

*На правах рукописи*



**ОСТАПЧЕНКО Юрий Борисович**

**МОДЕЛИ И СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА НАЗЕМНЫХ  
СЛУЖБ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ ПО  
ВЫХОДУ ИЗ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ**

05.22.14. – Эксплуатация воздушного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена на кафедре радиоэлектронных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»

Научный  
руководитель

**КУДРЯКОВ Сергей Алексеевич**,  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник,  
ФГБОУ ВО СПбГУ ГА,  
заведующий кафедрой  
радиоэлектронных систем

Официальные  
оппоненты

**МИРОНОВ Андрей Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
ВКА имени А. Ф. Можайского,  
профессор кафедры конструкции  
ракет-носителей и ракетных двигателей

**РЫБКИН Павел Николаевич**,  
кандидат технических наук, доцент  
АО «НПО «СПАРК»,  
генеральный директор

Ведущая  
организация

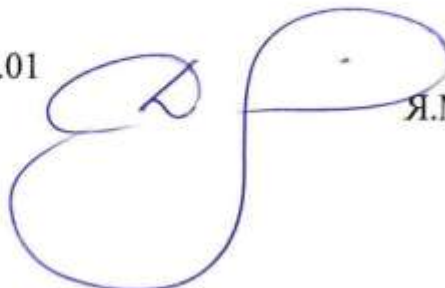
**ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный университет  
аэрокосмического приборостроения»**

Защита диссертации состоится «02» июня 2017 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 223.012.01 на базе Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации по адресу: 196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38, ауд. 334.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте <http://spbguga.ru/root/main/ob-yavleniya-o-zashchite-dissertatsij/>

Автореферат разослан «\_\_» апреля 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 223.012.01  
кандидат технических наук, доцент



Я.М. Далингер

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Государственная программа «Развитие транспортной системы» и реализуемая в ее рамках подпрограмма «Гражданская авиация и аэронавигационное обслуживание», Федеральные целевые программы «Развитие транспортной системы России (2010 – 2020 годы)», «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (2009 – 2020 годы)» одной из ключевых целей определяют обеспечение безопасности на транспорте, а одним из основных направлений решения данной задачи – повышение безопасности полетов (БП) и эффективности использования воздушного пространства Российской Федерации.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) в своем программном документе «Глобальный аэронавигационный план на 2013 – 2028 гг.» повышение уровня безопасности полетов мировой гражданской авиации определяет как одну из важнейших стратегических целей.

Чтобы обеспечить требуемый уровень БП, необходимо в том числе минимизировать степень влияния эксплуатирующего персонала, задействованного в контурах управления процессом подготовки и применения воздушных судов (ВС) и управления воздушным движением (УВД). Пока этого сделать не удастся, необходимо добиться максимально возможного уровня автоматизации процессов наземной и летной эксплуатации ВС, а также требуемого уровня обученности пилотов ВС, внешних пилотов беспилотных летательных аппаратов, персонала наземных служб эксплуатации, прежде всего – диспетчеров УВД, инженерно-авиационной службы (ИАС), службы эксплуатации радиотехнического оборудования и авиационной электросвязи (ЭРТОС) и др. Одним из направлений снижения влияния человеческого фактора является создание высокоавтоматизированных систем, логическим развитием которых в будущем будет беспилотный полет, что обуславливает все более широкое развитие и применение беспилотных авиационных систем (БАС), получивших в последнее время бурное развитие как за рