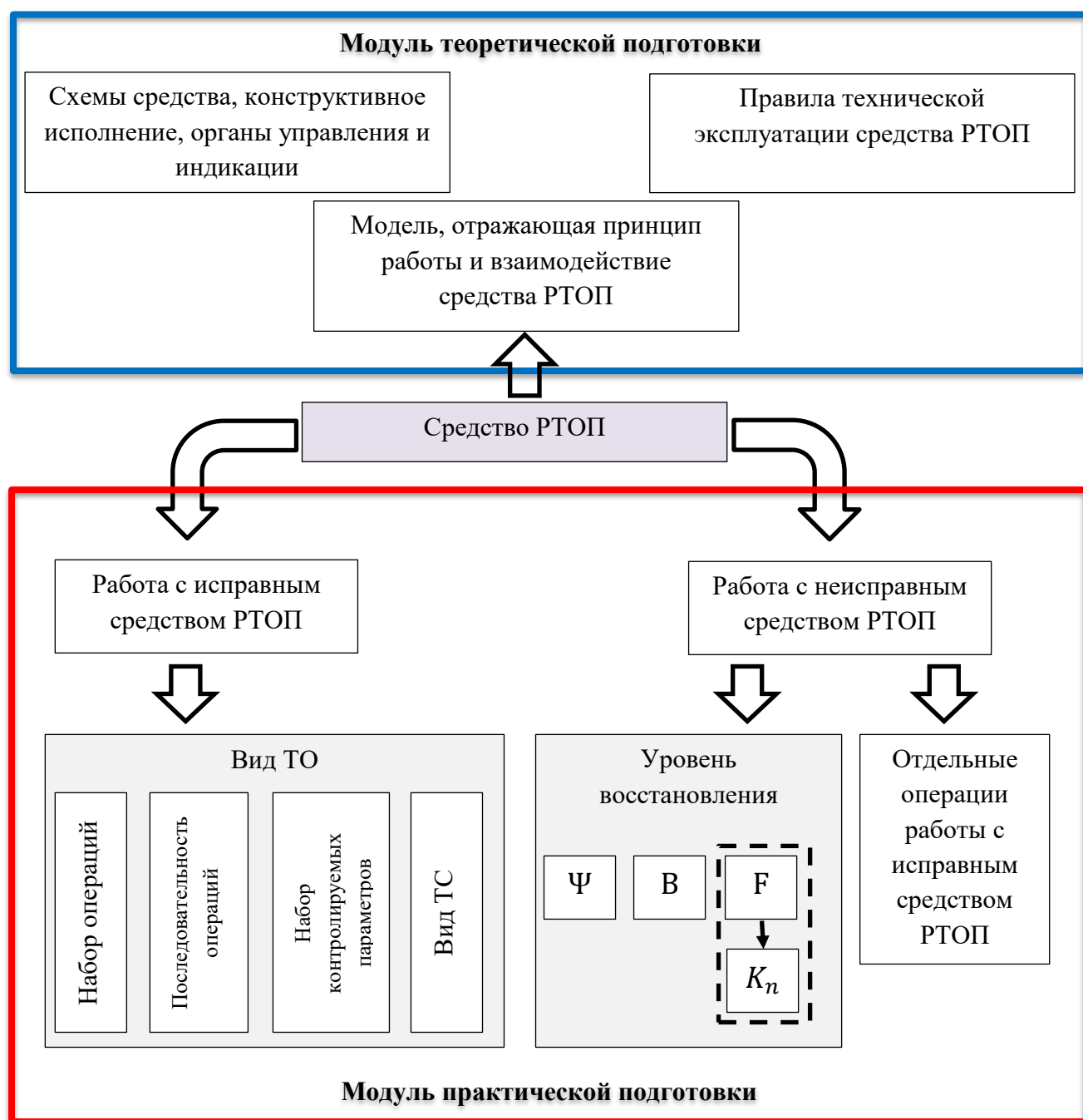


Рисунок 2.4. Структура модели средства РТОП

Структура процесса разработки модели средства РТОП для модуля практической подготовки применительно к восстановлению на уровне эксплуатирующего подразделения (база ЭРТОС) приведенная рисунке 2.5.

Начальным элементом является уровень восстановления, так как он определяет глубину поиска отказов. В эксплуатирующем подразделении (база ЭРТОС) устранение отказов в средствах РТОП заключается в замене отказавшего блока (КСМ) на исправный, поэтому определение алфавита отказов будет осуществляться, исходя из конструктивного разбиения средства РТОП на блоки (КСМ).

При разработке математической модели средства РТОП применительно к модулю практической подготовки ТрС необходимо сформулировать к ней требования, определяемые свойствами функционального элемента и эксплуатационными особенностями восстановления средства РТОП на уровне эксплуатирующего подразделения.

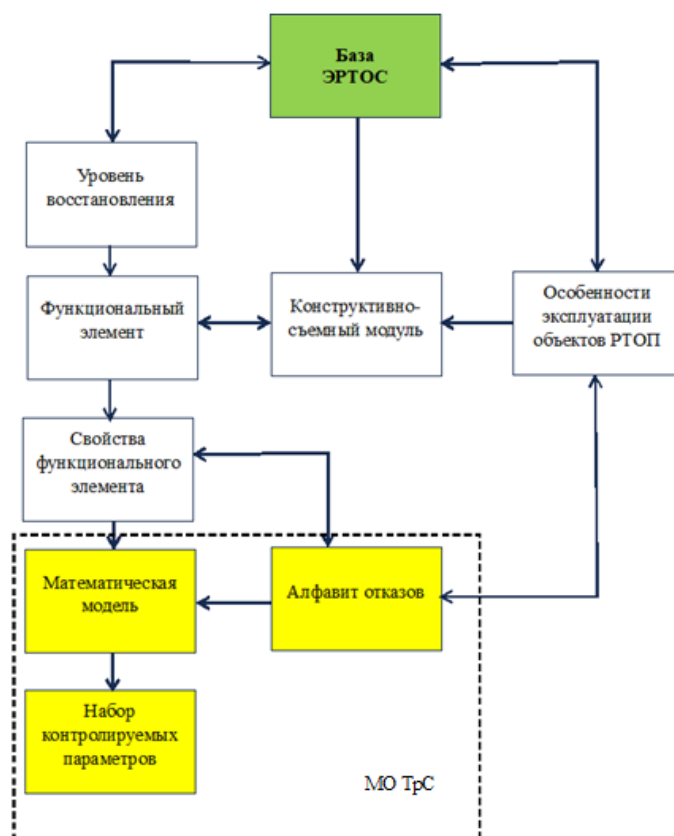


Рисунок 2.5. Общая схема разработки математической модели средства РТОП для модуля практической подготовки

Этими требованиями являются следующие.

Математическая модель должна позволить:

- проведение всех работ по ТО с исправным средством РТОП с привлечением контрольно-проверочной аппаратуры;
- выявление всех неисправностей из заданного алфавита;
- анализировать свойства средства РТОП, проявляющихся в реальных ситуациях, необходимых при их моделировании и имитации отказов и возможных последствий их проявления при функционировании средства;
- анализировать качества функционирования средства РТОП в целом и необходимую подробность анализа ТС на уровне функций;
- учет эксплуатационных особенностей средства РТОП и применения средств контроля, а также характера деятельности ИТП при поиске неисправностей на данном уровне;
- обеспечить высокий уровень информированности ИТП.

Следующим элементом модели является набор контролируемых параметров, который, в свою очередь, определяется технологическими картами проведения работ по ТОиР. При нахождении этого набора также должны учитываться такие особенности эксплуатации средства РТОП, как доступность параметра контролю на уровне эксплуатирующего подразделения, информативность, затрачиваемое на анализ параметра время.

Общим требованием к математической модели является свойство универсальности. Под универсальностью математической модели понимается ее применимость к широкому классу изучаемых средств РТОП. Например, на аэродроме устанавливаются различные средства РТОП (АОРЛ, РЛ ОЛП, СП и др.) решающие различные задачи, обслуживание которых обеспечивается специалистами ИТП служб ЭРТОС.

Выводы по главе 2:

1. Разработана методика формирования технического облика тренажерной системы ТОиР средств РТОП, которая включает в себя три основных этапа. Первый этап связан с анализом тренажерной системы ТОиР уже имеющейся в эксплуатации. Основным на этом этапе является оценка адекватности тренажерной системы и определение путей дальнейшего ее совершенствования. Вторым этапом связан с разработкой вариантов технического облика тренажерной системы. На этом этапе определяется назначение тренажерной системы, решаемые ею задачи, структура тренажерной системы, режимы ее функционирования, технические и методические требования к тренажерной системе, видам ее обеспечения, структуре математического обеспечения и др. Третий этап связан с разработкой методик оценки эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП. Причем, оценка эффективности должна проводиться применительно как к теоретической подготовке, так и к практической подготовке.

2. В соответствии с разработанной структурой формирования технического облика тренажерной системы ТОиР средств РТОП предложен вариант технического облика тренажерной системы ТОиР средств РТОП. Обосновано назначение и решаемые задачи тренажерной системы, ее состав и структура, режимы и технические требования.

Тренажерная система ТОиР средств РТОП должна обеспечивать подготовку обучаемых в двух режимах: теоретическая подготовка; практическая подготовка.

Режим «Теоретическая подготовка» предназначен для формирования у обучаемых необходимых знаний по назначению, решаемым задачам, принципу работы, составу и конструктивным особенностям конкретных средств РТОП и их технической эксплуатации.

Режим «Практическая подготовка» предназначен для формирования у обучаемых умений и первичных навыков по проведению всех форм ТО, поиску

отказов и восстановлению средств РТОП. Режим практической подготовки является основным режимом ТрС ИТП служб ЭРТОС.

3. Одной из узловых задач разработки технического облика тренажерной системы ТОиР является разработка математических моделей средств РТОП. Математическая модель средства РТОП должна учитывать особенности функционирования средства, его конструктивные особенности, давать возможность обучаемому имитировать работу средства РТОП и его взаимодействие с другими системами, давать возможность обучаемому практически осваивать процедуры технического обслуживания и поиска отказов.

4. Технический облик тренажерной системы ТОиР средств РТОП является основой для формирования технического задания для разработки тренажерной системы и ее производства.

3. Математические модели средств радиотехнического обеспечения полетов

Задачу разработки математической модели средства РТОП удобнее рассматривать применительно к конкретному средству. При выборе средства РТОП необходимо учитывать такие свойства, как степень влияния на безопасность полетов ВС, уровень надежности средства, качество оценки его ТС и др. Анализ безопасности полетов при АНО в ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» за 2015-2017 гг. показал, что наибольшее число инцидентов приходится на АОРЛ и СП, причем надежное функционирование данных средств РТОП существенно влияет на уровень безопасности полетов ВС ГА. Исходя из сказанного, разработку математических моделей средства РТОП для модуля теоретической и практической подготовки будем рассматривать применительно к аэродромному обзорному радиолокатору, в частности, к АОРЛ-85 «Экран». Следует отметить, что АОРЛ-85 является по сути аэродромным радиолокационным комплексом и включает в себя как первичный обзорный радиолокатор (ПОРЛ), так и вторичный радиолокатор (ВРЛ).

Аэродромный обзорный радиолокатор АОРЛ-85 «Экран» [70] предназначен для работы в качестве источника радиолокационной информации для систем управления воздушным движением аэродромов и районных центров системы управления воздушным движением. АОРЛ-85 предназначен для установки в аэропортах со средней интенсивностью полетов, в том числе имеющих автоматизированные системы управления воздушным движением (АС УВД). Размещение АОРЛ-85 на аэродроме иллюстрируется на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1. АОРЛ-85 «Экран» на аэродроме (Тюменский центр ОрВД)

Оборудование АОРЛ-85 размещается в контейнерах аппаратной и агрегатной. Управление АОРЛ-85 может быть местным или дистанционным. Режим работы АОРЛ-85 - непрерывный, круглосуточный, без постоянного присутствия обслуживающего персонала (ИТП служб ЭРТОС).

Разработку моделей средства РТОП будем рассматривать на примере ПОРЛ.

3.1. Математическая модель средства РТОП для модуля теоретической подготовки

Математическое обеспечение модуля теоретической подготовки, как это показано на рисунке 2.4. должно включать математические модели средств РТОП, отражающие принцип их работы и взаимосвязи средства с другими системами. В частности, модель средств РТОП должна позволять:

- имитировать выходные сигналы средств РТОП, требуемые для изучения работы средства, функционирования его составных частей;

- имитировать координатную информацию, результаты первичной, вторичной и третичной обработки информации в целях моделирования воздушной обстановки.

Важной задачей в процессе имитации функционирования средства РТОП является моделирование ошибок измерений, помеховой обстановки, ложных целей (для радиолокационных систем наблюдения).

Математическая модель каждого средства РТОП в целом уникальна. При формировании математической модели средства РТОП следует исходить прежде всего из его назначения и некоторого результирующего эффекта модели.

Для изучения состава и функционирования средства РТОП можно осуществлять моделирование отдельных блоков и узлов и тем самым создавать модель пригодную для теоретического изучения. Такие подходы к разработке модели средства РТОП достаточно хорошо изучены и находят широкое применение [17,99]. К тому же они наиболее пригодны для изучения работы средства РТОП и его составных частей как технического средства, без учета воздушной обстановки, условий внешней среды и т.д.

Важным представляется разработка модели, которая бы увязывала в себе как технические характеристики средства РТОП, связанные с особенностями конструктивного исполнения, применяемой элементной базой, т.д., так и его тактические характеристики. Математическая модель средства РТОП должна дать обучаемому возможность не только изучить принцип работы, тактико-технические характеристики и т.п., но и дать возможность имитировать работу средства РТОП в конкретных условиях, в частности, имитировать воздушную обстановку, внешние условия, погрешности измерения при изменении внешних условий.

Рассмотрим в качестве примера подход к формированию математической модели первичного обзорного радиолокатора (аэродромного или трассового). Обобщенная схема модели ПОРЛ приведена на рисунке 3.2.

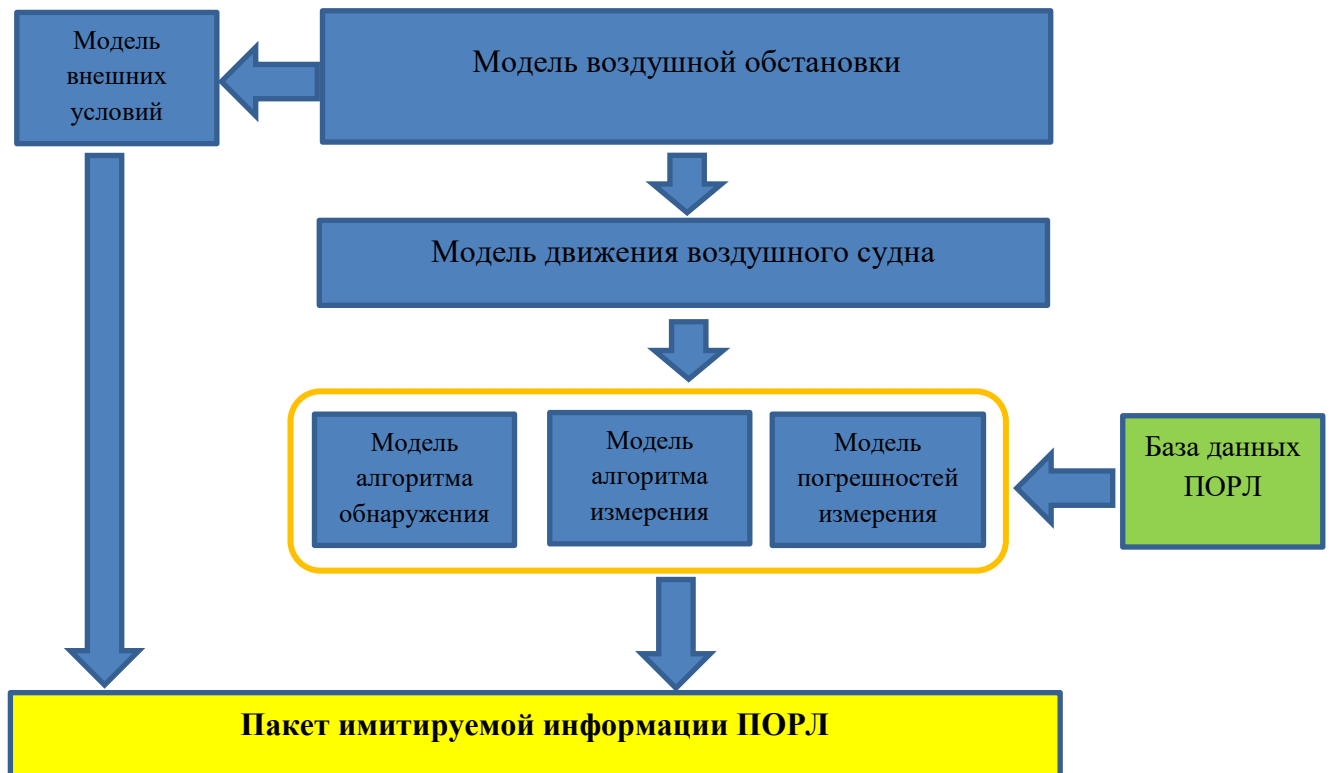


Рисунок 3.2. Обобщенная структурная схема модели ПОРЛ

Основной задачей первичного обзорного радиолокатора (ПОРЛ) является обнаружение воздушных целей и измерение их координат. Для имитации работы ПОРЛ, т.е. имитации обнаружения воздушных целей (воздушных судов) может быть использован подход, основанный на нормированной дальности. Суть данного подхода заключается в следующем.

Дальность действия ПОРЛ можно рассчитать по формуле [82]:

$$D = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} G^2 \lambda^2 S}{(4\pi)^3 m P_0}}, \quad (3.1)$$

где: $P_{\text{и}}$ - мощность излучения, Вт; P_0 - чувствительность приемника, Вт; G - коэффициент усиления антенны; λ - длина волны; S - эффективная отражающая поверхность; m - коэффициент, учитывающий превышение сигнала над шумами, при $m = 1$, $D = D_{\text{max}}$.

Вводя понятие нормированной дальности $\frac{D}{D_{\text{max}}}$ можно записать

$$\alpha = \frac{D}{D_{\max}} = \sqrt[4]{m}. \quad (3.2)$$

Таким образом, коэффициент m учитывает уменьшение дальности и связан с нормированной дальностью выражением (3.2). Зависимость вероятности правильного обнаружения от нормированной дальности приведена на рисунке 3.3. [82].

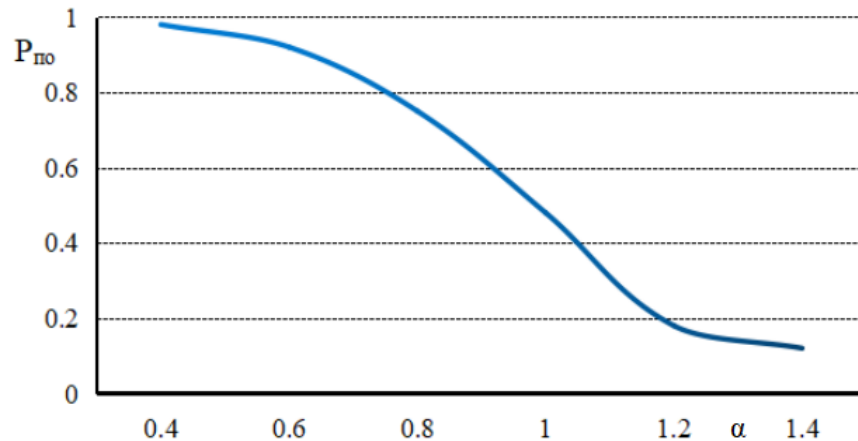


Рисунок 3.3. Зависимость вероятности правильного обнаружения от нормированной дальности

При моделировании воздушной обстановки используется полярная система координат с центром в месте размещения ПОРЛ. При этом в случае, если рассматривается аэродромный ПОРЛ, то дальность до цели измеряемая радиолокатором может быть определена выражением

$$D = \sqrt{D_r^2 + H^2}, \quad (3.3)$$

где D_r^2 - горизонтальная дальность до цели; H - высота полета цели.

Для трассового ПОРЛ требуется учитывать сферичность земной поверхности, в этом случае необходимо пользоваться выражением

$$D = \sqrt{R_3^2 + (R_3 + H)^2 - 2R_3(R_3 + H)\cos\frac{D_r}{R_3}}, \quad (3.4)$$

где R_3 - радиус Земли.

В [82] показано, что ошибка вычисления дальности δ_D , при использовании формул (3.3) и (3.4) в диапазоне дальностей до 150 км в среднем составляет 50 м, а на дальностях до 500 км может превышать 700 м. Это как раз и свидетельствует о том, что при моделировании трассового ПОРЛ следует пользоваться выражением (3.4).

Из сказанного выше можно разработать алгоритм, позволяющий имитировать функционирование ПОРЛ. Схема алгоритма приведена на рисунке 3.4.

Суть работы модели алгоритма обнаружения сводится к следующему. По графику зависимости на рисунке 3.3. при заданном значении α_i (i - конкретная цель) и принятой зоны обзора ПОРЛ определяется P_{poi} . Далее генерируется случайное число $\varepsilon_i \in [0,1]$ и проверяется условие $\varepsilon_i \leq P_{poi}$. Если условие выполняется, то цель считается обнаруженной и производится измерение дальности и азимута цели. Если условие не выполняется, то цель не обнаружена.

Обнаружение цели всегда производится с ошибками. В тренажерных системах ошибки обнаружения принимаются нормально распределенными с нулевым математическим ожиданием и заданной дисперсией:

$$\xi \in N(0, \sigma_D^2), \zeta \in N(0, \sigma_A^2).$$

Оценки значения дальности и азимута цели в модели алгоритма обнаружения формируются в соответствии с выражением, представляющим собой сумму заданных значений и ошибок обнаружения:

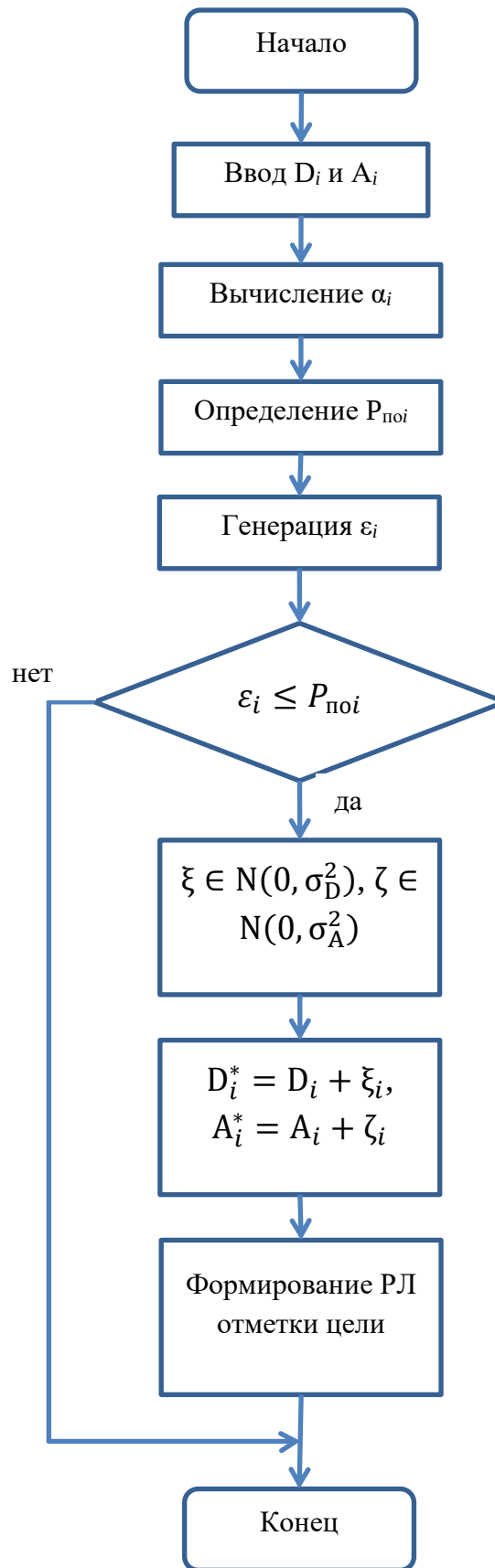


Рисунок 3.4. Модель алгоритма обнаружения целей в ПОРЛ

$$D_i^* = D_i + \xi_i, \quad (3.5)$$

$$A_i^* = A_i + \zeta_i. \quad (3.6)$$

Модель алгоритма измерения координат цели (дальности и азимута) достаточно проста и представляет собой выражение

$$D_{ik}^* = D_{ik-1}^* + \eta_{ik}, \quad (3.7)$$

$$A_{ik}^* = A_{ik-1}^* + \mu_{ik}, \quad (3.8)$$

где: D_{ik}^* - дальность цели, измеренная на k -том цикле обзора; A_{ik}^* - азимут цели, измеренный на k -том цикле обзора; η_{ik} , μ_{ik} - ошибки измерений дальности и азимута, соответственно.

Очевидно, что модель алгоритма измерений координат цели тесно связана с моделью погрешностей измерения. Погрешность измерений определяется характеристиками ПОРЛ, характеристиками целей (эффективной площадью рассеяния) и условиями окружающей среды. Погрешность зависит от отношения сигнал/шум $R = \frac{E_c}{N_0}$, представляющему отношение энергии сигнала E_c к спектральной плотности шума N_0 . В ПОРЛ отношение сигнал/шум R больше 1.

Дисперсия погрешности измерения координат (математическое ожидание равно нулю) определяется выражением:

$$\delta^2(D, A) = -\frac{1}{RK_0''(0)} \quad (3.9)$$

где: $K_0''(0)$ - вторая производная автокорреляционной функции огибающей выходного сигнала, взятая в точке максимума (в нуле).

Используя выражение (3.9) можно определить дисперсии погрешностей измерений дальности и азимута для конкретного типа ПОРЛ. К примеру, если огибающая импульса имеет прямоугольную форму, то автокорреляционная функция имеет вид:

$$K_0(\tau) = \frac{U_m^2 \tau_n}{2E_c} \left(1 - \frac{\tau}{\tau_n}\right),$$

где: τ_n - длительность импульса; U_m - амплитуда сигнала; τ - временной сдвиг между сигналами.

С учетом (3.9) выражения для среднеквадратического отклонения (СКО) погрешности измерения могут быть записаны как:

$$\delta_D = \frac{c\tau_n}{\sqrt{2R}},$$

$$\delta_A = \frac{\theta}{\sqrt{\pi R}} = \frac{\lambda}{a \Sigma R},$$

где: λ - длина волны ПОРЛ; a - размеры антенны в горизонтальной плоскости.

В моделях ПОРЛ необходимо учитывать, что измерение координат цели производится суммарным воздействием группы импульсов ПОРЛ. Если дисперсию погрешности измерения дальности или азимута обозначить как δ^2 , то дисперсия суммы L импульсов будет определяться как $\delta_L^2 = \frac{\delta^2}{L}$. На основании этого для СКО погрешностей измерения дальности и азимута получим:

$$\delta_D = \frac{c\tau_n}{\Sigma 2R} \sqrt{\frac{\omega_a}{\theta F_n}},$$

$$\delta_A = \frac{\lambda}{a\sqrt{R}} \sqrt{\frac{\omega_a}{\theta F_n}},$$

где: F_n - частота повторения зондирующих импульсов ПОРЛ; ω_a - ; θ - ширина диаграммы направленности ПОРЛ.

Моделирование погрешностей измерения координат цели требует вычисления на каждом такте значения R для моделируемой точки пространства. Для определения значения R , которое зависит от технических характеристик ПОРЛ, метеоусловий, помеховой обстановки и т.п. необходимо воспользоваться

основным уравнение радиолокации [82]. Запишем основное уравнение радиолокации в виде:

$$D = \sqrt[4]{\frac{P_{\Pi} K_{a\Phi}^2 G^2 \lambda^2 S}{(4\pi)^3 R K_6 K_{\Pi} T \Delta f}} \exp(-0,11k_3 D) V(D, h_1, h_2), \quad (3.10)$$

где: P_{Π} - мощность передатчика ПОРЛ; $K_{a\Phi}$ - коэффициент полезного действия антенно-волноводного тракта ПОРЛ; G - коэффициент усиления антенны ПОРЛ; S - эффективная площадь рассеяния; K_6 - постоянная Больцмана; K_{Π} - коэффициент шума приемника ПОРЛ; T - температура приемника; Δf - полоса пропускания приемника ПОРЛ; k_3 - коэффициент затухания радиоволн в среде распространения; $V(D, h_1, h_2)$ - функция ослабления сигнала.

Используя (3.10) получаем выражение

$$R = \frac{1}{D^4} \Lambda_{\text{ПОРЛ}} (\exp(-0,11k_3 D) V(D, h_1, h_2))^4. \quad (3.11)$$

В (3.11) $\Lambda_{\text{ПОРЛ}}$ представляет собой обобщенный показатель технических характеристик ПОРЛ, который определяется для всех типов существующих ПОРЛ на этапе разработки математического обеспечения модуля теоретической подготовки

$$\Lambda_{\text{ПОРЛ}} = \frac{P_{\Pi} K_{a\Phi}^2 G^2 \lambda^2 S}{(4\pi)^3 R K_6 K_{\Pi} T \Delta f}. \quad (3.12)$$

Функция ослабления $V(D, h_1, h_2)$ в (3.11) дает возможность моделировать различные условия распространения радиоволн на трассе, тем самым позволяя изучать влияние внешних факторов на процессы обнаружения и измерения координат цели.

Кроме этого, в рассмотренных моделях могут быть использованы различные подходы, учитывающие потери в антенных, приемно-передающих трактах ПОРЛ,

потери при обработке радиолокационного сигнала, а также эксплуатационные потери.

Функционирование модели ПОРЛ, как это показано на рисунке 3.2. завершается формированием выходных информационных пакетов, поступающих на индикаторы ТрС. Формат данных информационного пакета должен соответствовать формату данных реальной РЛС.

3.2. Математическая модель средства РТОП для модуля практической подготовки

Процесс ТО и поиска отказов можно охарактеризовать некоторым вектором показателей качества выполнения работ, который можно определить, как

$$R = R(Y, Z(I)), \quad (3.13)$$

где Y – вектор характеристик средства РТОП, $Z(I)$ – вектор характеристик выполнения работ по ТО.

Под вектором $Z(I)$ будем понимать заданное время выполнения работ по ТО, время восстановления и т.д., а также качество выполнения указанных работ. В свою очередь вектор $Z(I)$ зависит от такого фактора, как уровень профессиональной подготовленности ИТП ЭРТОС, обозначим его через I .

Уровень профессиональной подготовленности ИТП ЭРТОС зависит от информированности J его в профессиональной области деятельности, а также от оператора преобразования этой информированности в навыки h . Под информированностью ИТП будем понимать всю совокупность сведений об средстве РТОП, необходимых при его ТО и ремонте. Под оператором h будем

понимать все средства, которые используются для преобразования информированности J в навыки, необходимые для быстрого и качественного выполнения работ (технические средства обучения, тренажер и т.д.). Тогда уровень профессиональной подготовленности ИТП ЭРТОС будет определяться выражением:

$$I = I(h, J). \quad (3.14)$$

Средство РТОП, является сложной технической системой [1,18,19,20], и обладает рядом отличительных особенностей при представлении его в качестве средства контроля ТС и выполнения работ по ТО и ремонту. Для обеспечения анализа качества функционирования средства РТОП целесообразно использовать математическую модель средства Ψ , которая позволяет анализировать ТС, обеспечивать определённую глубину поиска отказа. Вывод о том, что ТС средства РТОП принадлежит классу неработоспособных, принимается в том случае, если один или несколько контролируемых параметров B не принадлежит области допустимых значений. Тогда, принятая математическая модель средства РТОП и используемый набор контролируемых параметров B оказывает существенное влияние на уровень информированности ИТП

$$J = J(\Psi, B), \quad (3.15)$$

причём набор контролируемых параметров B принадлежит вектору характеристик средства РТОП Y , при заданном алфавите отказов F :

$$B = \{B \subset Y | F\}.$$

Под алфавитом отказов понимается перечень отказов, возникающих в средстве РТОП, которые необходимо распознать при восстановлении на заданном уровне.

Область Ω всех возможных ТС средства РТОП подразделяется на две подобласти:

$$\Omega_1 = \bigcup_{n=1}^N K_n \in \Omega, \quad (3.16)$$

$$\Omega_2 = \bigcup_{n=N+1}^M K_n \in \Omega. \quad (3.17)$$

где: K_n - класс технических состояний;

Ω_1 – подобласть ТС, при нахождении в которой средство РТОП считается работоспособным;

Ω_2 – подобласть ТС, при нахождении в которой средство РТОП считается неработоспособным, причем:

$$\Omega_1 \cup \Omega_2 = \Omega, \Omega_1 \cap \Omega_2 = \emptyset. \quad (3.18)$$

При выполнении работа по ТО и поиске отказов в средстве РТОП важнейшей характеристикой является качество оценки S текущего ТС. На качество оценки ТС влияет принятая математическая модель средства РТОП Ψ , используемый набор контролируемых параметров B , определённый для данного уровня восстановления алфавит отказов F и уровень профессиональной подготовленности ИТП I :

$$S = f(\Psi, B, F, I). \quad (3.19)$$

Входящий в (3.14) оператор h в данном случае представляет собой тренажерную систему ТОиР, именно он осуществляет преобразование информированности J в навыки, необходимые для быстрого и качественного выполнения работ по ТО и поиску отказов.

В этом случае можно формализовать постановку задачи разработки математической модели средства РТОП для модуля практической подготовки. Требуется определить такую математическую модель Ψ^* , при заданном операторе

h , при заданном наборе контролируемых параметров B и алфавите отказов F , при которых качество оценки технического состояния S^* будет выше той оценки, которая имеется при существующих Ψ , B , F и операторе h :

$$S^*(\Psi^*|h^*, B, F) > S(\Psi|h, B, F). \quad (3.20)$$

Разработку математической модели средства РТОП для модуля практической подготовки будем рассматривать применительно к ПОРЛ. Следует отметить, что к установке, настройке, эксплуатации и ТО АОРЛ-85 допускается ИТП, прошедший специальную подготовку, изучивший принцип работы АОРЛ-85, конструктивное построение и функционирование АОРЛ-85, правила технической эксплуатации, освоил весь объем ТО и правила ремонта АОРЛ-85. Кроме этого, настройку, эксплуатацию и ТО АОРЛ-85 должен производить ИТП, подготовленный к эксплуатации дизель-генераторов и электроустановок, имеющий квалификационную группу не ниже третьей и удостоверение с отметкой об очередной проверке знаний по технике безопасности.

Система встроенного контроля АОРЛ-85 в автоматическом режиме обеспечивает оценку состояния аппаратуры и выходных характеристик, а в режиме ручного управления - измерение параметров, определение вида ТС и поиск места отказа аппаратуры АОРЛ до блока (КСМ).

АОРЛ-85 является достаточно сложной технической системой, включающей в себя основные подсистемы [70]:

- антенно-фидерную систему;
- передающий канал первичного радиолокатора (ПрКПР);
- приемный канал первичного радиолокатора (ПКПР);
- канал вторичного радиолокатора (ВК);
- аппаратуру первичной обработки информации (АПОИ);
- канал видео,

а также другие узлы и подсистемы, обеспечивающие функционирование радиолокатора АОРЛ-85.

Каждый из рассмотренных каналов и подсистем является необходимым и определяет качество решения АОРЛ-85 задач по назначению, а, следовательно, напрямую влияет на безопасность полетов.

Рассмотрим процедуру формирования математической модели для модуля практической подготовки на примере приемного канала первичного радиолокатора (ПКПР).

Структурная схема первичного канала приведена на рисунке 3.5. Каждое устройство или схема, по сути, представляют собой функционально-конструктивные модули (ФКМ), за исключением плат ТЖ2.070.017 и Ел.031.0.31, выполненных в виде отдельных съемных узлов. На рисунке 3.5. цифрами обозначены рабочие сигналы, описание которых дано в таблице 3.1. Анализ структурной схемы АОРЛ-85 (рис.3.5.) позволяет говорить о том, основные элементы ПКПР, обеспечивающие решение АОРЛ-85 задач по предназначению, имеют резерв (т.е. имеется второй комплект), поэтому разработку ММ для модуля практической подготовки можно осуществить применительно к одному комплекту ПКПР.

Так как управление ТС средства РТОП на уровне эксплуатирующего подразделения путем управления техническими параметрами, которые характеризуют его работоспособность, не представляется возможным, то управление ТС осуществляется путем замены отказавшего элемента (блока, КСМ) на работоспособный. Это обстоятельство является основополагающим при разработке математической модели.

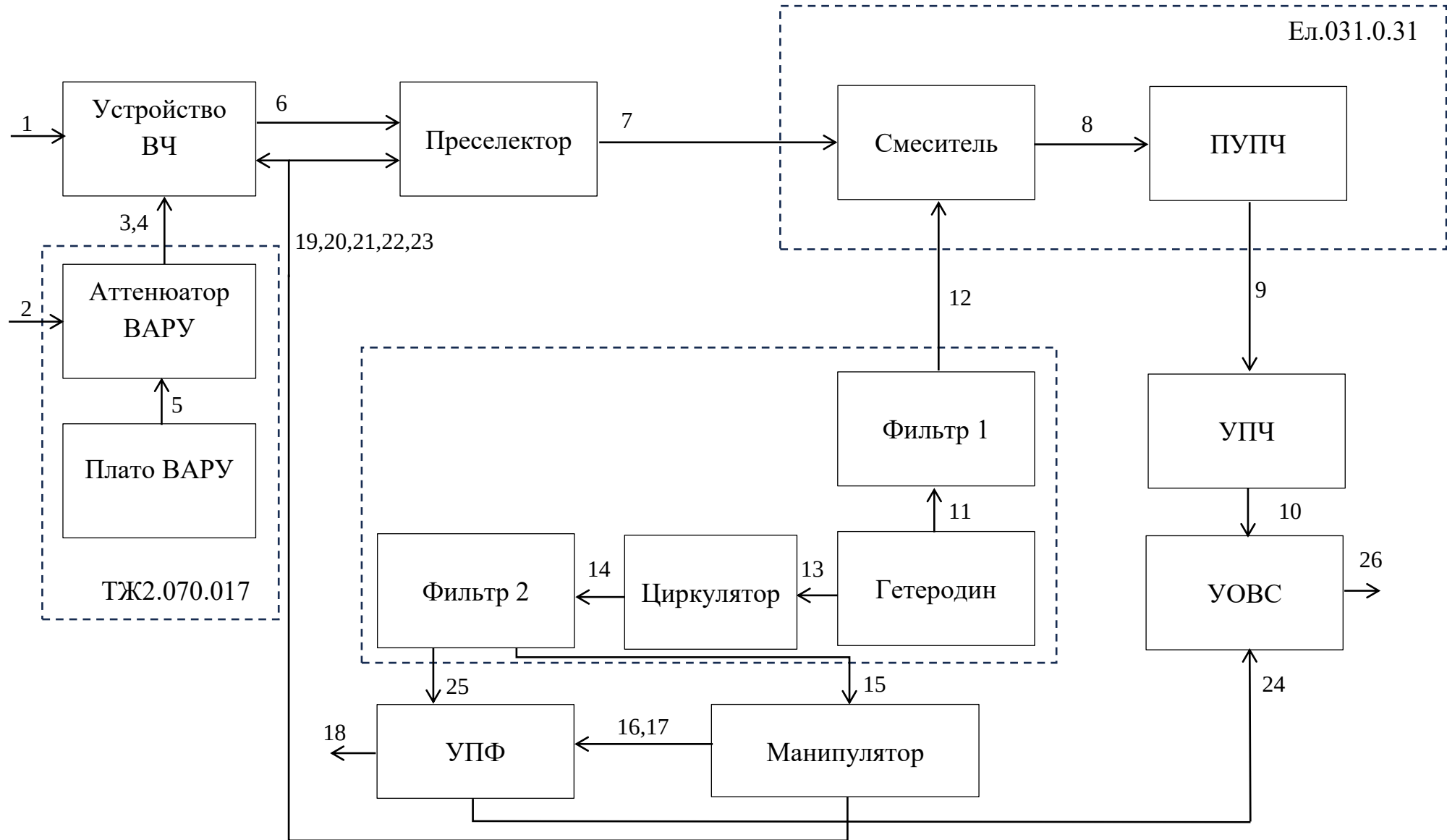


Рисунок 3.5. Структурная схема приемного канала первичного радиолокатора АОРЛ-85

Таблица 3.1. Описание сигналов

№	Описание сигнала
1.	Вход НУ
2.	Вход ВУ
3.	Выход ВУ
4.	Напряжение ВАРУ
5.	Выход ВАРУ
6.	Выход НУ-ВУ
7.	Сигнал на выходе преселектора
8.	Вход ПУПЧ
9.	Вход УПЧ
10.	Выход ПЧ СДЦ
11.	Сигнал гетеродина для смесителя ПУПЧ
12.	Выход ПУ гетеродина
13.	Сигнал гетеродина для УПФ
14.	Сигнал гетеродина на выходе циркулятора
15.	Сигнал запуска импульсов 25
16.	Импульсы «Запуск 25»
17.	Импульсы «Запуск 0,5»
18.	Выход ЛЧМ с УПФ
19.	Сигналы «Вход ВУ-НУ»
20.	Канал 1
21.	Канал 2
22.	Канал 3
23.	Канал 4
24.	Выход КГ СДЦ
25.	Выходные сигналы для индикации
26.	Напряжение +27В
27.	Напряжение -27В
28.	Напряжение +12,6 В
29.	Напряжение -12,6 В

Рассмотренные данные с учётом конструктивного построения ПКПР позволяют определить алфавит отказов. Алфавит отказов для уровня эксплуатирующего подразделения (база ЭРТОС) будет включать:

- отказ устройства ВЧ;
- отказ аттенюатора ВАРУ платы ТЖ2.070.017;
- отказ плато ВАРУ платы ТЖ2.070.017;
- отказ преселектора;

- отказ смесителя платы Ел.031.0.31;
- отказ ПУПЧ платы Ел.031.0.31;
- отказ фильтра 1 гетеродина;
- отказ фильтра 2 гетеродина;
- отказ циркулятора;
- отказ гетеродина;
- отказ УПФ;
- отказ манипулятора;
- отказ УПЧ;
- отказ УОВС.

Математическая модель средства РТОП должна представлять собой формализованное описание средства, как средства эксплуатации, отображать структуру средства РТОП, адекватно представлять процесс контроля технического состояния и процедур технического обслуживания, процесс смены технических состояний (ТС) и обеспечивать возможность определения ТС с требуемой глубиной.

Средство РТОП, как средство эксплуатации, обладает определённой конструктивной сложностью, многоуровневой иерархической структурой, функциональной сложностью, совокупностью аналоговых и цифровых радиоэлектронных модулей. Вопрос выбора математической модели, способной адекватно представить средство РТОП как средство технического обслуживания и ремонта является центральным при разработке математического обеспечения (МО) модуля практической подготовки ТрС ТОиР.

В целом, математические модели могут быть классифицированы по ряду признаков. Достаточно исчерпывающее описание различных математических моделей дано, например, в [17,38,106].

Применительно к задаче разработки математической модели для модуля «Практическая подготовка» математическую модель средства (ММ) РТОП целесообразно представить в виде ориентированного графа. Используя теорию графов при построении ММ средства РТОП, можно весьма наглядно представить

процесс функционирования средства РТОП, взаимосвязи между его элементами и устройствами. При этом теория графов дает возможность построения граф-модели средства РТОП, либо на множестве свойств функционирования, либо на множестве его параметров, либо на множестве его функциональных элементов.

Понятие ориентированного графа, методики построения математических моделей средств РТОП подробно описаны в [67]. Применительно к рассматриваемому средству РТОП методика построения его математической модели для реализации в ТрС ТОиР включает следующие этапы:

1) выбор множества свойств, существенных для функционирования средства РТОП и выделение причинно-следственных связей между свойствами средства РТОП. Построение граф-модели средства РТОП;

2) дополнение и уточнение первоначальной граф-модели средства РТОП отображениями отказов из сформированного алфавита отказов.

Кратко рассмотрим поэтапно реализацию этой методики применительно к ПКПР АОРЛ-85.

1. Первым этапом построения модели является выбор множества свойств, существенных для функционирования ПКПР в исследуемом режиме и представляемых на модели множеством вершин X графа G .

Основой для выбора множества X служат физические связи между функциональными элементами ПКПР, задействованными в нормальном режиме функционирования. Функциональная схема ПКПР для нормального режима функционирования приведена на рисунке 3.5. Внешние устройства на рисунке 3.5., а именно, источники питания на схеме не показаны. Сигналы взаимодействия между элементами схемы ПКПР приведены в таблице 3.1.

Для построения граф-модели ПКПР был использован алгоритм блочных функциональных схем [67].

Первым шагом алгоритма является формирование первоначальной блочной схемы ПКПР. Здесь отображаются все блоки из состава ПК и соответствующие им входные и выходные сигналы.

На втором шаге первоначальная блочная схема ПКПР преобразуется путем «расщепления» входов и выходов блоков. Правило «расщепления» блоков и выходов приведено в таблице 3.2.

Третий шаг алгоритма связан с обращением блочной функциональной схемы в граф-модель ПКПР (см. табл.3.2.) и выделением причинно-следственных связей между элементами ПКПР.

В результате получаем математическую модель ПКПР в виде граф-модели (рис.3.6.). Эта модель представлена в пространстве параметров и справедлива для нормального функционирования средства.

В результате реализации первого этапа получаем новое качество описания средства РТОП. Математическая модель средства РТОП в виде граф-модели, в которой вершины графа представляют собой функциональные элементы (ФЭ), а ребра - связи между ними, оказывается весьма удобной для изучения связей между ФЭ в условиях как нормального функционирования средства РТОП, так и при возникновении отказов. Для этого требуется перейти к следующему этапу.

Вторым этапом построения модели является дополнение и уточнение первоначальной математической модели ПКПР (рис.3.6.) и переход к более детализированным свойствам в целях обеспечения решения задачи поиска отказов в средстве РТОП. Поиск отказа в средстве РТОП представляет собой важнейшую часть процедуры ремонта.

Таблица 3.2. Правило расщепления блоков и обращения в граф-модель

1	Исходная блочная функциональная схема средства РТОП	
2	Расщепление выходов каждого блока в соответствии с выделенными функциональными параметрами	
3	Расщепление блоков в соответствии с выделенными функциональными параметрами	
4	Обращение блочной функциональной схемы в граф-модель	

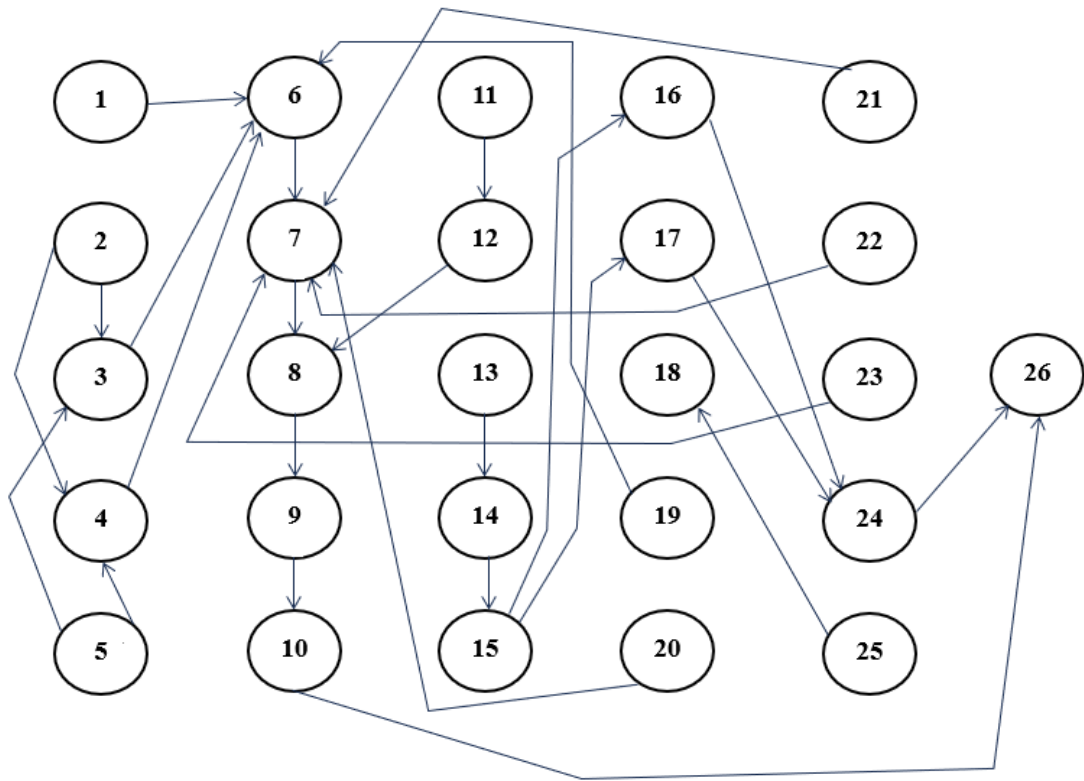


Рисунок 3.6. Математическая модель ПКПР в пространстве параметров
(нормальное функционирование)

Будем полагать что, отказ - такое состояние ПКПР при котором нарушается нормальный режим его работы. На данном этапе граф-модель ПКПР в пространстве параметров должна быть дополнена отображениями отказов. Это удобно сделать путем введения в граф-модель дополнительных вершин-отказов D_i , связанных ребрами с теми вершинами, нарушению параметров в которых они соответствуют. Из сказанного следует, что для «ввода» отказов в модель необходимо составить их алфавит $\{D_i\}$ и отметить возможное наличие отказа относительно соответствующей вершины x_j , как одного из возможных значений параметра в ней.

Списком отказов является алфавит, составленный исходя из конструктивного построения ПКПР и требуемой глубины поиска отказов на уровне эксплуатирующего подразделения (база ЭРТОС). Алфавит отказов повышает информированность ИТП о ТС средства.

Алфавит отказов $D = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$, подлежащих распознаванию, представлен в таблице 3.3. Математическая модель функционирования ПКПР в аномальном режиме, т.е. при наличии отказов приведена на рисунке 3.7.

Таблица 3.3. Алфавит отказов ПКПР

D0	отказ устройства ВЧ
D1	отказ платы ТЖ2.070.017 (плата ВАРУ)
D2	отказ преселектора
D3	отказ платы Ел.031.0.31 (плата ПУПЧ)
D4	отказ фильтра 1 гетеродина
D5	отказ фильтра 2 гетеродина
D6	отказ циркулятора
D7	отказ гетеродина
D8	отказ УПФ
D9	отказ манипулятора
D10	отказ УПЧ
D11	отказ УОВС

Особенностью этой модели является то, что здесь из рассмотрения не исключаются вершины, параметры в которых являются входными, так как они являются также необходимыми при моделировании свойств средства РТОП, проявляющиеся в реальных ситуациях, то есть они используются при имитации отказов и возможных последствий их проявления при функционировании системы. На рисунке 3.7. указанные вершины обозначены двойным кружком.

Таким образом, полученная математическая модель ПКПР АОРЛ-85 отвечает всем предъявленным к ней требованиям. Представленная в пространстве параметров, она отображает все доступные обучаемому сведения об средстве РТОП и представляет собой формализованное описание средства, служащее основой для изучения процедур ТОиР.

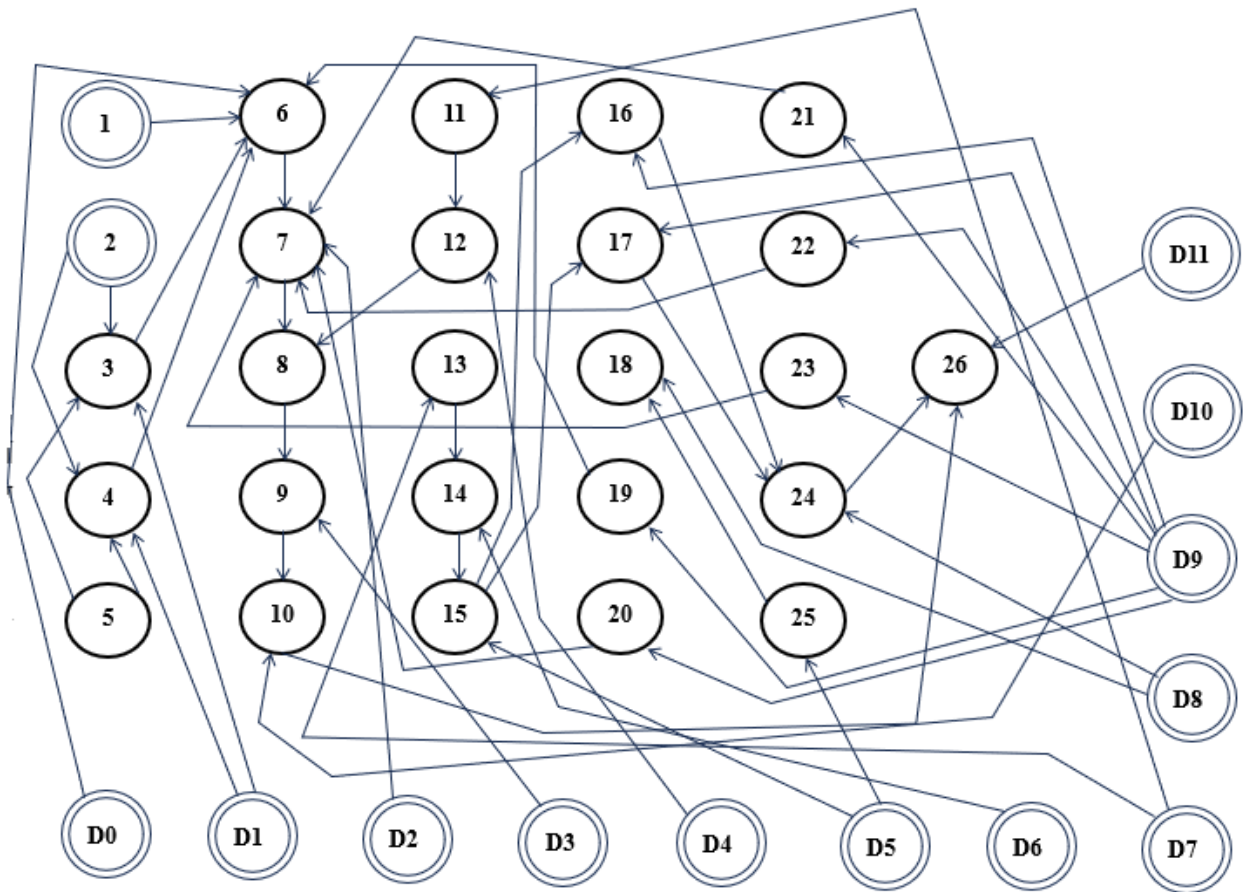


Рисунок 3.7. Математическая модель ПКПР АОРЛ-85 в пространстве параметров (аномальное функционирование)

Для обучения ИТП на ТрС в режиме «Практическая подготовка» должен быть использован тот набор контролируемых параметров, который определяется в технической документации на средство РТОП. В этом случае для определения набора контролируемых параметров решать задачу поиска оптимального набора параметров (т.е. задачу минимизации контролируемых параметров) не имеет смысла.

Вместе с тем, при разработке МО ТрС следует учитывать, что она может быть использована не только для формирования заданного уровня навыка ИТП, но и для более широкого развития профессиональных компетенций ИТП. В связи с этим могут быть определены минимально необходимые наборы контролируемых параметров для решения задачи поиска отказов в средствах РТОП с достоверностью не хуже заданной.

Рассмотрим задачу определения минимально необходимого набора контролируемых параметров. Для нахождения минимального набора параметров применим эвристический алгоритм, основанный на анализе матрицы смежности C [69]. Рассмотрим указанную методику применительно к ПКПР АОРЛ-85.

Исходными данными для расчета минимального набора параметров служит матрица смежности C . В таблице 3.4. приведена матрица смежности для рассматриваемой граф-модели ПКПР.

Анализ граф модели и матрицы смежности позволяет судить о наличии трех типов вершин:

- ключевые вершины, которые имеют столбец, состоящий только из нулевых элементов, и строку, содержащую хотя бы один ненулевой элемент;
- смешанные вершины, у которых как в столбце, так и в строке имеется хотя бы один ненулевой элемент;
- тупиковые вершины, которые имеют строку, состоящую только из нулевых элементов, и столбец, содержащий хотя бы один ненулевой элемент.

Алгоритм представляет собой последовательность следующих этапов.

Таблица 3.4. Матрица смежности С

[illegible]

Этап 1. Для каждой вершины ММ проводится расчет суммы:

$$S_k = S_k^{стб} - S_k^{стр}, \quad (3.21)$$

где $S_k^{стб}$ - алгебраическая сумма всех элементов k -го столбца; $S_k^{стр}$ - алгебраическая сумма всех элементов k -й строки.

В таблице 3.5. представлены результаты расчета суммы (3.21).

Этап 2. Упорядочиваются тупиковые, смешанные и ключевые вершины граф-модели. Результаты заносятся в таблице 3.6.

Вершины следует упорядочить по мере убывания суммы S_k . Далее производится нумерация вершин.

Этап 3. Нумерация вершин. Тупиковые вершины нумеруются по порядку (например, X25→1). Смешанные вершины нумеруются по правилу:

- сначала нумеруются смешанные вершины, являющиеся отображением ключевых вершин;
- затем нумеруются с самого верха непронумерованные смешанные вершины, при этом необходимо найти обратное отображение вершины. Если вершина, принадлежащая к обратному отображения данной вершины уже пронумерована, то присваивать данной вершине порядковый номер не нужно;
- в случае, если существует такая вершина, которая не имеет номера, следует рассмотреть прямое отображение вершины. Если существует какая-либо непронумерованная вершина, то данной вершине следует присвоить очередной номер и перейти к рассмотрению следующей вершины;
- после нумерации смешанных вершин переходят к нумерации ключевых вершин, которые получают номера друг за другом согласно записи в столбцах.

Таблица 3.5. Результат расчета суммы S_k

№ п/п	Вершина графа	$S_k^{сmb}$	S_k^{cmp}	S_k
1	X1	0	1	-1
2	X2	0	2	-2
3	X3	2	1	1
4	X4	2	1	1
5	X5	0	2	-2
6	X6	4	1	3
7	X7	5	1	4
8	X8	2	1	1
9	X9	1	1	0
10	X10	1	1	0
11	X11	0	1	-1
12	X12	1	1	0
13	X13	1	0	1
14	X14	1	1	0
15	X15	1	2	-1
16	X16	1	1	0
17	X17	1	1	0
18	X18	1	0	1
19	X19	0	1	-1
20	X20	0	1	-1
21	X21	0	1	-1
22	X22	0	1	-1
23	X23	0	1	-1
24	X24	2	1	1
25	X25	0	1	-1
26	X26	2	0	2

Таблица 3.6. Типы вершин

Тупиковые вершины	Смешанные вершины	Ключевые вершины	
		$S_k = -1$	$S_k \leq -2$
X25→1 X13→2 X18→3	X7→8 X6→4 X3→5 X4→6 X8→9 X24→10 X9→11 X10→14 X14→13 X16→14 X17→15 X12→7	X1→16 X11→17 X15→18 X20→19 X21→20 X22→21 X23→22	X2→25 X5→26

Этап 4. Построение измененной матрицы смежности. Используя новую нумерацию вершин, сформируем новую матрицу смежности (табл.3.7.). По этой матрице определяется минимальное количество параметров, которые достаточны для определения вида технического состояния. Его составляют вершины, образованные тупиковыми и смешанными вершинами.

Для рассматриваемой математической модели минимально необходимый набор контролируемых параметров имеет вид:

$$\{X3, X4, X6, X7, X8, X9, X10, X12, X13, X14, X16, X17, X18, X26\}.$$

Данный набор контролируемых параметров минимизирован, но не минимален. Вместе с тем, этот набор наиболее информативен и одновременно

Таблица 3.7. Матрица смежности С (изменённая)

[illegible]

близок к минимальному. Для определения всех возможных минимальных наборов из полученного минимизированного набора контролируемых параметров требуется определить возможные сочетания параметров по формуле:

$$Q = C_n^l, \quad (3.22)$$

где: $n = s - u - t - C_u - k$, $l = r - u - t - C_u$, s - число элементов матрицы смежности; u - число изолированных вершин (в работе $u = 0$); r - число элементов в минимизированном наборе; t - число тупиковых вершин; C_u - число смешанных вершин.

Таким образом, может быть получено наиболее информативное минимизированное множество контролируемых параметров.

Минимальное и достаточное количество контролируемых параметров определяются вершинами математической модели, составляющие тупиковые и смешанные вершины.

Из полученных данных видно, что:

1) тупиковые вершины входят в минимальное количество контролируемых параметров;

2) ключевые вершины из данного набора исключаются, т.к. информация о них может быть получена из смешанных и тупиковых вершин.

Рассмотренный подход к выбору контролируемых параметров математической модели средства РТОП открывает широкие возможности для построения различных математических моделей средств РТОП для модуля практической подготовки.

Выводы по главе 3

1. Для средства РТОП, изучение которого должно быть предусмотрено тренажерной системой ТОиР, должна быть разработана совокупность математических моделей, используемых в модуле теоретической и практической подготовки.

2. Математическая модель средства РТОП применительно к модулю теоретической подготовки должна обеспечивать возможность изучения принципа работы средства РТОП, тактико-технические характеристики и давать возможность имитировать работу средства РТОП в конкретных условиях воздушной обстановки, внешних метеорологических условий, а также имитировать изменение этих условий. При разработке математических моделей для модуля теоретической подготовке следует использовать подходы, основанные на взаимосвязи технических и тактических характеристик средства РТОП.

3. Математическая модель средства РТОП применительно к модулю практической подготовки должна обеспечивать возможность практического освоения процедур технического обслуживания, поиска отказов, применения средств контроля общего и сервисного типа.

Разработку математической модели средства РТОП для модуля практической подготовки целесообразно проводить с использованием методов теории графов. Граф-модель средства РТОП, построенная в пространстве параметров, позволяет формализовать процесс функционирования средства РТОП, обеспечить анализ качества функционирования в целом и необходимую подробность анализа ТС на уровне функций. Процедура построения математической модели средства РТОП на основе методов теории графов вполне формализована и включает следующие основные этапы:

- выбор множества свойств, существенных для функционирования средства РТОП и выделение причинно-следственных связей между свойствами средства РТОП;

- построение граф-модели средства РТОП;

- дополнение и уточнение первоначальной граф-модели средства РТОП отображениями отказов из сформированного алфавита отказов.

Полученная граф-модель средства РТОП отображает все доступные обучаемому сведения о средстве РТОП и представляет собой формализованное описание, служащее основой для изучения процедур ТО и поиска отказа.

4. Оценка эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи

Как показано в главе 2 тренажерная система ТОиР средств РТОП должна функционировать в двух режимах: режиме «Теоретическая подготовка» и режиме «Практическая подготовка».

В режиме «Теоретическая подготовка» обучаемые получают требуемый уровень знаний по средствам РТОП, правилам их ТОиР. Основная задача режима «Практическая подготовка» состоит в формировании у обучаемых требуемого уровня навыков по ТО и поиску отказов средств РТОП.

Очевидно, что исследование эффективности ТрС должно включать отдельно:

- разработку методики и оценку эффективности ТрС в режиме «Теоретическая подготовка»;
- разработку методики и оценку эффективности ТрС в режиме «Практическая подготовка».

Кроме этого, данные методики должны предусматривать возможность определения индивидуальной программы обучения на основе определения начального навыка обучаемого.

4.1. Оценка эффективности модуля теоретической подготовки тренажерной системы

Основными показателями (частными оценками), по которым проводится оценка знаний обучаемых после прохождения теоретической подготовки являются [100,101]:

- теоретические знания назначения, решаемых задач и принципы работы средств РТОП;
- теоретические знания конструкции и особенностей эксплуатации средств РТОП;
- знание руководящих документов по вопросам технической эксплуатации средств РТОП;
- знание средств контроля технического состояния средств РТОП.

В качестве индивидуальной оценки уровня знаний обучаемого можно использовать следующий способ. В зависимости от текущего этапа теоретического обучения формируется соответствующий блок контрольных вопросов с набором вариантов ответов на каждый, при этом один из предлагаемых ответов истинный. Тогда общий результат ответов можно представить в виде n -мерного вектора, размерность которого определяется количеством вопросов. Элементами этого вектора являются логические единица или ноль, при этом единица будет соответствовать правильному ответу на вопрос, ноль – неправильному. Оценивая обучаемых по четырёх бальной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», n -мерный интервал необходимо разделить на четыре подынтервала, например, так: оценка «неудовлетворительно» выставляется, если количество правильных ответов попадает в область от 0 до $[0.5n]_{\text{мц}}$, где n – количество контрольных вопросов, $[*]_{\text{мц}}$ – операция округления до меньшего целого. Оценка «удовлетворительно» соответствует области от

$[0.5n]_{\text{мц}}$ до $[0.65n]_{\text{мц}}$, «хорошо» – области от $[0.65n]_{\text{мц}}$ до $[0.8n]_{\text{мц}}$, «отлично» – от $[0.8n]_{\text{мц}}$ до n .

Методика оценки эффективности ТрС ТООР в режиме «Теоретическая подготовка» состоит в следующем.

Группа обучаемых разбивается на две части, в каждой из которых обеспечивается приблизительно одинаковый их подбор по успеваемости, а также и по известным индивидуальным особенностям, после чего проводится цикл обучения с одной группой по традиционной методике с использованием технических описаний средств РТОП, регламентов ТО, альбомов схем и т.п., с другой – с использованием модуля «Теоретическая подготовка» ТрС.

Затем проводится контроль знаний, используя методику индивидуальной оценки, описанной выше.

На следующем шаге введём понятие идеального ответа в виде вектора $X_0^T = [1111111111 11]$, элементами которого являются все единицы (на все вопросы даны верные ответы), и наихудшего ответа в виде вектора $X_N^T = [0000000000 00]$ (ни одного правильного ответа).

Для анализа полученных ответов нужно провести оценку их отличия от идеального. В качестве меры расхождения текущего ответа i -го обучаемого от идеального используется расстояние Хемминга:

$$d_i = \sum_{k=1}^n |x_i^{(k)} - x|, \quad (4.1)$$

где n – количество контрольных вопросов, k – номер вопроса, x_i – значение нуля или единицы в зависимости от ответа: «истина–ложь», $x=1$ – значение идеального ответа.

При этом высокому уровню обученности будет соответствовать наименьшее значение величины

$$L_j = \sum_{i=1}^n |x_{ij} - x^*|, \quad (4.2)$$

где $j = \overline{1, N}$, N – количество обучаемых в группе, x^* – компонент идеального вектора.

После вычисления расстояния L для каждого ответа определяются их средние значения для обеих групп. С целью выявления эффективности того или иного средства обучения вводится статистический критерий различимости средних значений расстояния L .

Идея заключается в следующем. Для полученных средних значений расстояния L проводится проверка наличия значимого отличия между ними. Это выполняется на основе гипотезы о равенстве двух центров распределения.

В соответствии с методикой, изложенной в [100,101], требуется определить истинность выражения:

$$\sigma_1^2 - \sigma_2^2 > z_q \cdot \sigma_{(\bar{L}_1 - \bar{L}_2)},$$

где σ_1^2 и σ_2^2 – дисперсии случайных величин L при соответствующем средстве обучения, z_q – q -процентный предел отклонения критической области, определяемой правой частью неравенства, величина $\sigma_{(\bar{L}_1 - \bar{L}_2)}$ определяется выражением:

$$\sigma_{(\bar{L}_1 - \bar{L}_2)} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}.$$

В итоге, проверяя истинность вышеуказанного неравенства делается вывод о том, что различие между полученными средними значениями расстояния L значимо. Что в свою очередь позволяет сделать вывод о более высокой эффективности ТРС.

В качестве дополнительной оценки эффективности можно использовать устойчивость обучения. Для этого определяются наибольшее и наименьшее значения вектора L по каждой группе и вычисляются соответствующие разности. Меньшая разность будет указывать на то, что в данной группе полученные знания и умения более устойчивые.

Рассмотренная методика представлена на рисунке 4.1. в виде блок-схемы. В соответствии с разработанной методикой была проведена оценка эффективности ТРС ТОиР для модуля теоретической подготовки. В качестве модуля теоретической подготовки выступала разработанная на «кафедре техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта» обучающая программа для АОРЛ-85.

В качестве экспериментальной группы были привлечены студенты 5 и 6 курсов по специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» МГТУ ГА. Группа студентов была разделена на две части, в каждой из которых обеспечен одинаковый подбор студентов по успеваемости и индивидуальным особенностям.

После проведения теоретической подготовки по АОРЛ-85 с одной группой по традиционной методике с использованием для обучения технического описания АОРЛ-85, альбомов схем, регламента технического обслуживания и т.п., с другой – с использованием обучающей программы был проведён контроль приобретённых знаний. Обучаемым обеих групп были розданы анкеты с 12-ю контрольными вопросами. На каждый вопрос было предложено 4 ответа, один из которых был правильным, и обучаемые в свою очередь выделяли тот, который они считали верным. После проверки полученных ответов обеих групп были получены следующие результаты, указанные в таблице 4.1.

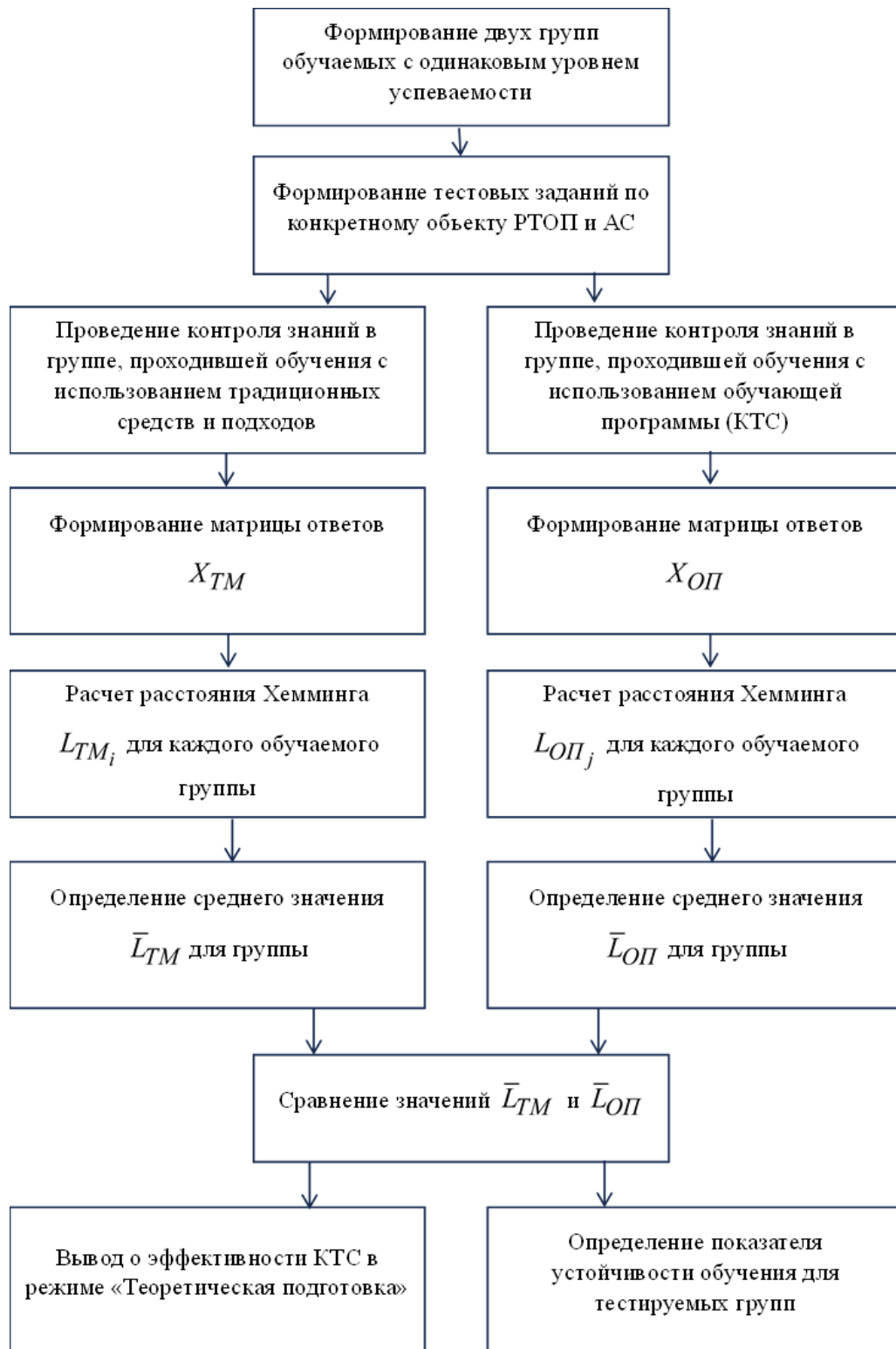


Рисунок 4.1. Методика оценки эффективности тренажерной системы ТОиР в режиме «Теоретическая подготовка»

Таблица 4.1. Результаты контроля

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\Sigma+$	$\Sigma-$
Традиционная методика														
1	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	4	8
2	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	3	9
3	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	7	5
4	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	6	6
5	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	8	4
6	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	6	6
													34	38
Обучающая программа														
7	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	7	5
8	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	6	6
9	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	7	5
10	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	8	4
11	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	9	3
12	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	10	2
													47	25

В таблице символами «+» отмечены правильные ответы, соответственно «-» - неправильные. В общем подсчёте в группе, занимавшейся по традиционной методике, было отмечено 34 правильных ответа и 38 неправильных, в группе изучавших АОРЛ-85 по обучающей программе – 47 правильных и 25 неправильных.

Ответы тестируемых студентов представлены в виде матриц X_{TM} и X_{OP} для каждой группы соответственно. Каждый столбец матрицы представляет собой вектор, состоящий из 12-ти логических нулей и единиц, где нуль соответствует неправильному ответу, а единица – правильному.

$$X_{TM} = \begin{bmatrix} 001001 \\ 001111 \\ 111110 \\ 000000 \\ 000010 \\ 101000 \\ 010001 \\ 101111 \\ 101110 \\ 010111 \\ 000010 \\ 001111 \end{bmatrix} \quad X_{OP} = \begin{bmatrix} 011010 \\ 111111 \\ 100111 \\ 001000 \\ 010011 \\ 101111 \\ 100101 \\ 110111 \\ 101111 \\ 011001 \\ 101111 \\ 010111 \end{bmatrix}$$

При анализе полученных ответов проведена оценка их отличия от идеального. После вычисления расстояния L для каждого ответа были получены следующие значения для обеих групп:

$$L_1^{TM} = 8, \quad L_2^{TM} = 9, \quad L_3^{TM} = 5, \quad L_4^{TM} = 6, \quad L_5^{TM} = 4, \quad L_6^{TM} = 6$$

$$L_1^{OP} = 5, \quad L_2^{OP} = 6, \quad L_3^{OP} = 5, \quad L_4^{OP} = 4, \quad L_5^{OP} = 3, \quad L_6^{OP} = 2$$

По каждой группе получено среднее значение L :

$$\bar{L}_{TM} = \frac{\sum_{i=1}^6 L_i^{TM}}{6} = 6,3; \quad \bar{L}_{OP} = \frac{\sum_{i=1}^6 L_i^{OP}}{6} = 4,1.$$

Результаты вычислений приведены на рисунке 4.2.

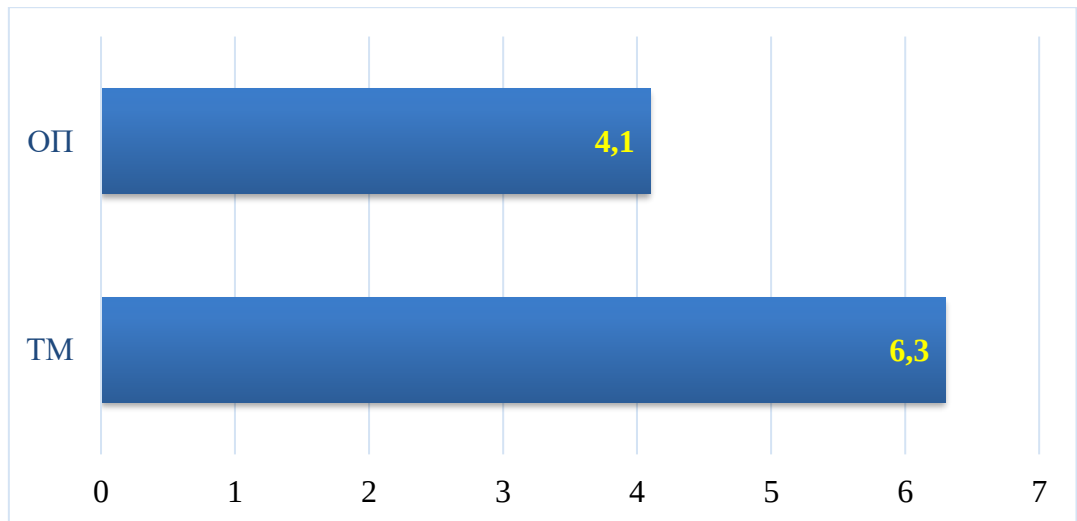


Рисунок 4.2. Диаграмма значений $\bar{L}_{TM}$ и $\bar{L}_{ОП}$.

Далее по каждой группе определено наибольшее и наименьшее значения вектора L :

$$L_{\min}^{TM} = 4, \quad L_{\max}^{TM} = 9,$$

$$L_{\min}^{ОП} = 2, \quad L_{\max}^{ОП} = 6.$$

Вычисленные разности

$$L_{\max}^{TM} - L_{\min}^{TM} = 5,$$

$$L_{\max}^{ОП} - L_{\min}^{ОП} = 4,$$

дают оценку устойчивости обучения.

Различие между наибольшими и наименьшими значениями L в каждой подгруппе указывает на то, что во второй подгруппе полученные знания более устойчивые.

Из рисунка 4.2. видно, что значение $\bar{L}_{TM}$ превышает $\bar{L}_{ОП}$ в 1,5 раза. Это даёт основание высказать гипотезу, что при использовании тренажерной системы

ТОиР для теоретического обучения (обучающей программы) качество обучения выше по сравнению с использованием традиционных методов и средств обучения.

Для полученных значений $\bar{L}_{TM}$ и $\bar{L}_{ОП}$ следует выполнить проверку этой гипотезы на основе оценки наличия значимого отличия между ними. Это было выполнено на основе гипотезы о равенстве двух центров распределения.

В соответствии с методикой, изложенной в [80], требуется определить истинность выражения (4.2):

$$\sigma_{TM}^2 - \sigma_{ОП}^2 > Z_q \cdot \sigma_{(\bar{L}_{TM} - \bar{L}_{ОП})}, \quad (4.3)$$

где σ_{TM}^2 и $\sigma_{ОП}^2$ – дисперсии случайных величин $\bar{L}_{TM}$ и $\bar{L}_{ОП}$ соответственно, Z_q – q-процентный предел отклонения критической области, определяемой правой частью неравенства (4.2), величина $\sigma_{(\bar{L}_{TM} - \bar{L}_{ОП})}$ определяется выражением:

$$\sigma_{(\bar{L}_{TM} - \bar{L}_{ОП})} = \sqrt{\frac{\sigma_{TM}^2}{N_1} + \frac{\sigma_{ОП}^2}{N_2}}. \quad (4.4)$$

Вычисленные величины составили:

$$\sigma_{TM}^2 = 3,56; \quad \sigma_{ОП}^2 = 2,06; \quad \sigma_{(\bar{L}_{TM} - \bar{L}_{ОП})} = \sqrt{\frac{\sigma_{TM}^2}{N_1} + \frac{\sigma_{ОП}^2}{N_2}} = 0,68.$$

Для q= 5% имеем $Z_{q=5} = 1,96$, тогда. $Z_5 \cdot \sigma_{(\bar{L}_{TM} - \bar{L}_{ОП})} = 1,3$

В итоге, так как $\sigma_{TM}^2 - \sigma_{ОП}^2 = 1,5 > 1,3$, установлено, что различие между полученными оценками значимо.

Поэтому можно сделать вывод, что использование ТРС ТОиР для теоретической подготовки ИТП служб ЭРТОС обеспечивает более высокое, чем традиционные методы, качество освоения изучаемого материала.

4.2. Методика и оценка эффективности модуля практической подготовки тренажерной системы

Как сказано, основной задачей режима «Практическая подготовка» является формирование у обучаемого требуемого уровня навыка по ТО и поиску неисправностей средств РТОП. Для ИТП эксплуатирующего средства РТОП именно уровень навыка определяет степень подготовки ИТП к выполнению работ по ТОиР.

Есть множество подходов для определения уровня навыка [10,56,68,69]. Однако, наиболее удачное дано в [69]. Получим выражения для расчета уровня навыка, формируемого у обучаемого при использовании ТрС ИТП служб ЭРТОС.

Пусть N - общее число действий обучаемого по ТОиР средства РТОП. Это число действий может быть определено на основании технологических карт (ТК) проведения работ по ТОиР конкретного средства РТОП. Под N_C будем понимать число правильных (корректных) действий обучаемого по ТОиР средства РТОП. Тогда можно записать:

$$h = \frac{N_C}{N}. \quad (4.5)$$

Величина h будет характеризовать уровень правильных действий обучаемого по ТОиР, которые сформировались у него при проведении практических занятий.

Помимо правильных действий обучаемого N_C у него могут сформироваться и ошибочные действия Er . Правильные и ошибочные действия составляют полную группу событий, тогда, очевидно, можно записать:

$$h = 1 - \frac{N_{Er}}{N}. \quad (4.6)$$

Таким образом, навыки можно классифицировать следующим образом:

- правильные навыки N_c – доведенные до автоматизма во время практического обучения правильные действия по ТОиР средств РТОП;
- ошибочные навыки Er – доведенные до автоматизма во время практического обучения ошибочные действия по ТОиР средств РТОП.

Уровень сформированного навыка является показателем качества практического обучения ИТП.

Рассмотрим методику определения уровня навыка, приобретённого обучаемыми при работе на реальном средстве РТОП. Расчет будем проводить на основании результатов эксплуатационной практики студентов МГТУ ГА, обучающихся по специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования». Практика проводилась на средствах РТОП, которые размещены в УАТЦ МГТУ ГА. Будем использовать результаты, полученные студентами при работе на АОРЛ-85 «Экран».

Для каждого студента была сформирована опросная карта. В карте отмечались результаты освоения операций по техническому обслуживанию (технологическая карта) АОРЛ-85.

Расчеты, проведенные по формуле (4.5), учитывали, что начальный уровень навыка студентов равен нулю. Среднее значение приобретенного навыка для студента составило $h=0,68$, а доля приобретенного навыка за одну тренировку, с учетом 12 учебных занятий, составило $\Delta h_1=0,056$.

Таблица 4.2. Карта студента (средство: АОРЛ-85 «Экран»)

Иванов И.И.		
ТК №1 Проверка состояния антенного устройства		
Операции ТК, требующие навыка	Навык сформирован (нет ошибок действий)	Навык не сформирован (есть ошибки действий)
ТК №1 Проверка состояния антенного устройства		
1. Проверка крепления элементов конструкции антенного устройства	+	
2. Проверка надежности сочленения высокочастотных кабелей	+	
3. Проверка целостности изоляционных оболочек кабелей		-
$h_{TK1}=0,66$		
ТК №2 Очистка от пыли и загрязнений антенного устройства		
1. Отсоединение ВЧ и НЧ разъемов от узлов и устройств антенного устройства	+	
2. Контроль состояния ВЧ и НЧ разъемов на предмет окисления, загрязнения, подгорания, оплавления.	+	
3. Протирка тампоном, смоченном в спирте, токоведущих поверхностей ВЧ и НЧ разъемов	+	
4. Соединение ВЧ и НЧ разъемов антенного устройства		-
5. Очистка шлифовальной шкуркой металлических поверхностей антенного устройства.	+	
6. Восстановление лакокрасочного покрытия.	+	
7. Смазка механизма угла наклона зеркала антенны		-
$h_{TK2}=0,71$		
ТК №3 Проверка температурного режима кузова (аппаратной, агрегатной)		
1. Измерение температуры в кузове (агрегатной или аппаратной)	+	
2. Установка температуры на температурном датчике выше измеренной на 10°C	+	
3. Включение автомата ОТОПЛЕНИЕ	+	
4. Контроль отключение отопительной системы	+	
5. Установка температуры на температурном датчике ниже измеренной на 10°C	+	
6. Контроль включения отопительной системы	+	
7. Установка температуры, необходимой для нормальной работы аппаратной (агрегатной)		-
$h_{TK3}=0,85$		
ТК №4 Проверка сигнализации и положения органов управления		
1. Проверка целостности измерительных приборов	+	
2. Установка измерительных приборов в нулевое положение		-
3. Осмотр шкафов на предмет отсутствия механических повреждений	+	
4. Проверка надежности присоединения внешних разъемов и целостность заземляющих шин	+	
5. Проверка правильности установки всех органов управления на передней панели шкафа		-

6. Проверка работоспособности устройств индикации	+	
7. Проверка шкафов на отсутствие следов подгорания на разъемных соединениях	+	
8. Проверка закрытия шкафов на замки	+	
$h_{TK4}=0,75$		
ТК №5 Проверка ВЧ и НЧ разъемов		
1. Отсоединение ВЧ и НЧ разъемов от узлов и устройств	+	
2. Контроль состояния ВЧ и НЧ разъемов на предмет окисления, загрязнения, подгорания, оплавления	+	
3. Протирка тампоном, смоченном в спирте, токоведущих поверхностей ВЧ и НЧ разъемов		-
4. Соединение ВЧ и НЧ разъемов		-
$h_{TK5}=0,5$		
ТК №9 Проверка щита аппаратной		
1. Проверка целостности измерительных приборов	+	
2. Установка измерительных приборов в нулевое положение		-
3. Осмотр щита аппаратной на предмет отсутствия механических повреждений	+	
4. Проверка надежности присоединения внешних разъемов и целостность заземляющих шин	+	
5. Проверка правильности установки органов управления	+	
6. Проверка работоспособности устройств индикации	+	
7. Осмотр кабельного ввода	+	
8. Проверка целостности и надежности сочленения разъемных соединений		-
9. Контроль состояния разъемов на предмет окисления, загрязнения, подгорания, оплавления, ржавчины	+	
$h_{TK9}=0,77$		
ТК №10 Проверка щита агрегатной		
1. Проверка целостности измерительных приборов	+	
2. Установка измерительных приборов в нулевое положение	+	
3. Осмотр щита аппаратной на предмет отсутствия механических повреждений	+	
4. Проверка надежности присоединения внешних разъемов и целостность заземляющих шин	+	
5. Проверка правильности установки органов управления		-
6. Проверка работоспособности устройств индикации		-
7. Осмотр кабельного ввода	+	
8. Проверка целостности и надежности сочленения разъемных соединений	+	
9. Контроль состояния разъемов на предмет окисления, загрязнения, подгорания, оплавления, ржавчины		-
$h_{TK10}=0,66$		
ТК №12 Проверка аппаратуры КИКО		
1. Включение первого комплекта аппаратуры КИКО	+	
2. Проверка свечения индикаторов на передней панели блока сигналов	+	
3. Включение блока сопряжения и синхронизации ШСС первого комплекта и АПОИ «Вуокса»	+	

4. Установка на ШСС тумблера КОНТ АОУ в положение ВКЛ	+	
5. Подготовка к включению индикатора КИКО		-
6. Включение индикатора КИКО	+	
7. Контроль наличия азимутально-дальномерной сетки на экране ЭЛТ	+	
8. Контроль переключения масштабов 100 и 50 км		-
9. Контроль наличия контрольного кольца на дальности 10 км при включении режима контроля		-
10. Включение второго комплекта аппаратуры КИКО		-
11. Проверка свечения индикаторов на передней панели блока сигналов	+	
12. Включение блока сопряжения и синхронизации ШСС второго комплекта и АПОИ «Вуокса»	+	
13. Установка на ШСС тумблера КОНТ АОУ в положение ВКЛ	+	
14. Подготовка к включению индикатора КИКО		-
15. Включение индикатора КИКО	+	
16. Контроль наличия азимутально-дальномерной сетки на экране ЭЛТ	+	
17. Контроль переключения масштабов 100 и 50 км		-
18. Контроль наличия контрольного кольца на дальности 10 км при включении режима контроля		-
$h_{TK12}=0,61$		

Таблица 4.3. Сводная таблица навыков, приобретенных студентами группы

Студент	Уровень навыка студента / доля навыка за одно практическое занятие
1.	0,68/0,056
2.	0,43/0,035
3.	0,57/0,047
4.	0,69/0,057
5.	0,36/0,03
6.	0,48/0,04
7.	0,52/0,043
8.	0,7/0,058
9.	0,32/0,026
10.	0,41/0,034
11.	0,64/0,053
12.	0,29/0,024
13.	0,33/0,027
14.	0,46/0,038
Среднее значение навыка – 0,49	
Среднее значение доли навыка – 0,04	

Объединённые данные по всем студентам группы, проходящей практику на АОРЛ-85 «Экран» и сведены в таблице 4.3.

Студенты показали различный уровень приобретенного навыка. Примем, что высокий уровень навыка соответствует $h \geq 0,9$, средний уровень навыка – $0,7 \leq h < 0,9$, низкий уровень навыка – $h < 0,7$ [61]. Такое разбиение, конечно не единственное. Здесь принято разбиение с учетом градаций навыка «высокий-средний-низкий». Если использовать градацию «высокий-выше среднего-средний-ниже среднего-низкий», то числовое разбиение будет другим. Подробно данный вопрос можно рассмотреть, например, в [68].

Из данных таблицы 4.3. видно, что никто из студентов группы не приобрел высокого уровня навыка, средний уровень навыка сформировался только у одного студента, а остальные получили низкий уровень навыка. Это объясняется следующим:

- количество практических занятий на АОРЛ-85 во время эксплуатационной практики было ограничено программой практики, т.к. студенты должны были практически познакомиться с другими средствами РТОП, в частности с СП-90 и системами ОВЧ радиосвязи;

- у студентов отсутствовал начальный уровень навыка.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что при расчетах уровня навыков ИТП, проходящего повышение квалификации необходимо учитывать начальный уровень навыка каждого специалиста индивидуально. Кроме этого, следует учитывать то, что каждый обучаемый за одно практическое занятие получает различный прирост навыка (долю навыка за одно занятие). Это напрямую влияет на количество практических занятий, требуемое для формирования заданного уровня навыка.

Определим расчетные выражения, опираясь на исследования, проведенные в [69]. Учитывая, что обучаемый до практических занятий уже имеет определенный уровень навыка по ТОиР средств РТОП h_n , а также учитывая показатель, характеризующий долю получаемого правильного навыка за одно практическое занятие Δh_1 запишем выражения для определения уровня правильного навыка:

$$h = 1 - (1 - h_n)(1 - \Delta h_1)^{n_{mp}}. \quad (4.7)$$

Выражение (4.7) позволяет рассчитать значение уровня навыка при известных h_n , Δh_1 и заданном количестве тренировок n_{mp} .

Очевидно, что задавая требуемый уровень правильных навыков $h_{зад}$ на основе выражения (4.7) можно получить выражение для расчета количества потребных практических занятий на ТрС n_{mp} необходимых для достижения заданного уровня $h_{зад}$

$$n_{mp} = \frac{\ln(1 - h_{зад}) - \ln(1 - h_n)}{\ln(1 - \Delta h_1)}, \quad (4.8)$$

с учетом уровня начального навыка.

Все приведенные выше расчетные выражения справедливы для случая, когда практические занятия проводятся на реальном средстве РТОП. Любая ТрС всего лишь некоторое приближение к реальному средству. Как показано в гл. 1 одной из основных характеристик ТрС является ее адекватность. Уровень адекватности ТрС при практическом обучении будет оказывать прямое влияние на уровень навыков, как правильных, так и ошибочных. При этом, неадекватность ТрС по отношению к реальным средствам РТОП не может быть полностью устранима. Реальное средство имеет наивысший уровень адекватности $A=1$, любая ТрС имеет уровень адекватности $A < 1$.

Определим выражения для расчета уровня навыков, приобретаемых на ТрС с учетом ее адекватности:

$$h_C^{kmc} = Ah_C, \quad (4.9)$$

$$h_{Er}^{kmc} = Ah_{Er}. \quad (4.10)$$

Очевидно, что при $A=1$ получим $h_C^{kmc} = h_C$ и $h_{Er}^{kmc} = h_{Er}$.

Из-за частичного или полного отсутствия имитации некоторых процессов ТОиР средств РТОП в ТрС возможна такая ситуация, когда доля навыков $\Delta\tilde{h}_1$, приобретаемая на ТрС на одну тренировку, может оказаться несколько выше, чем доля навыков Δh_1 , приобретаемая на реальном средстве РТОП. С учетом этого оценку уровня навыков, приобретаемых на тренажере за n тренировок, следует определять следующим образом:

$$h_C^{kmc}(n) = A - (A - h_n)(1 - \Delta\tilde{h}_1)^n, \quad (4.11)$$

$$h_{Er}^{kmc}(n) = (A - h_n)(1 - \Delta\tilde{h}_1)^n. \quad (4.12)$$

Важной на практике является задача определения потребного количества тренировок на ТрС для достижения обучаемым заданного уровня навыка. Выражение (4.8) может быть записано в виде

$$n_{mp} = \frac{\ln(1 - h_{зад}) - \ln(1 - h_n)}{\ln(1 - \Delta\tilde{h}_1)}. \quad (4.13)$$

В дальнейшем примем, что ТрС имеет высокий уровень адекватности, если $A \geq 0,9$, средний уровень адекватности ТрС будет соответствовать уровню $0,7 \leq A < 0,9$, а ТрС с низким уровнем адекватности - $A < 0,7$. Методика оценки эффективности модуля «Практическая подготовка» ТрС представлена на рисунке 4.3. в виде блок-схемы.

На рисунке 4.4. и рисунке 4.5. приведены зависимости правильных навыков от количества практических занятий на ТрС. На рисунке 4.4. значения правильного навыка рассчитаны для различных значений адекватности ТрС.

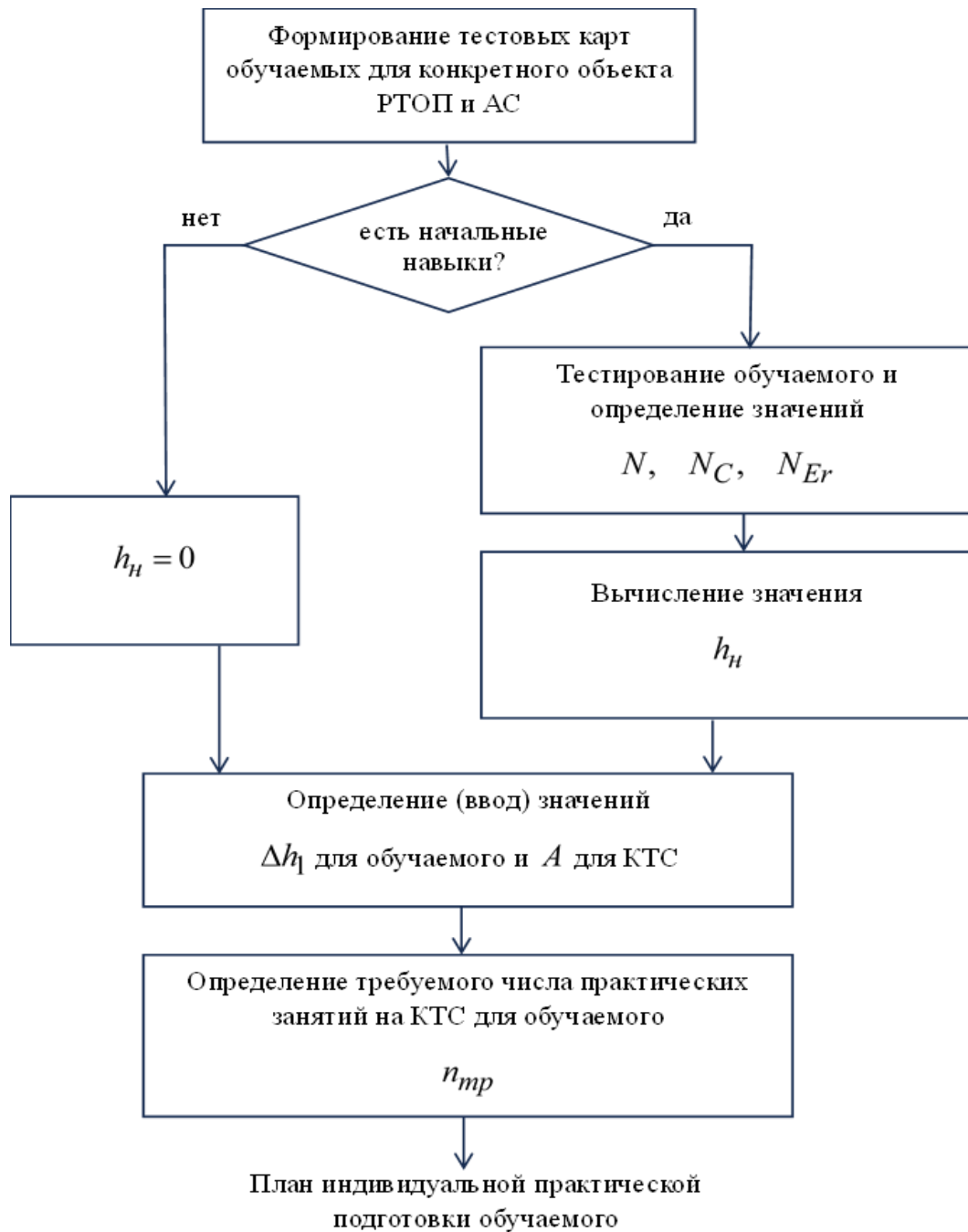


Рисунок 4.3. Методика оценки начального уровня навыка и формирования индивидуальной программы обучения

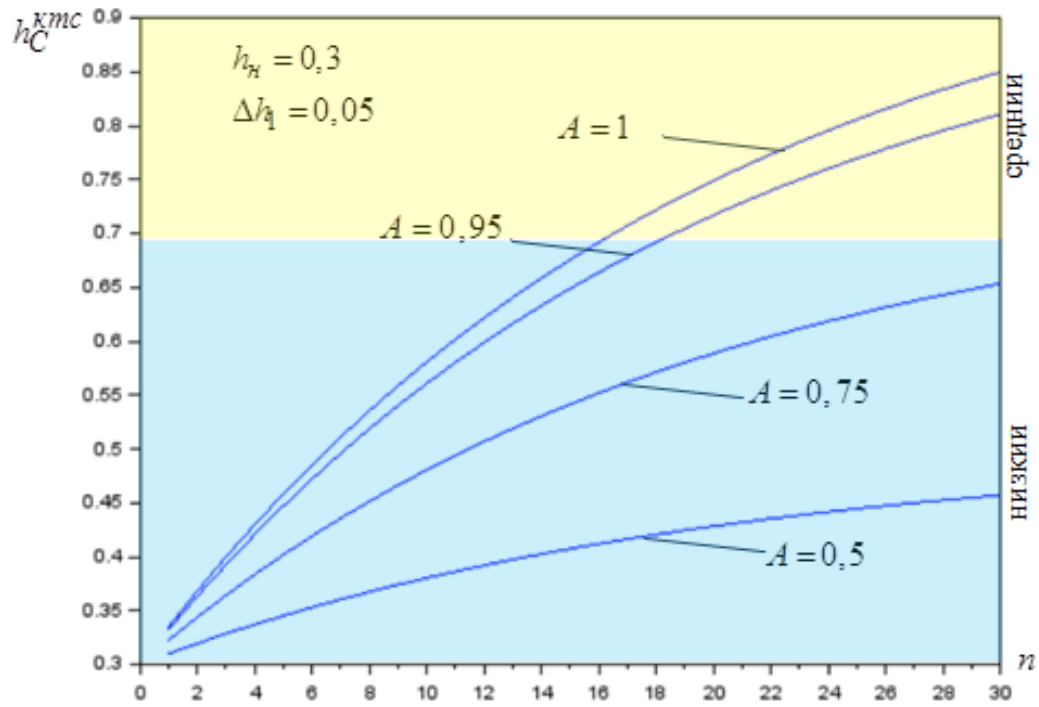


Рисунок 4.4. Зависимость уровня навыка от количества тренировок для ТрС с различной степенью адекватности

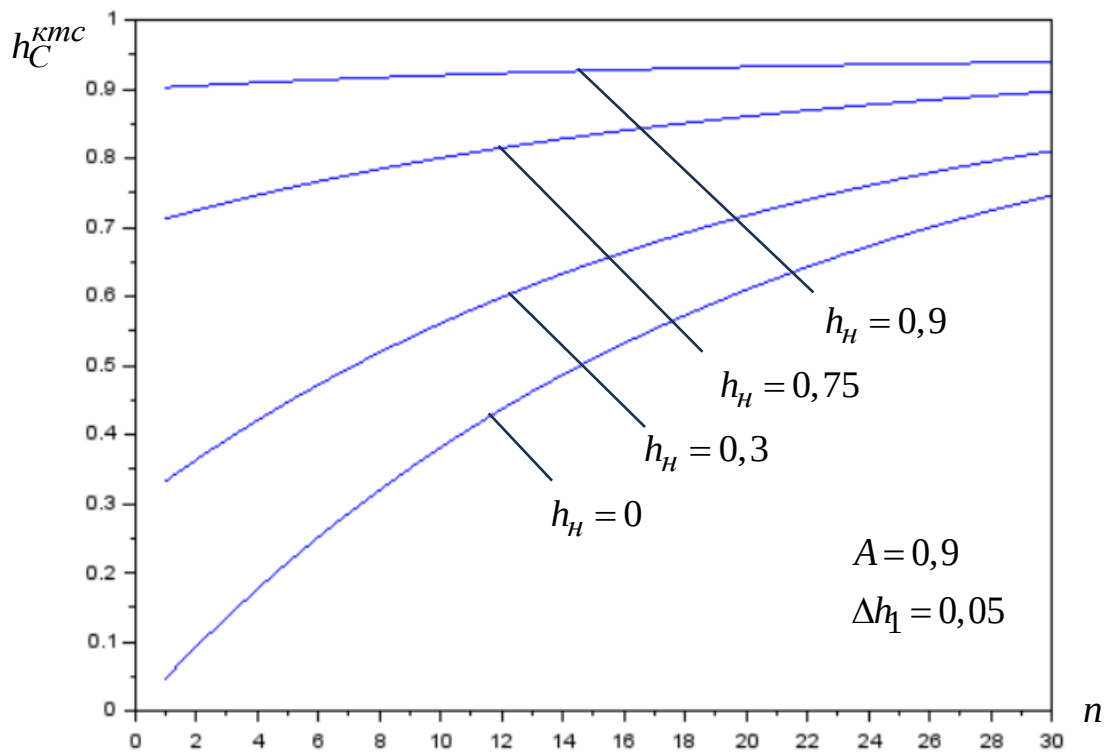


Рисунок 4.5. Зависимость уровня навыка от количества тренировок для различного уровня начального навыка обучаемых

Уровень начального навыка обучаемого и доля навыка, приобретаемого обучаемым за одно практическое занятие фиксировано.

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы:

- уровень адекватности ТрС существенно влияет на уровень навыка, формируемого у обучаемого. При низком уровне адекватности ТрС ($A = 0,5$) достичь даже среднего уровня навыка не представляется возможным. Высокий уровень адекватности ТрС позволяет достичь среднего уровня навыка при $n \approx 18$, что вполне приемлемо в рамках обучающих программ вузов, но может стать неприемлемым для программ повышения квалификации ИТП служб ЭРТОС;

- очевидно, что достижение среднего или высокого уровня навыка зависит от психофизических особенностей обучаемого и его начальной подготовки (начальный уровень навыка).

На рисунке 4.5. значения правильного навыка рассчитаны для различных значений начального навыка. Уровень адекватности ТрС и доля навыка, приобретаемого обучаемым за одно практическое занятие фиксировано. ТрС имеет высокий уровень адекватности.

Значение начального навыка равное нулю соответствует случаю, когда студент вуза начинает осваивать системы РТОП на практических занятиях и учебных практиках. У обучаемого может быть сформирован только низкий уровень навыка, причем его значение существенно зависит от адекватности тренажера. Как показано на рисунке 4.4. для ТрС близкой к реальному средству РТОП уровень навыка студента после 30 практических занятий на ТрС только приближается к среднему уровню навыка.

Для ИТП, проходящего повышение квалификации характерен низкий или средний уровень навыка. В этом случае число практических занятий на ТрС будет определяться индивидуально для каждого обучающегося.

ИТП имеющий высокий уровень начального навыка $h_n = 0,9$ вряд ли будет нуждаться в занятиях на ТрС. Как видно из рисунка 4.5. значение навыка в этом случае практически не зависит от количества практических занятий. Здесь уместно

говорить лишь о поддержании уровня навыка на заданном уровне, при этом будет использоваться ТрС или реальный средство РТОП не важно.

На рисунке 4.6. приведены зависимости уровня правильных и ошибочных навыков от количества практических занятий на ТрС.

Зависимости позволяют сделать очевидный вывод, что при увеличении количества практических занятий уровень ошибочного навыка уменьшается, а уровень правильного навыка увеличивается. Если ТрС обладает низким уровнем адекватности, то для существенного снижения уровня ошибочного навыка потребуется большее количество практических занятий. На рисунке 4.7. представлена зависимость требуемого количества практических занятий на ТрС от уровня начального навыка обучаемого при различных требованиях к уровню формируемого навыка.

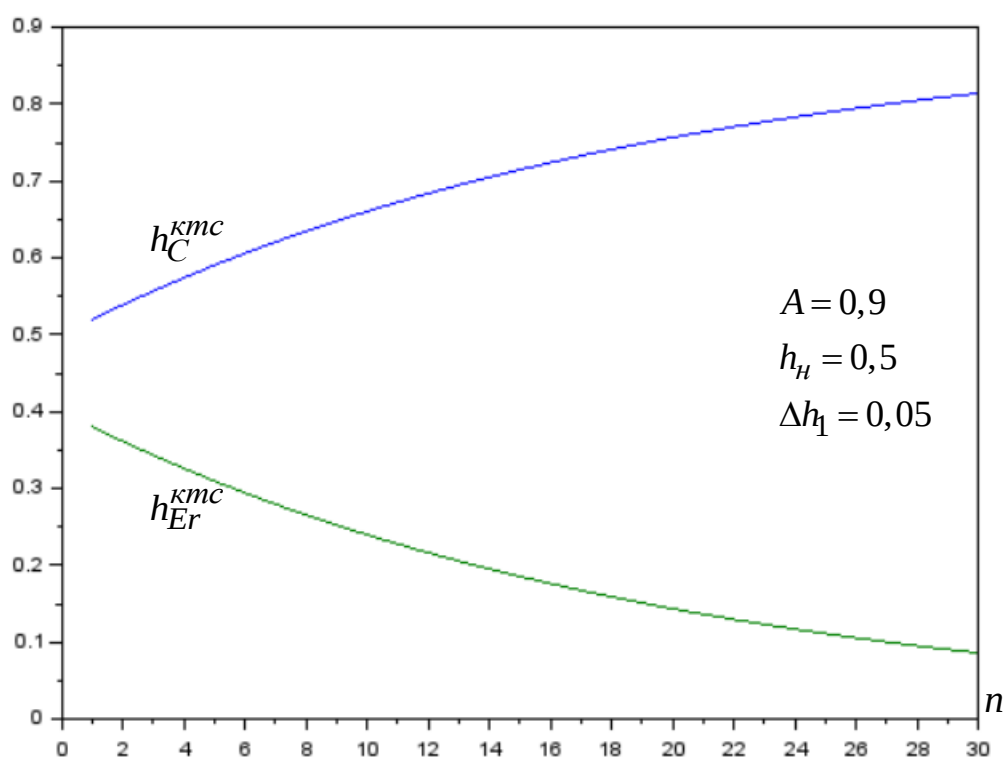


Рисунок 4.6. Зависимости уровня правильных и ошибочных навыков от количества практических занятий на ТрС

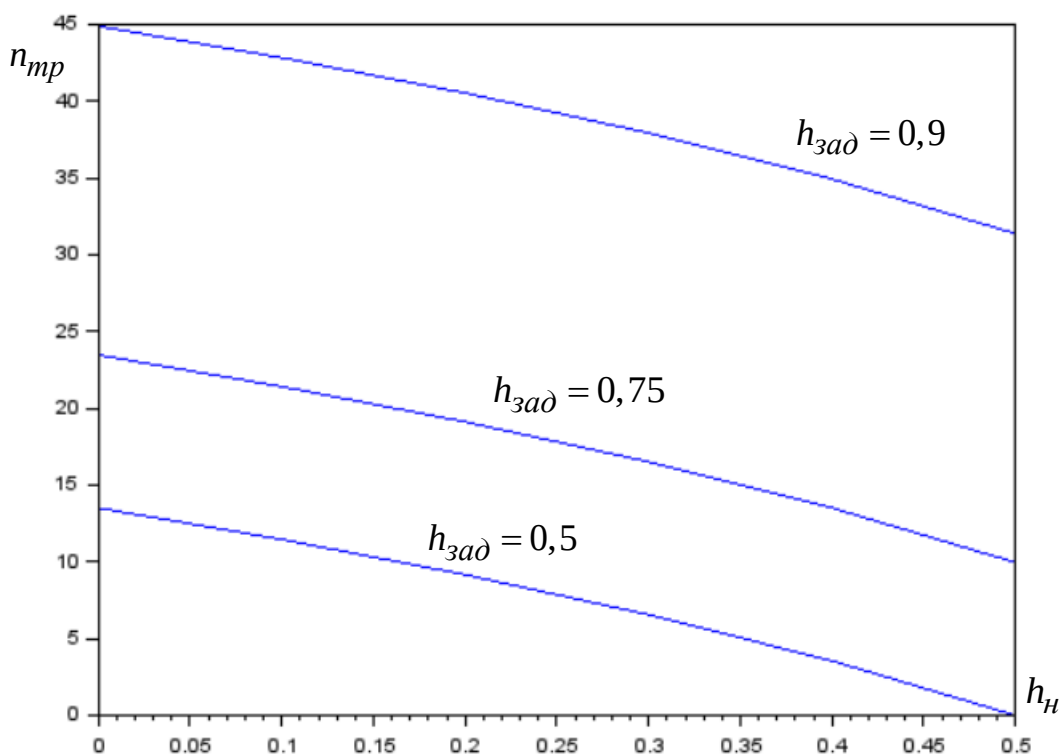


Рисунок 4.7. Зависимость потребного количества практических занятий на ТрС от уровня начального навыка обучаемого при различных требованиях к уровню формируемого навыка

Высокие требования к уровню навыка обучаемого в конце практического цикла обучения на ТрС требуют большего количества тренажей и существенно зависят от начального уровня навыка. Так, для обучаемого имеющего низкий уровень начального навыка при требовании $h_{зад} = 0,9$ потребуется примерно 30-45 практических занятий на ТрС.

Пусть, например, одно занятие состоит в отработке операций по ТО АОРЛ-85, а именно операций по ТК приведенным в таблице 4.3. Время, затрачиваемое на одно занятие – один академический час. Тогда для формирования у обучаемого высокого уровня навыка потребуется от 30 до 45 академических часов, что вполне приемлемо в рамках программ учебных практик (до 144 часов), но может оказаться не приемлемым в рамках программ повышения квалификации, которые рассчитаны, как правило, на 36-72 часа.

Если требования к уровню навыка по окончании обучения соответствуют среднему уровню навыка ($h_{зад} = 0,9$), то число требуемых практических занятий не превышает 25, что вполне может быть обеспечено в рамках программ обучения и повышения квалификации.

Ситуация, когда $h_{зад} = 0,5$ наиболее характерна для практической подготовки студентов в вузах в рамках учебных практик.

Таким образом, на основании проведенных исследований и оценке эффективности модуля практической подготовки ТрС можно утверждать следующее. ТрС ТООР должна обладать высоким уровнем адекватности. Только в этом случае могут быть успешно решены задачи практической подготовки ИТП как в вузах гражданской авиации и учебных центрах, так и в эксплуатирующих подразделениях. Требование высокой адекватности ТрС должно быть основным при формировании технического задания на разработку ТрС ТООР средств РТОП.

Выводы по главе 4:

1. Тренажерная система ТОиР средств РТОП должна функционировать в двух режимах: режиме «Теоретическая подготовка» и режиме «Практическая подготовка», которые обеспечиваются соответствующими модулями. Установлено, что исследование эффективности ТрС должно производиться отдельно для модуля теоретической и модуля практической подготовки.

2. Методика оценки уровня знаний должна включать:

- способ формирования идентификации уровня освоения в виде n -мерного вектора, содержащего логические компоненты;
- показатель эффективности в виде расстояния Хемминга, количественно оценивающий уровень усвоения знаний;
- статистический критерий различимости средних значений показателя эффективности, соответствующего различным средствам обучения.

3. Проведенная оценка уровня знаний ИТП сформированных в режиме «Теоретическая подготовка» ТрС показала, что уровень полученных знаний в 1,5 раза превышает уровень знаний при использовании традиционных средств и форм обучения. Это даёт основание высказать утверждение, что использование ТрС для теоретической подготовки ИТП служб ЭРТОС обеспечивает более высокое качество усвоения изучаемого материала.

4. Разработанная методика оценка эффективности модуля практической подготовки позволяет:

- определить уровень начального навыка обучаемого;
- оценить количество необходимых практических занятий на КТС для формирования заданного уровня навыка, что является необходимым при формировании индивидуального плана подготовки обучаемого;
- определить долю навыка, приобретаемого обучаемым за одно практическое занятие, что позволяет обеспечить корректировку плана подготовки обучаемого.

Уровень сформированного навыка является показателем качества практического обучения ИТП.

5. Проведенные исследования по оценке эффективности модуля практической подготовки позволяют утверждать следующее.

Значение начального навыка равное нулю соответствует случаю, когда студент вуза начинает осваивать системы РТОП на практических занятиях и учебных практиках, в том числе с использованием ТрС. У обучаемого может быть сформирован только низкий уровень навыка, к тому же его значение существенно зависит от адекватности тренажера. Как показывают расчеты для ТрС близкой к реальному средству РТОП уровень навыка студента после 30 практических занятий только приближается к среднему уровню навыка. При этом такой результат будет иметь место для студентов, наиболее успешно осваивающих образовательные программы.

Для ИТП, проходящего повышение квалификации характерен низкий или средний уровень начального навыка. В этом случае число практических занятий на ТрС будет определяться индивидуально для каждого обучающегося. ИТП имеющий высокий уровень начального навыка вряд ли будет нуждаться в занятиях на ТрС. Здесь уместно говорить лишь о поддержании уровня навыка на заданном значении, при этом будет использоваться ТрС или реальный средство РТОП не важно.

Высокие требования к уровню навыка обучаемого в конце практического цикла обучения на ТрС требуют большего количества тренажей и существенно зависят от начального уровня навыка. Так, для обучаемого имеющего низкий уровень начального навыка при требовании $h_{зад} = 0,9$ потребуется примерно 30-45 практических занятий на ТрС. С учетом времени, затрачиваемого на одно занятие (один академический час) для формирования у обучаемого высокого уровня навыка, потребуется от 30 до 45 академических часов, что вполне приемлемо в рамках программ учебных практик, но может оказаться не приемлемым в рамках программ повышения квалификации, которые рассчитаны, как правило, на 36-72 часов обучения.

Если требования к уровню навыка по окончании обучения соответствуют среднему уровню навыка ($h_{зад} = 0,9$), то число требуемых практических занятий не превышает 25, что вполне может быть обеспечено в рамках программ обучения и повышения квалификации.

Заключение

В результате проведения диссертационных исследований цель достигнута, решена научно-техническая задача разработки методики формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Современная система подготовки ИТП служб ЭРТОС использует по-прежнему традиционные формы, методы и технические средства обучения, которые не являются достаточно эффективными в условиях возрастающей сложности средств радиотехнического обеспечения полетов. Так результаты факторного анализа безопасности полетов по причинам, связанным со средствами РТОП показали, что на долю РТОП приходится около 20% инцидентов связанных с неграмотными действиями ИТП служб ЭРТОС и до 10 % инцидентов происходят по причине не выполнения требований ФАП. То есть, практически треть инцидентов, связанных с РТОП, происходят, так или иначе, по причинам, связанным с недостаточной профессиональной подготовкой ИТП служб ЭРТОС.

Проведенный в работе анализ современной системы подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС позволил обоснованно доказать перспективность использования тренажерных систем технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи для совершенствования учебно-материальной базы системы подготовки ИТП служб ЭРТОС.

2. Тренажерная система характеризуется определенными показателями, отражающими ее эффективность. Наиболее значимой характеристикой тренажерной системы является адекватность, под которой понимается степень ее соответствия реальной системе. В диссертационной работе определена адекватность существующего тренажёра технической эксплуатации транспортного

радиооборудования ООО «Фирма НИТА» и показано, что данный тренажер обладает низкой адекватностью. Адекватность имитаторов наземных систем радиосвязи ОВЧ диапазона составила $A^* = 0,46$, а систем посадки - $A^* = 0,47$. Кроме этого, выявлен ряд существенных недостатков тренажера, которые ограничивают его использование для подготовки ИТП служб ЭРТОС, а именно:

- полностью отсутствует возможность формирования навыка проведения всех видов ТО на существующих средствах РТОП;
- полностью отсутствует возможность формирования навыка проведения процедур по поиску и устранению отказов в средствах РТОП;
- ограничена номенклатура имитаторов средств РТОП, прежде всего систем наблюдения;
- отсутствуют имитаторы специализированных систем контроля средств РТОП.

3. Разработана методика формирования технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов, который может послужить основой для формирования технического задания на разработку и производство тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов.

4. Предложен вариант технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов. Раскрыты принципы построения тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов, определены структура и режимы функционирования тренажерной системы, сформулированы требования к тренажерной системе технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов.

Тренажерная система технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов должна обеспечивать подготовку обучаемых в режимах теоретической и практической подготовки, которые обеспечиваются соответствующими модулями тренажерной системы.

Режим «Теоретическая подготовка» предназначен для формирования у обучаемых необходимых знаний по назначению, решаемым задачам, принципу работы, составу и конструктивным особенностям конкретных средств РТОП и их технической эксплуатации.

Режим «Практическая подготовка» предназначен для формирования у обучаемых навыков по проведению всех форм ТО, поиску отказов и восстановлению средств РТОП. Режим практической подготовки является основным режимом ТрС ТОиР средств РТОП.

5. Узловой задачей при формировании технического облика тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов является обоснование структуры математической модели средства РТОП, которая должна состоять из двух частей.

Первая часть должна обеспечивать теоретическое обучение. Для этого в модуле теоретической подготовки должны быть предусмотрены исчерпывающие сведения об средстве РТОП: структурные, функциональные и принципиальные схемы средства и его составных частей; сведения о конструктивном исполнении средства РТОП; регламент и правила технического обслуживания и ремонта средства РТОП; сведения о контрольно-проверочной аппаратуре. Кроме этого, модуль теоретической подготовки должен содержать модели, отражающие принцип работы средств РТОП и его взаимодействие с другими системами (формат данных).

Вторая часть должна обеспечивать практическую подготовку. Для этого в модуле практической подготовки должно быть предусмотрено:

- практическое обучение ИТП процедурам ТО, т.е. работе с исправным оборудованием средств РТОП. Элементами этой части являются виды работ по формам ТО, набор и последовательность выполняемых операций, набор контролируемых параметров, вид ТС, математическая модель РТОП в пространстве параметров при нормальном функционировании средства.

- практическое обучение ИТП работе с неисправным оборудованием средства РТОП, при этом, помимо элементов первой части, дополнительно

включаются такие элементы, как алфавит отказов математическая модель средства РТОП в пространстве параметров при аномальном функционировании средства, набор контролируемых параметров для определения места отказа.

6. Применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы теории графов для построения математических моделей средства РТОП, позволяющие формализовать процесс функционирования средства РТОП при проведении работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Процедура построения математической модели средства РТОП содержит основные этапы:

- образование множества вершин, существенных для обеспечения нормального функционирования средства РТОП и позволяющих выявить все отказы при моделировании той или иной внештатной ситуации;
- формирование множества ребер, определяющих причинно-следственные связи между элементами множества вершин;
- отображение составленного алфавита отказов путём дополнения указанных выше множеств вершинами и ребрами, соответствующими элементам заданного алфавита;
- определение параметров математической модели средства РТОП.

Разработанная математическая модель позволяет повысить уровень информированности ИТП о состоянии средства РТОП и более эффективно преобразовать этот уровень информированности в навыки.

7. Разработана методика оценки эффективности тренажерной системы для режима «Теоретическая подготовка». Методика основана на определении показателя эффективности в виде расстояния Хемминга, количественно оценивающего уровень усвоения знаний обучаемыми.

Выполненная оценка уровня знаний ИТП показала, что уровень полученных знаний при использовании тренажерной системы в 1,5 раза превышает уровень знаний при использовании традиционных средств и форм обучения. Кроме этого, анализ различий между наибольшими и наименьшими значениями показателя эффективности в подгруппах обучаемых (ИТП) позволяет фиксировать факт более

высокого уровня устойчивости знаний у ИТП, проходящих обучение на тренажерной системе.

8. Разработана методика эффективности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов в режиме «Практическая подготовка», основанная на определении навыка, получаемого при проведении занятий на тренажерной системе.

Выполненная оценка уровня навыка обучаемого показала, что формируемый уровень навыка ИТП в значительной мере зависит от адекватности тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств РТОП. Успешно использовать тренажерную систему в режиме «Практическая подготовка» для формирования заданного уровня навыка обучаемого можно лишь при ее адекватности, превышающей 0,9. Если тренажерная система имеет адекватности ниже 0,7, то у обучаемого может быть сформирован уровень навыка не выше среднего, причем для этого потребуется достаточно большое количество практических занятий.

9. Установлено, что на потребное количество практических занятий на тренажерной системе, кроме его адекватности, существенное влияние оказывает начальный уровень навыка обучаемого. Так, значение начального навыка равное нулю соответствует случаю, когда обучаемый начинает осваивать системы РТОП на практических занятиях и учебных практиках. У обучаемого может быть сформирован только низкий уровень навыка. Для ИТП, проходящего повышение квалификации характерен низкий или средний уровень начального навыка. В этом случае число практических занятий на тренажерной системе будет определяться индивидуально для каждого обучающегося. ИТП имеющий высокий уровень начального навыка вряд ли будет нуждаться в занятиях на тренажерной системе. Здесь уместно говорить лишь о поддержании уровня навыка на заданном значении, при этом не важно будет использоваться тренажерная система или реальное средство РТОП.

10. Высокие требования к уровню навыка обучаемого в конце практического цикла обучения на тренажерной системе требуют большего количества

практических занятий и существенно зависят от индивидуальных особенностей обучаемых. Рассчитывая значение доли навыка, приобретаемого за одно практическое занятие, можно в ходе обучения корректировать индивидуальный план подготовки обучаемого.

11. Использование в системе подготовки ИТП служб ЭРТОС тренажерной системы технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов позволит вывести подготовку ИТП на качественно новый уровень, повысив при этом показатели качества эксплуатации средств РТОП и уровень безопасности полетов гражданской авиации.

Список используемых сокращений

РТОП	Радиотехническое обеспечение полетов
АС	Авиационная электросвязь
ЭРТОС	Эксплуатация радиотехнического оборудования и связи
АП	Авиационное происшествие
ИТП	Инженерно-технический персонал
УВД	Управление воздушным движением
ТрС	Тренажерная система
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт
ТО	Техническое обслуживание
ТС	Техническое состояние
МО	Математическое обеспечение
ММ	Математическая модель
ФАП	Федеральные авиационные правила
СТО	Система технического обслуживания
АОРЛ	Аэродромный обзорный радиолокатор
ТРЛК	Трассовый радиолокационный комплекс
РЛ ОЛП	Радиолокатор обзора летного поля
ВРЛ	Вторичный радиолокатор
ПО	Программное обеспечение

Список литературы

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: учеб. пособие / Р. М. Ахмедов [и др.]; ред.: С. Г. Пятко, А. И. Красов. – СПб.: Политехника, 2004. – 446 с.
2. Авиационные правила. Часть 170. Сертификация оборудования аэродромов и воздушных трасс. (АП-170). Том II. Сертификационные требования к оборудованию аэродромов и воздушных трасс. Дата актуализации: 01.02.2020.
3. **Айзиков С.Д.** Теоретические и методические основы создания экспертной системы по оценке эффективности морских тренажеров (на примере тренажеров ГМССБ). Дисс. канд.техн. наук: 05.12.13 / Айзиков Сергей Дмитриевич; Государственная морская академия имени С.О. Макарова. – СПб., 2007 – 169 с.
4. Анализ безопасности полетов. Официальный сайт Госавианадзор. // <https://avia.rostransnadzor.ru/bezopasnost--poletov/analiz-bezopasnosti-poletov>.
5. Анализ безопасности полетов при аэронавигационном обеспечении в ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» в 2018 г. // <https://gkovd.ru>.
6. **Анодина Т.Г., Мокшанов В.И.** Моделирование процессов в системе управления воздушным движением. – М.: Радио и связь, 1993. – 264 с.
7. Алгоритмы диагностирования радиоэлектронного оборудования самолета SSJ-100. Отчет по НИР №АААА-А19-119100890020-7/ Руководитель Э.А. Болелов. – М.: МГТУ ГА, 2021.
8. **Алымов В.Н.** Технические средства обучения инженерно-технического персонала воздушных судов гражданской авиации / В.Н. Алымов, С.С. Тренин, В.В. Щербак // Труды МИЭиА. Навигация и управление летательным аппаратом. – 2015. - №11 – С.29-33.
9. **Артемов А.Д.** К вопросу выбора технических средств обучения авиационного персонала гражданской авиации / А.Д. Артемов, Е.В. Максимова, М.Н. Машкин, О.Т. Романов, В.В. Щербак // Оборонный комплекс – научно-

техническому прогрессу России. – 2016. - №3 – С.64-74.

10. **Астахов Л.В., Колосов С.В.** Методика определения динамики уровня профессиональных навыков летного состава ВВС при использовании технических средств обучения. Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника», том 13, №2, 2013. – С.96-103.

11. **Бабенко В.С.** Имитаторы визуальной обстановки тренажеров летательных аппаратов. - М. Машиностроение, 1978.

12. **Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Ф.** Эксплуатация авиационных систем по состоянию. – М.: Транспорт, 1981. – 178 с.

13. **Барковский В.И., Скопец Г.М., Степанов В.Д.** Методология формирования технического облика экспортно ориентированных авиационных комплексов. /Под ред. В.И. Барковского. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 224 с.

14. **Берж К.** Теория графов и ее применение. - М.: Иностранная литература, 1962.

15. **Борисов А.Н., Алексеев А.В., Крумберг О.А.** и др. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. - Рига: Зинатне, 1982.

16. Безопасность полетов // Официальный сайт ФАВТ
//<https://www.favt.ru/dejatelnost-bezopasnost-poletov/>

17. **Бестугин А.Р., Кирина И.А., Санников В.А., Филин А.Д., Шатраков Ю.Г.** Безопасность полетов и направления развития тренажеров специалистов управления авиацией: монография. / под ред. А.Р. Бестугина – СПб.: ГУАП, 2015. – 516 с.

18. **Болелов Э.А.** Радиолокационные системы воздушного транспорта. Учебник. / Э.А. Болелов, А.И. Козлов, Э.А. Лутин, А.В. Прохоров, С.Б. Стукалов, Д.Н. Яманов. – М.: ИД Академии Жуковского, 2018. - 288 с.

19. **Болелов Э.А.** Радионавигационные системы воздушного транспорта. Учебник. / Э.А. Болелов, О.И. Завалишин, А.И. Козлов, А.Т. Кудинов, В.П. Логачев, С.Б. Стукалов. – М.: ИД Академии Жуковского, 2018. - 260 с.

20. **Болелов Э.А.** Системы наблюдения, навигации и посадки гражданской авиации. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2024 – 304 с.

21. **Болелов Э.А., Кальной М.Д.** Некооперативные системы наблюдения в А-SMGCS // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества». – М.: ИД Академия имени Н.Е. Жуковского, 2018. С.176-177.
22. **Болелов Э.А., Матюхин К.Н., Биктеева Е.Б.** Контроль технического состояния бортового радиоэлектронного оборудования, учитывающий его информационную и функциональную избыточность // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества». – М.: ИД Академия имени Н.Е. Жуковского, 2016. С.130-131.
23. **Болелов Э.А., Матюхин К.Н., Сбитнев А.В., Шалупин С.В.** Информационно-технические состояния автоматизированной системы управления воздушным движением. // Научный вестник МГТУ ГА, №217(7), 2015. С.108-112.
24. **Болелов Э.А., Цыкарев А.В., Сбитнев А.В.** Алгоритм контроля технического состояния бортового пилотажно-навигационного комплекса, учитывающий информационную избыточность комплекса. // Научный вестник МГТУ ГА, №222(12), 2015. С.175-181.
25. **Болелов Э.А., Сбитнев А.В., Шалупин С.В., Ципилев А.С., Цыкарев А.В.** Управление техническим состоянием бортового пилотажно-навигационного комплекса в полете в условиях роста интенсивности воздушного движения. // Проблемы безопасности российского общества, №3, 2015. С.44-51.
26. **Болелов Э.А., Сбитнев А.В.,** Модели выходных сигналов радионавигационных измерителей бортового комплекса применительно к условиям аномального режима их функционирования. // Проблемы безопасности российского общества, №2, 2015. С.40-45.
27. **Болелов Э.А., Матюхин К.Н., Сбитнев А.В., Шалупин С.В., Ципилев А.С.** Математические модели векторов состояния и наблюдения применительно к задаче синтеза бортовой комплексной системы определения высоты полета воздушного судна. Научный вестник МГТУ ГА, №217(7), 2015.
28. **Болелов Э.А., Сбитнев А.В., Шалупин С.В.** Математическая модель

сигналов на выходе бортовых радионавигационных систем, учитывающая их внезапные отказы. // Научный вестник МГТУ ГА, №210, 2014. С.160-162.

29. **Болелов Э.А., Шалупин С.В., Воскресенский Н.Ю., Губерман И.Б., Ещенко А.А.** Методика определения области работоспособности пилотажно-навигационного комплекса на множестве инвариантных контрольных соотношений. Авиакосмическое приборостроение, №11, 2022, с.12-18.

30. **Болелов Э.А., Шалупин С.В., Фридзон М.Б., Губерман И.Б., Рубцов В.Д.** Алгоритм управления техническими параметрами авиационных радиоэлектронных систем. Научный вестник ГосНИИ ГА, №41, 2022, с. 57-68.

31. **Болелов Э.А., Шалупин С.В., Губерман И.Б.** Задача разработки математического обеспечения компьютерной тренажерной системы для инженерно-технического персонала служб ЭРТОС. Научный вестник ГосНИИ ГА, №37, 2021, с.107-117.

32. **Борсоев В.А., Лебедев Г.Н., Малыгин В.Б., Нечаев Е.Е., Никулин А.О., Тин Пхон Чжо.** Принятие решения в задачах управления воздушным движением. Методы и алгоритмы. /Под ред. Е.Е. Нечаева. – М.: Радиотехника, 2018. – 432 с.

33. **Брисов Н.А.** Организация процесса обучения на основе нечеткой модели знаний студента. Вестник Нижегородского университета имени Лобачевского, №5(2), 2012. – С.262-265.

34. **Брахман Т.Р.** Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. - М.: Радио и связь, 1984.

35. **Будылина Е.А., Данилов А.М., Пылайкин С.А., Лапшин Э.В.** Тренажеры по подготовке операторов эргатических систем: состояние и перспективы. Современные проблемы науки и образования, №4, 2014, с.154-160.

36. Вопросы разработки автоматизированных систем обучения. Под ред. профессора В.М. Ветошкина. М.: ВАТУ, 1999.

37. **Воробьев Л.М.** Воздушная навигация. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.

38. **Воскобоев В.Ф., Мельник П.Б.** О выборе диагностических

параметров радиоэлектронных комплексов летательных аппаратов // Научный вестник МГТУ ГА, 1999, № 19.

39. **Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б.** Модели отказов. – М.: Сов. радио, 1966.

40. Глобальный аэронавигационный план на 2013-2028 гг. Doc 9750 AN/963. Издание 4-е, ИКАО, 2013.

41. Гусейнов А.Б., Маховых А.В. Методика формирования рационального облика бортового комплекса радиолокационной защиты беспилотного летательного аппарата. Научный вестник МГТУ ГА, том 20, №5, 2017, с.98-108.

42. **Годунов А.И., Кемалов Б.К., Юрков Н.К.** Обеспечение комплексной адекватности авиационных тренажеров. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион, Технические науки, №3(10), 2011. – С.15-24.

43. ГОСТ 21659-76 Тренажеры авиационные. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 10 с.

44. **Дикарев В.А., Потапов А.Н., Султанов Р.В.** Обеспечение качества применения компьютерных систем тренажа. – Балашов: Николаев, 2002.-89с.

45. **Дикарев В.А.** Об одном аспекте формирования вторичных конфликтов качества применения тренажеров военного назначения. – Вестник военного регистра, 2001, №10. – с.33-37.

46. **Дикарев В.А.** Обработка параметров системы информационного обеспечения авиационных комплексов радиоэлектронной борьбы. – Радиотехника (Журнал в журнале), 2001, №4. – с.59-64.

47. **Ильин В.А., Кирюшов Н.П.** Метод проверки тренажерных моделей на адекватность. Программные продукты и системы, №1(34), 2021. – С.61-65.

48. Исследование влияния тренажерных систем для инженерно-технического персонала на показатели качества технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Отчет по НИР №АААА-А19-119092490055-1/ Руководитель Э.А. Болелов. – М.: МГТУ ГА, 2021.

49. **Карпов Ю.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. - 400 с.

50. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
51. **Кольцов С.Е.** Тренажерный парк гражданской авиации РФ. Форум: Журнал компании АО ЦНТУ «Динамика», №1(17), 2016. – С.8-9.
52. **Красовский А.А.** Основы теории авиационных тренажёров. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
53. **Красовский А.А.** Авиационные тренажеры / А.А. Красовский и др. – М.: Изд. ВВИА им. Жуковского, 1992 – 320 с.
54. **Кристофидес Н.** Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978.
55. **Крыжановский Г.А., Плясовских А.П.** Разработка математической модели для оценки количества информации о динамической воздушной обстановке в системе УВД. Аэрокосмическое приборостроение. 2033, №6, с.62-65.
56. **Куатов Б.Ж., Куртаев С.Ж.** Оценка уровня навыков курсантов летных специальностей. Надежность и качество сложных систем, №3, 2014. – С.94-97.
57. **Марченко Л.А., Мызин М.В., Кузнецов И.В., Спиридонов А.Ю.** Технический облик беспилотной авиационной системы вертолетного типа для внесения пестицидов и удобрений. Сельскохозяйственные машины и технологии, том13, №3, 2021, с.63-69.
58. **Мистров Л.Е., Шеповалов Е.М.** Метод синтеза функционального облика авиационных многофункциональных тренажеров. Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования, 2020, №2(54), с. 47-56.
59. **Мистров Л.Е., Шеповалов Е.М.** Метод решения задачи синтеза информационно-обучающих систем управления радиоэлектронными средствами. Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования, №3(43), 2018, с.38-50.
60. **Митрофанов М.Ю.** Алгоритм обработки информации и управления в тренажерном устройстве имитации полета среднемагистрального самолета. Дисс. канд.техн. наук: 2.3.1 /Митрофанов Сергей Юрьевич; МАИ. – М., 2022. – 171 с.

61. **Новиков С.В., Шумляев В.С.** Программное обеспечение автоматизированной обучающей системы. – Минск: БГУ, 1982
62. **Нормы годности к эксплуатации гражданских аэродромов (НГЭА-92).** – Новосибирск, 1992. – 138 с.
63. **Отчеты о состоянии безопасности полетов.** // официальный сайт МАК// <https://mak-iac.org/rassledovaniya/bezopasnost-poletov>.
64. **Оркин С.Д., Прохоров И.А.** Имитационное моделирование воздушного боя истребителей. – М.: Минвуз, 2002. – 104 с.
65. **Оре О.** Теория графов. -М.: Наука, 1968.
66. **Осис Я.Я.** Минимизация числа точек контроля: Автоматическое управление. - Рига: Зинатне, 1967.
67. **Осис Я.Я., Гельфандбейн Я.А., Маркович З.П., Новожилова Н.В.** Диагностирование на граф-моделях. - М.: Транспорт, 1991.
68. **Оськин С.В.** Методические рекомендации по процедуре оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, на этапах формирования компетенций. – Краснодар: ООО «Крон», 2016 - 53 с.
69. **Потапов А.Н.** Методы и модели повышения эффективности эргатехнических компьютерных систем тренажа на основе оценки их конфликтоустойчивости: Монография. – Воронеж: ВАИУ, 2011. - 96 с.
70. **Руководство по технической эксплуатации аэродромного обзорного радиолокатора АОРЛ-85 «Экран».**
71. **Руководство по технической эксплуатации аэродромного обзорного радиолокатора АОРЛ-1АС.**
72. **Руководство по технической эксплуатации аэродромного радиолокационного комплекса «Ли́ра-А10».**
73. **Руководство по технической эксплуатации трассового радиолокационного комплекса «Утес-Т».**
74. **Руководство по технической эксплуатации трассового радиолокационного комплекса «Сопка-2».**
75. **Руководство по технической эксплуатации радиолокатора обзора**

летного поля «Атлантика».

76. Руководство по технической эксплуатации вторичного радиолокатора «Аврора 2».
77. Руководство по технической эксплуатации системы посадки СП-200.
78. Руководство по технической эксплуатации системы посадки СП-90.
79. **Рухлинский В.М.** Разработка механизма непрерывного мониторинга уровня профессиональной подготовки авиационных специалистов / В.М. Рухлинский, Л.Г. Большедворская. // Научный вестник МГТУ ГА – 2015, №214. – С.31-36.
80. **Самофалов К.Г., Слипченко В.Г.** и др. Обучающие машины, системы и комплексы. Справочник / Под ред. А.Я. Савельева. — Киев: Вища школа, 1981.
81. **Соклакова С.Ю.** Определение и оценка эффективности тренажеров для подготовки экипажей судов морского флота. МАиР, 2020, №5. – С.26-30.
82. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под общей ред. В.С.Вербы. В 2 книгах. - М.: Тропосфера, 2015. - 672 с.
83. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена Правительством РФ №1734-р от 22.11.2008.
84. Управление безопасностью полетов. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Монреаль, 2013.
85. Тренажерное устройство имитации полета самолета / Демченко О.Ф., Матвеев А.И., Попович К.Ф., Гуртовой А.И., Школин В.П., Шишкин В.В., Алымов В.Н., Щербак В.В., Шитлович В.В. Пат. 90624 Рос. Федерация. №2013502050, 16.11.2014.
86. **Харари Ф.** Теория графов. - М.: Мир, 1973.
87. **Халин А.Ф.** Концепция развития комплекса учебно-тренировочных средств для освоения вооружения, военной и специальной техники. Программные продукты и системы, №1, 2018, с.177-183.
88. **Чинючин Ю.М.** Современные тенденции и технологии обучения авиационного технического персонала для обслуживания отечественных и зарубежных воздушных судов / Ю.М. Чинючин, В.П. Берлев, Н. Ойдов, Научный

вестник МГТУ ГА, 2013, №197(11) – С.94-96.

89. **Филин А.Д., Шатраков Ю.Г.** Тренажерные комплексы радиолокационного контроля воздушного пространства: монография. Министерство образования и науки РФ. СПб.: ГКАП, 2013. – 221 с.

90. **Филин А.Д., Громов Г.Н** и др. Комплексный тренажер группы руководства полетами и летного состава / Авторское свидетельство на изобретение №248530. – М., 1987.

91. Федеральные авиационные правила «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации», приказ Минтранса РФ №128 от 31.07.2009 г.

92. Федеральные авиационные правила «Использование воздушного пространства Российской Федерации», приказ Минтранса РФ №138 от 11.03.2010 г.

93. Федеральные авиационные правила «Требования, предъявляемые к вертодромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов», приказ Минтранса РФ №91 от 13.03.2017 г.

94. Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации», приказ Минтранса РФ №297 от 20.10.2014 г.

95. **Ферстер Э., Ренц Б.** Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1983.

96. **Шалупин С.В., Болелов Э.А.** О повышении эффективности подготовки инженерно-технического состава служб ЭРТОС на основе метода компьютерной эмуляции радиооборудования. *Crede Experto*, №4, 2022, с. 56-69.

97. **Шалупин С.В.** Структура математического обеспечения тренажерных систем обучения авиационного персонала гражданской авиации. Сборник научных статей 55-х Научных чтений памяти К.Э. Циалковского, ч.1. Калуга, 2020, с.345-348.

98. **Шапкин В.С., Козлов А.И., Рубцов В.Д., Болелов Э.А. и др.** Оценка надежности средств навигации и управления воздушным движением. Монография.

/ Под ред. А.И. Козлова, В.Д. Рубцова, В.С. Шапкина. – М.: Радиотехника, 2019. – 248 с.

99. **Шанин И.И., Задорожный К.В.** Имитационная модель радиолокационной станции обнаружения и слежения. XXII Харитоновские научные чтения. Сборник научных трудов, Саров, 2022, с. 500-511.

100. **Щёголев В.Н.** Влияние уровня профессиональной подготовленности инженерно-технического состава на показатели эффективности системы технической эксплуатации и ремонта // Сборник статей 10 научно-технической конференции МВИРЭ КВ, 2006, № 10.

101. **Щёголев В.Н., Гевак Н.В.** К оценке влияния уровня профессиональной подготовленности инженерно-технического состава на показатели эффективности системы технической эксплуатации и ремонта // Научный вестник МГТУ ГА, 2006, № 93.

102. **Щербак В.В.** Методика синтеза технически средств обучения, применяемых в системе переподготовки инженерно-технического персонала, на новое воздушное судно гражданской авиации. Дисс. канд.техн. наук: 05.22.14 /Щербаков Владимир Валентинович; МГТУ ГА. – М., 2016. – 150.

103. **Шибанов Г.Н.** Количественная оценка деятельности человека в системе человек-машина. – М.: Машиностроение, 1983.

104. **Шрейдер Ю.А., Шаров А.А.** Системы и модели. - М.: Радио и связь, 1983.

105. **Юркин Ю.А.** Аэродромы, аэропорты и воздушные перевозки. – М.: «Авиа Бизнес Групп», 2009. – 154 с.

106. **Яковенко В.П.** Разработка математических моделей, комплексов программ и моделирующих стендов для систем обучения и тренировок операторов АСУ и ИУС. Дисс. канд.техн. наук: 05.13.18 /Яковенко Вячеслав Петрович; Таганрогский государственный радиотехнический университет. – Таганрог, 2006. – 178 с.

107. Алгоритмы диагностирования радиоэлектронного оборудования самолета SSJ-100. Отчет по НИР №ААА-А19-119100890020-7/ Руководитель Э.А.

Болелов. М.: МГТУ ГА, 2019.

108. Исследование влияния тренажерных систем для инженерно-технического персонала на показатели качества системы технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Отчет по НИР №ААА-А19-119092490055-1/ Руководитель Э.А. Болелов. М.: МГТУ ГА, 2019.

109. Дос 7192 ИКАО Руководство по обучению. Ч.1. D-1. «Техническое обслуживание воздушных судов» - 11 изд., 2011.

110. Дос 9625 ИКАО Руководство по критериям квалификационной оценки авиационных тренажеров. Ч.1. Самолеты. 4-е издание. 2015.

111. Дос 9868 ИКАО Правила аэронавигационного обслуживания. Подготовка персонала. - 2-е издание. 2016.

112. IATA: Требования к данным, необходимым при проектировании авиационных тренажеров (АТ), а также при определении и оценке характеристик АТ – 7-е издание. 2009.

113. IATA: Разработка авиационного технического средства обучения. Рекомендации по техническим характеристикам.

114. **Eduard Bolelov, Stepan Shalupin, Nikolay Malisov.** The Technique of Determining the Operability Scope of an Airborne Flight Navigation Complex on a Set of Invariant Control Ratios. Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation, Springer, 2021, p. 179-187. (Scopus).

Возможности специализированного тренажера ООО «Фирма НИТА»

Специализированный тренажер технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей, авиационных электросистем и ПНК, транспортного радиооборудования ООО «Фирма НИТА» предназначен для обучения студентов (курсантов) образовательных учреждений гражданской авиации по специальностям «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов», «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

Тренажер состоит из трех модулей, которые обеспечивают возможность практического выполнения инженерно-техническим персоналом процедур и операций по оценке технического состояния и поиска неисправных узлов и агрегатов для следующих видов оборудования:

- гидромеханических систем и двигателей воздушных судов при выполнении работ в кабине ВС в условиях авиатехнической базы в связи с проведением работ по техническому обслуживанию и ремонту (модуль «А»);

- оборудования авиационных электросистем, пилотажно-навигационных комплексов, бортового и наземного радиооборудования обеспечения полетов при выполнении работ в условиях лаборатории (модули «Б» и «В»);

Каждый из модулей может функционировать отдельно и включает в себя рабочее место инструктора и рабочие места обучаемых. Модуль «А» предназначен для изучения студентами (курсантами) следующих видов систем и оборудования:

- маршевый турбореактивный двигатель;

- вспомогательная силовая установка;
- система шасси ЛА;
- гидросистема ЛА;
- топливная система ЛА;
- система управления самолетом

и других.

Модули «Б» и «В» являются идентичными по составу оборудования, программного обеспечения и функциональным возможностям и предназначены для изучения студентами (курсантами) следующих видов систем бортового радиооборудования и средств РТОП:

- спутниковый навигационный приемник GPS/ГЛОНАСС;
- бортовая УКВ радиостанция;
- наземные УКВ радиостанции;
- азимутальный (VOR) и дальномерный (DME) радиомаяки;
- курсо-глиссадная система точного захода на посадку,

и других.

Подход к построению эмуляторов средств РТОП в тренажере един, поэтому рассмотрим возможности тренажера на примере эмулятора системы посадки СП-200.

Вид экрана главного интерфейса программы приведен на рисунке П.1.1.

Панель модулей имеет вид шкафа формирования сигналов, включающий несколько модулей и монитор. Основное управление маяками СП-200 осуществляется с помощью монитора. В программе-эмуляторе монитор реализован в виде отдельного окна «Дисплей».

Панель кнопок управления программой состоит из трех кнопок – «Генератор неисправностей», «Панель индикации» и «Выход». Кнопка «Панель информации» предназначена для открытия соответствующего окна (рис.П.1.2).

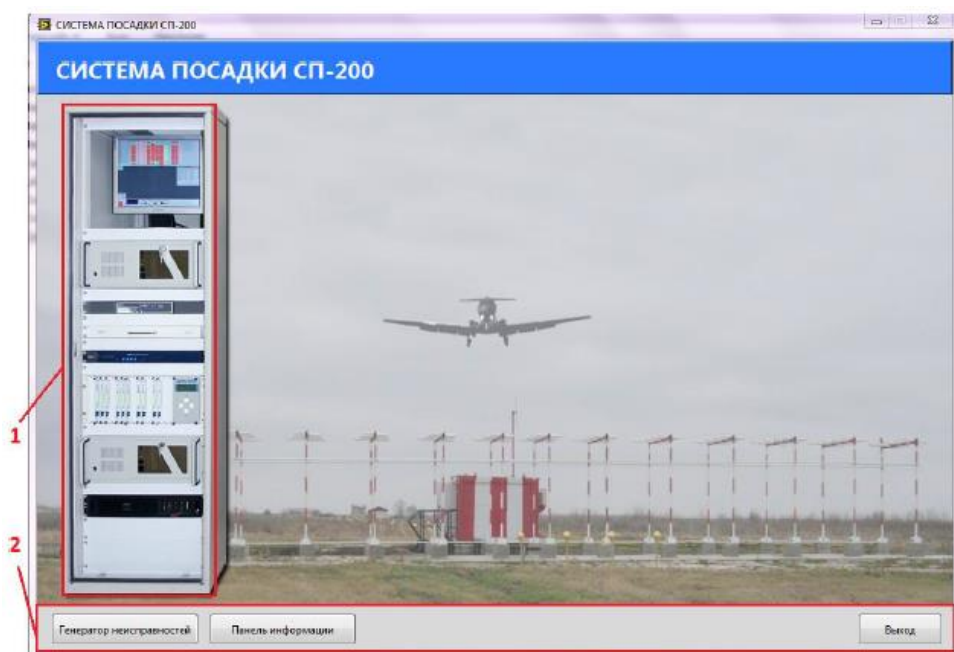


Рисунок П.1.1. Главный интерфейс программы эмулятора СП-200

1 – панель модулей, 2 – панель кнопок управления программой

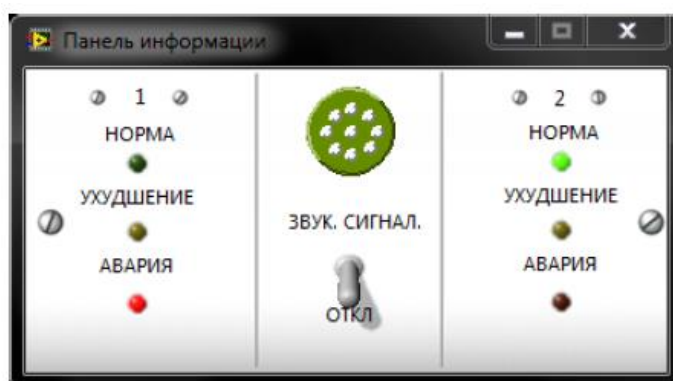


Рисунок П.1.2. Окно «Панель информации»

Панель информации используется для представления диспетчерам УВД информации о текущем состоянии радиомаяков СП-200. На панели информации расположены два комплекта индикаторов (Норма, Ухудшение, Авария), соответственно зеленого, желтого и красного цвета. Индикаторы сигнализируют о

состоянии СП-200, при этом включение тумблера «Звук. Сигнал» позволяет сопровождать появление сигналов "Ухудшение" и "Авария" звуковым сигналом.

Окно «Дисплей» — это монитор АДУ, реализованный в виде отдельного окна, на котором отображается вся информация о маяках СП-200 (рис.П.1.3).

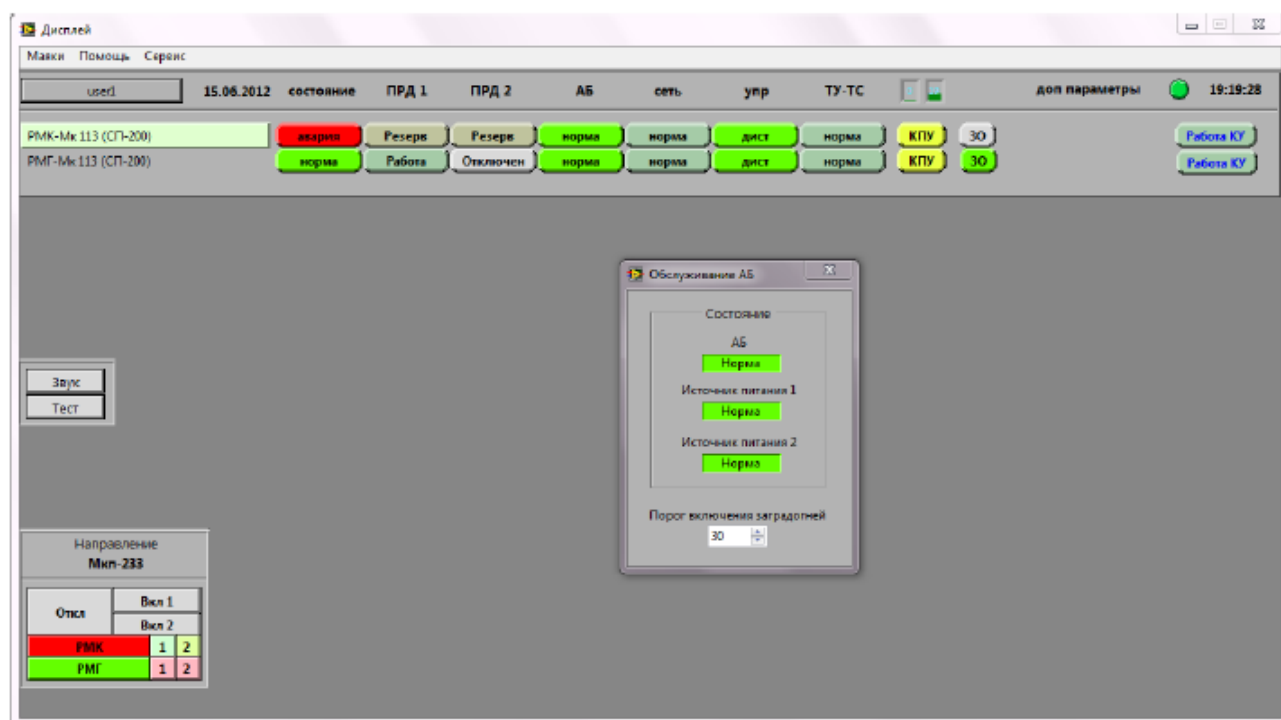


Рисунок П.1.3. Окно «Дисплей»

Нажав правой кнопкой мыши на дисплей, можно увидеть меню, которое состоит из следующих пунктов: «Конфигурирование системы», «Монитор» и «Сохранение конфигурации». Выбор делается с помощью нажатия левой кнопки мыши на соответствующей строке.

Для обучаемых доступна частичная возможность конфигурирования ПО Мульти-консоль, которая не затрагивает критических участков программы, влияющих на устойчивую работу АДУ. Для вызова конфигурации необходимо после входа в систему нажать правую кнопку мыши и в появившемся меню выбрать пункт Конфигурация системы (рис.П.1.4).

В левом меню окна «Конфигуратор системы» отображаются возможные окна конфигурации, которые могут быть выбраны обучаемым нажатием на них левой

клавишей мыши. Конфигуратор системы состоит из шести вкладок: «О программе», «Маяки», «Пользователи», «Панель», «Направления», «Панели».

Рассмотрим наиболее важные из них.

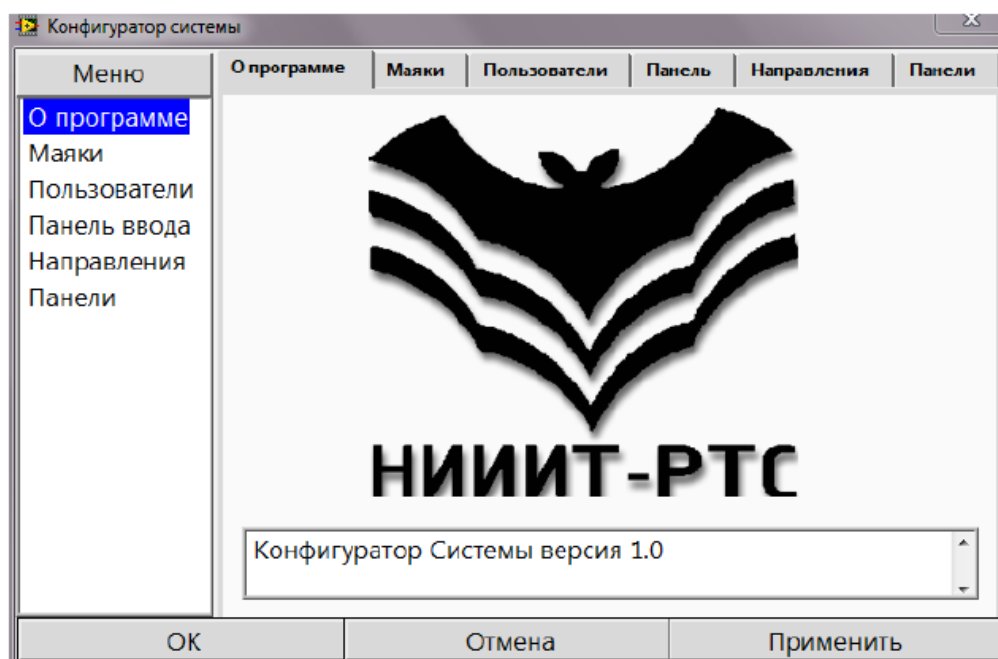


Рисунок П.1.4. Окно «Конфигуратор системы»

Панель «Маяки» (рис.П.1.5) позволяет конфигурировать доступ к радиомаяку СП-200. На этой странице находятся списки радиомаяков и их пользователей. Для каждого радиомаяка заданы свойства, которые можно посмотреть, нажав кнопку Свойства. На странице «Свойства маяка» описывается курсовой и глассадный радиомаяк системы СП-200 (рис.П.1.6).

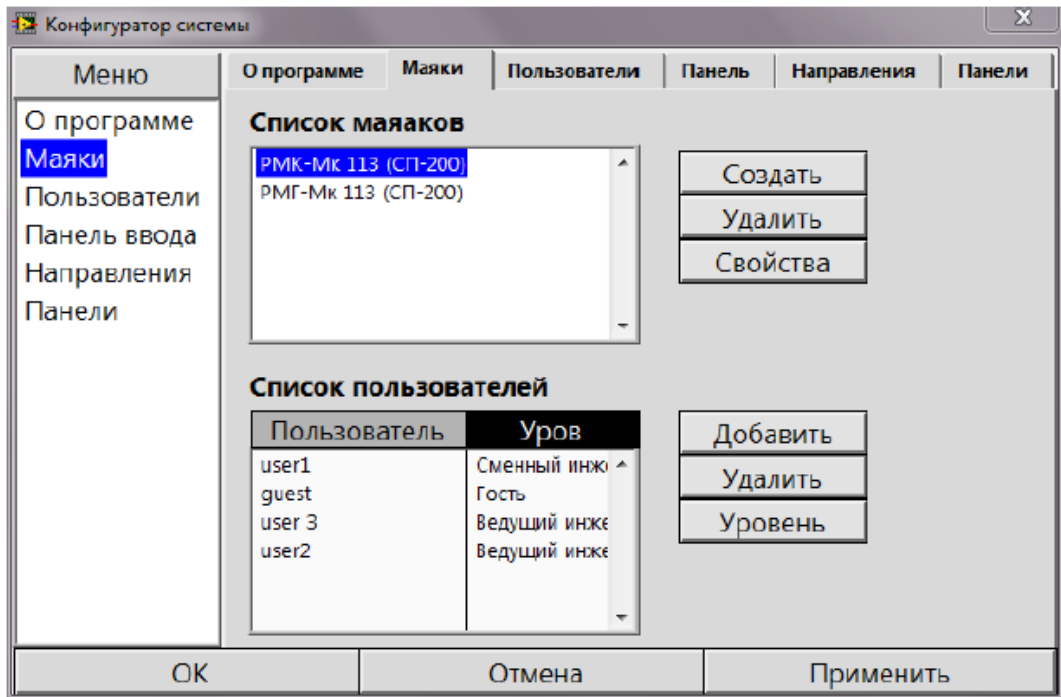


Рисунок П.1.5. Вид окна «Конфигуратор системы» («Маяки»)

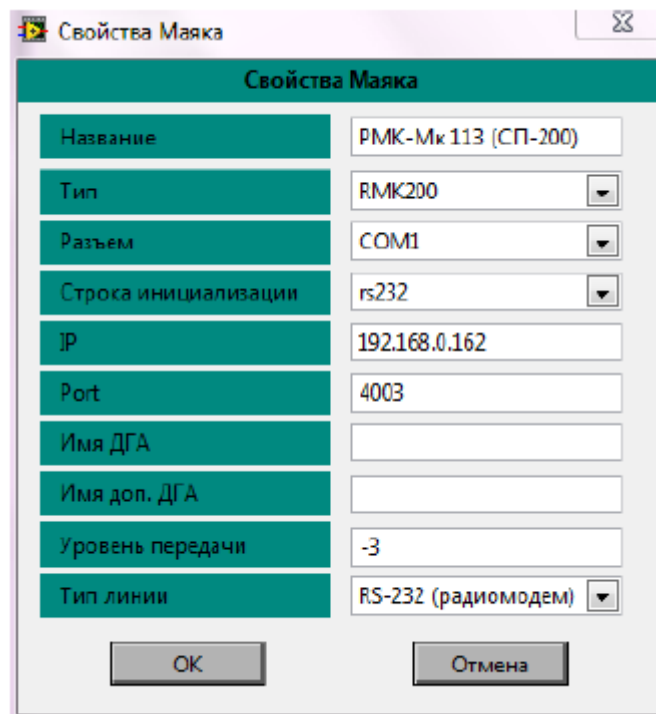


Рисунок П.1.6. Вид окна «Свойства маяка»

В первой строке «Название» можно выбрать название выбранного маяка. Строка «Тип» позволяет выбрать тип маяка. В разделе «Разъем» можно выбрать разъем маяка: COM1, COM2, MOXA1, MOXA2 или IP. «Строка инициализации» используется для инициализации, возможны следующие значения: rs 232 и at.

Строка «IP» задает IP номер маяка, а строка «Port» – порт маяка. «Уровень передачи» разрешает ввести уровень передачи данного маяка. Последняя строка «Тип линии» позволяет выбрать тип линии: 2-х проводной модем, 4-х проводной модем, RS-232 (радиомодем), или ДГУ.

Панель "Пользователи". Эта панель позволяет управлять пользователями системы. Для каждого пользователя заданы свойства, которые можно посмотреть, нажав кнопку «Свойства» (рис.П.1.7).

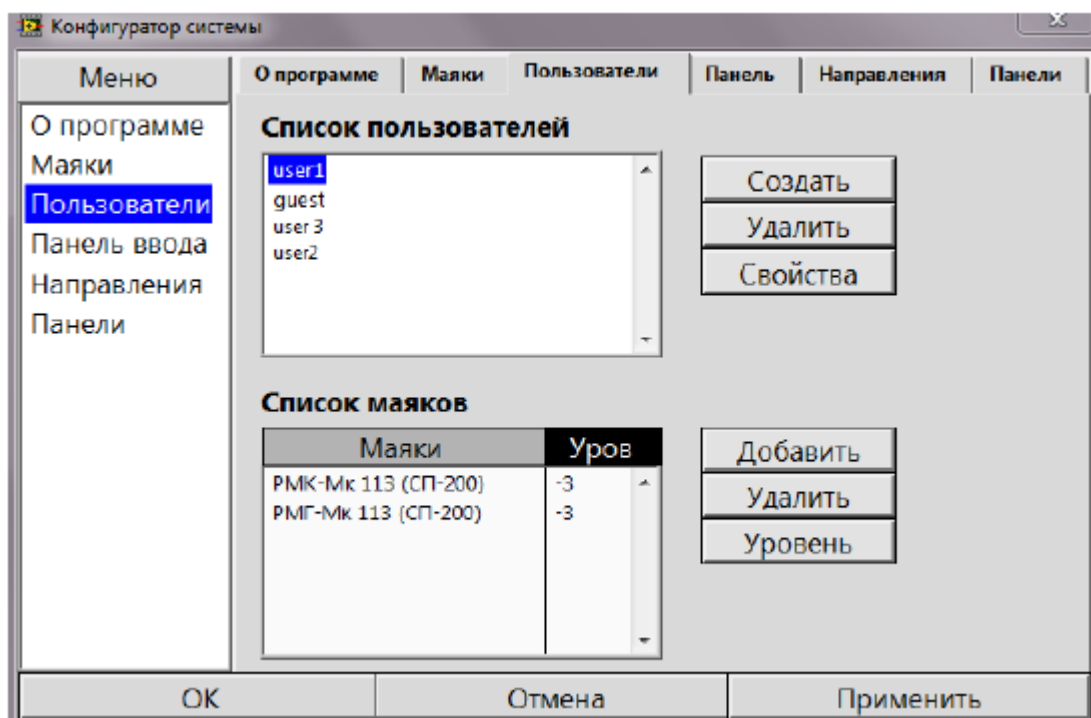


Рисунок П.1.7. Вид окна «Конфигуратор системы» («Пользователи»)

В состав программы эмуляции СП-200 входит приложение «Монитор», предназначенное для эмуляции контроля и управления радиомаяками и направлениями. Приложение «Монитор» состоит из нескольких окон (рис.П.1.8), которые выводятся на окне «Дисплей»: основное окно; управление звуком; окно направлений.

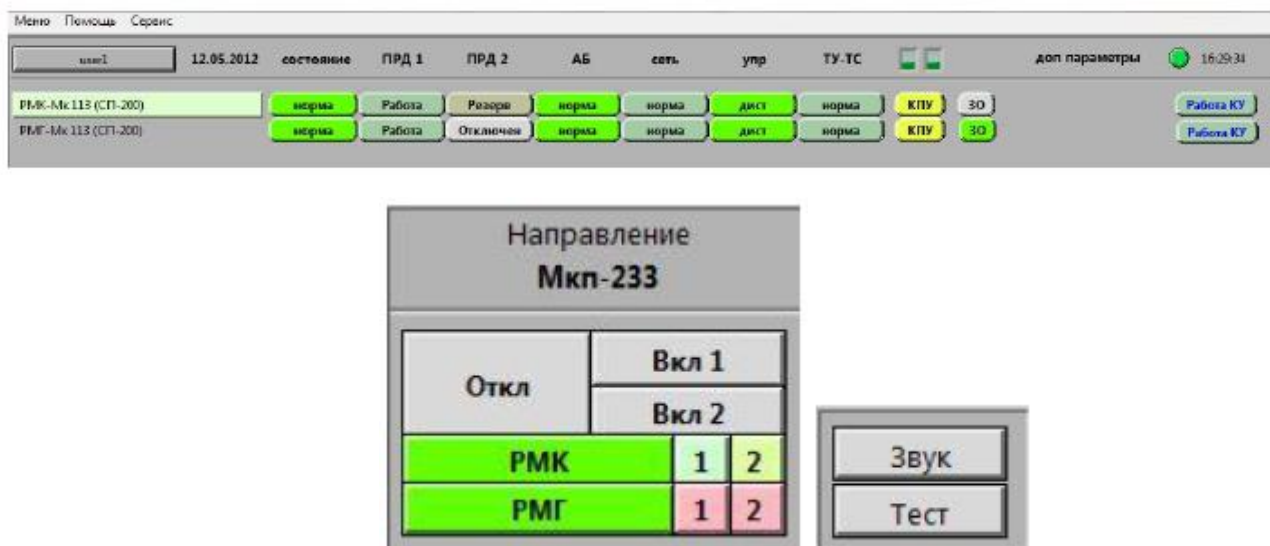


Рисунок П.1.8. Окна приложения «Монитор»

Основное окно предназначено для отображения состояния радиомаяков, а также для ускоренного управления некоторыми важными функциями (включение/отключение передатчиков, обхода КУ и т.д.).

Окно аварийной сигнализации индицирует включенную аварийную сигнализацию и управляет звуком. При возникновении аварии или ухудшения состояния одного из радиомаяков включается аварийная сигнализация. Звук выдается в стандартный динамик ПК и/или звуковые колонки.

Окно Направление предназначено для управления всеми радиомаяками, входящими в одно направление. Все радиомаяки в системе могут подразделяться по направлениям магнитного курса посадки. Также можно увидеть состояния входящих в направление радиомаяков.

В разделе «Маяки» основного меню возможно выбрать одно из действий с радиомаяками (рис.П.1.9).

Используя пункты данного меню обучаемый может:

- контролировать состояние КУ (рис.П.1.10);
- контролировать параметры радиомаяка (рис.П.1.11);
- запускать тесты встроенного контроля (рис.П.1.12);
- просматривать аварийные состояния (рис.П.1.13);
- просматривать системные события (рис.П.1.14) и др.

Важнейшей частью программы эмулятора СП-200 является возможность симулирования отказов и неисправностей. Эту функцию выполняет программой модуль «Генератор неисправностей». Модуль «Генератор неисправностей» обеспечивает симулирование отказов и неисправностей, которые дают возможность обучаемому изучить поведение различных индикаторов СП-200 в течение присутствия отказа или неисправности.

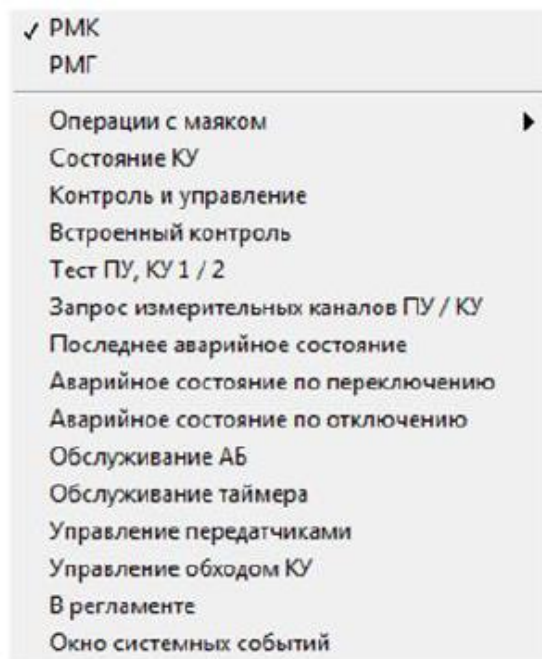


Рисунок П.1.9. Меню раздела «Маяки»

	Зона аперт УК	Зона выносная	Крутизна аперт УК	Крутизна аперт ШК	Крутизна УК рез	Крутизна ШК рез
КУ 1	СГМ	СГМ	СГМ	СГМ	СГМ	СГМ
	РГМ	РГМ	РГМ	РГМ	РГМ	РГМ
	УрВЧ	УрВЧ	УрВЧ	УрВЧ	УрВЧ	УрВЧ
КУ 2	СГМ	СГМ	СГМ	СГМ	СГМ	СГМ
	РГМ	РГМ	РГМ	РГМ	РГМ	РГМ
	УрВЧ	УрВЧ	УрВЧ	УрВЧ	УрВЧ	УрВЧ

Рисунок П.1.10. Окно «Состояние КУ»

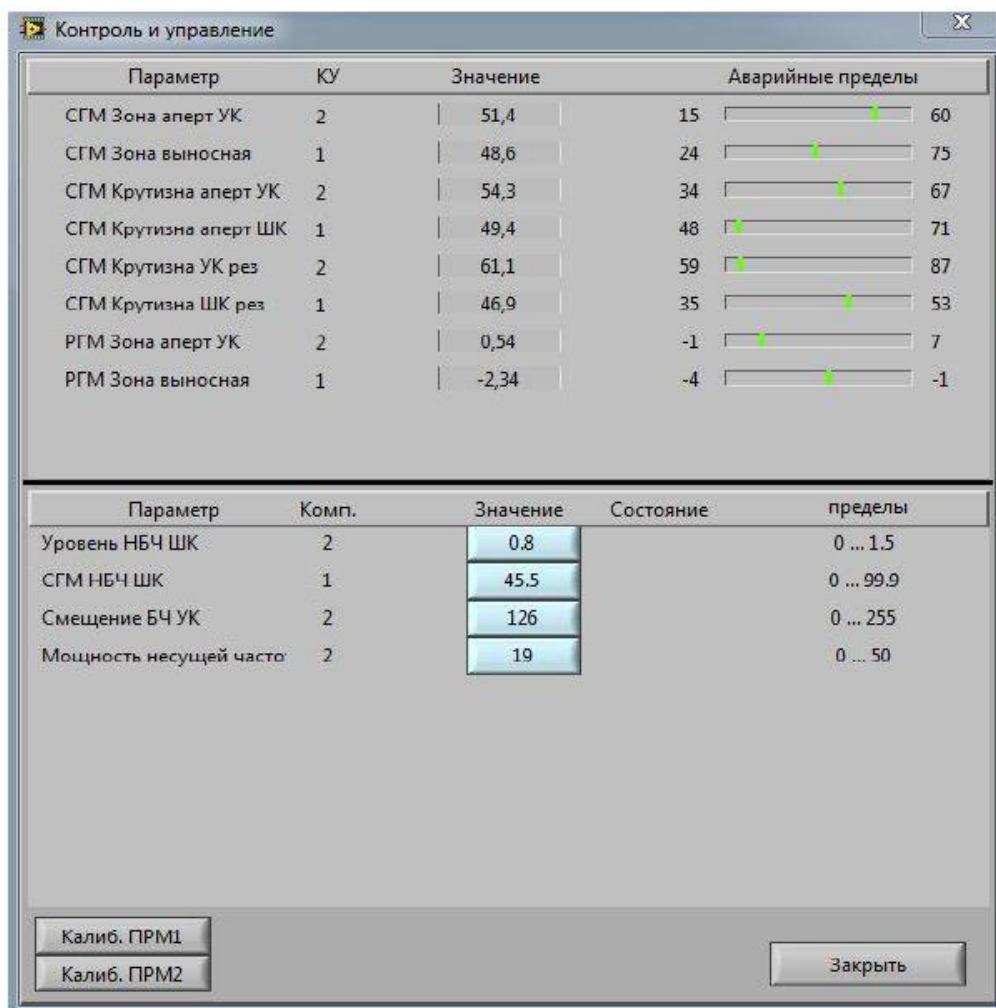


Рисунок П.1.11. Окно «Контроль и управление»

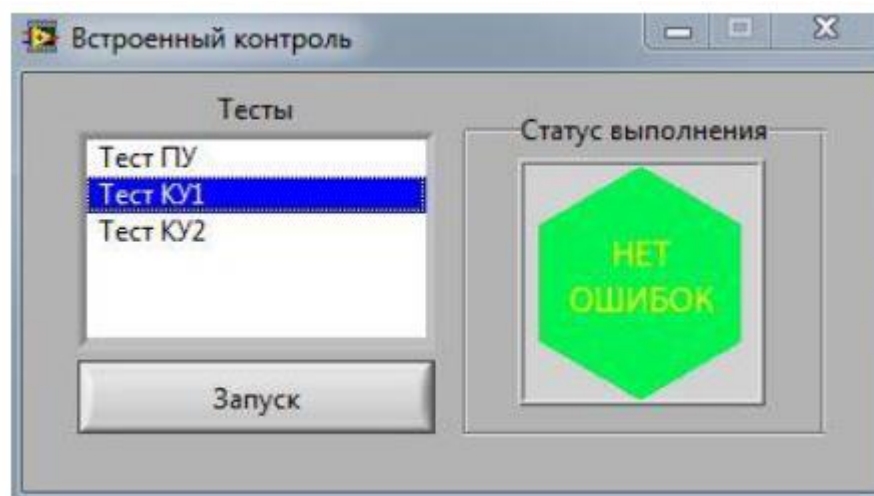
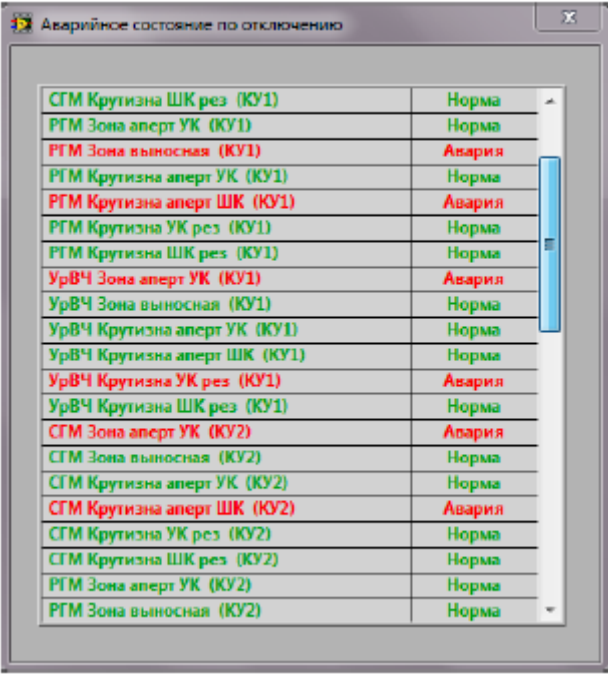


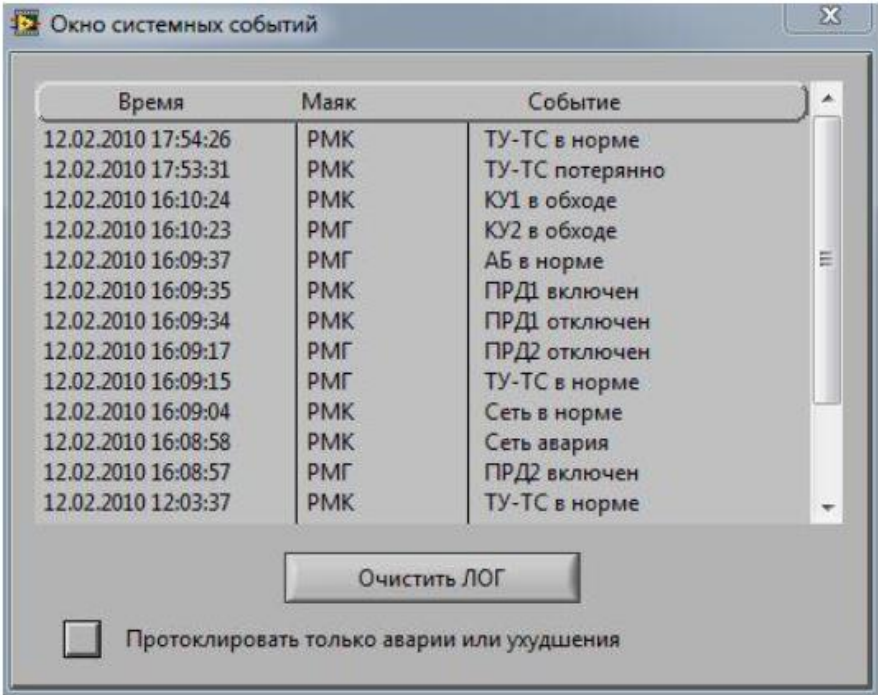
Рисунок П.1.12. Окно «встроенный контроль»



Аварийное состояние по отключению

СГМ Крутизна ШК рез (КУ1)	Норма
РГМ Зона аперт УК (КУ1)	Норма
РГМ Зона выносная (КУ1)	Авария
РГМ Крутизна аперт УК (КУ1)	Норма
РГМ Крутизна аперт ШК (КУ1)	Авария
РГМ Крутизна УК рез (КУ1)	Норма
РГМ Крутизна ШК рез (КУ1)	Норма
УрВЧ Зона аперт УК (КУ1)	Авария
УрВЧ Зона выносная (КУ1)	Норма
УрВЧ Крутизна аперт УК (КУ1)	Норма
УрВЧ Крутизна аперт ШК (КУ1)	Норма
УрВЧ Крутизна УК рез (КУ1)	Авария
УрВЧ Крутизна ШК рез (КУ1)	Норма
СГМ Зона аперт УК (КУ2)	Авария
СГМ Зона выносная (КУ2)	Норма
СГМ Крутизна аперт УК (КУ2)	Норма
СГМ Крутизна аперт ШК (КУ2)	Авария
СГМ Крутизна УК рез (КУ2)	Норма
СГМ Крутизна ШК рез (КУ2)	Норма
РГМ Зона аперт УК (КУ2)	Норма
РГМ Зона выносная (КУ2)	Норма

Рисунок П.1.13. Окно «Аварийное состояние»



Окно системных событий

Время	Маяк	Событие
12.02.2010 17:54:26	РМК	ТУ-ТС в норме
12.02.2010 17:53:31	РМК	ТУ-ТС потерянно
12.02.2010 16:10:24	РМК	КУ1 в обходе
12.02.2010 16:10:23	РМГ	КУ2 в обходе
12.02.2010 16:09:37	РМГ	АБ в норме
12.02.2010 16:09:35	РМК	ПРД1 включен
12.02.2010 16:09:34	РМК	ПРД1 отключен
12.02.2010 16:09:17	РМГ	ПРД2 отключен
12.02.2010 16:09:15	РМГ	ТУ-ТС в норме
12.02.2010 16:09:04	РМК	Сеть в норме
12.02.2010 16:08:58	РМК	Сеть авария
12.02.2010 16:08:57	РМГ	ПРД2 включен
12.02.2010 12:03:37	РМК	ТУ-ТС в норме

Очистить ЛОГ

☐ Протоклировать только аварии или ухудшения

Рисунок П.1.14. Окно системных событий

Работа с модулей осуществляется с помощью окна «Генератор неисправностей». Для примера на рисунке П.1.15 приведен пример окон модуля «Генератор неисправностей» для курсового радиомаяка.

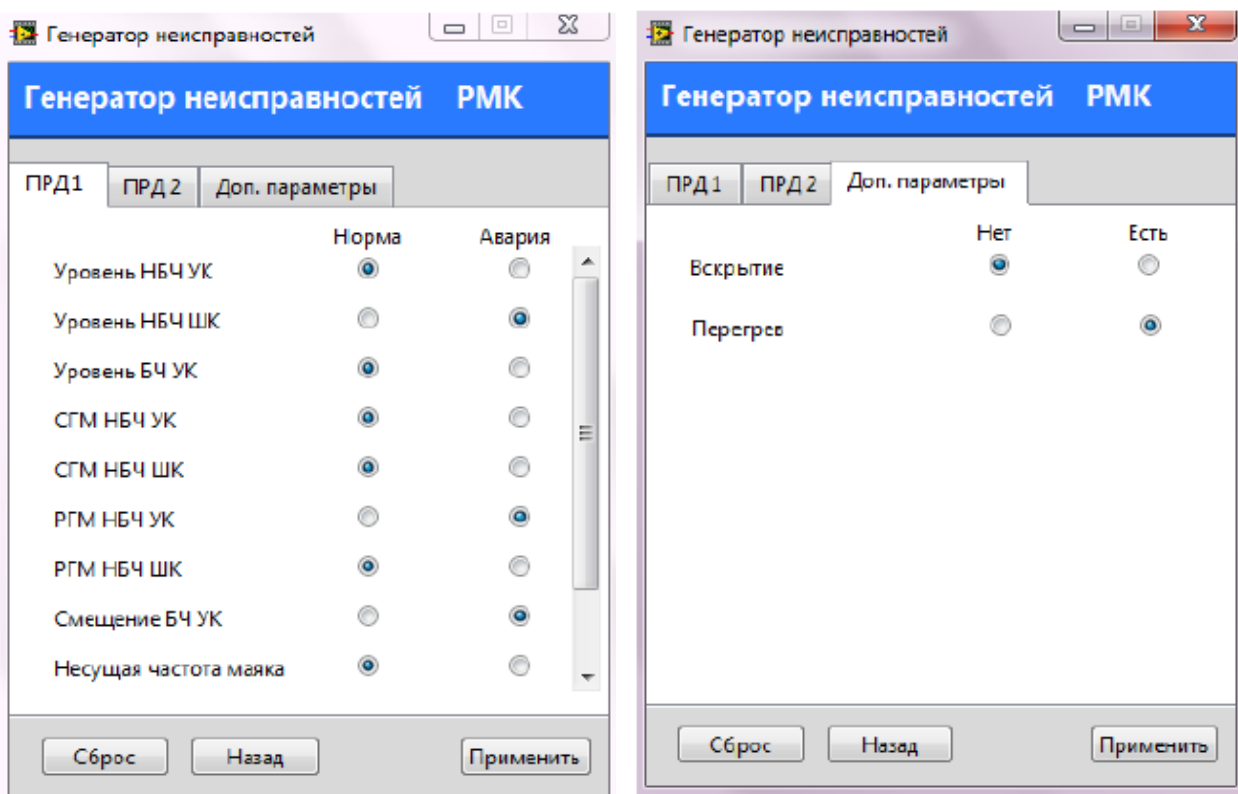


Рисунок П.1.15. Окно «Генератор неисправностей» (для РМК)

Инструктор выбирает для обучаемого конкретную неисправность из имеющегося перечня. Обучаемый должен изучить поведение индикаторов СП-200 при наличии этой неисправности. По сути, обучаемый должен наблюдать на информационных окнах реакцию СП-200 на данную неисправность. В модуле «Генератор неисправностей» не предусмотрена возможность генерации случайного отказа (хотя бы из имеющегося списка!) с последующей отработкой действий обучаемого по его обнаружению и локализации. Кроме этого, перечень возможных неисправностей крайне ограничен.

Таким образом, специализированный тренажер ООО «Фирма НИТА» позволяет изучить средство РТОП, познакомиться с процедурами управления

средством, настройкой параметров, но не пригоден для формирования навыков ТО и поиска неисправностей.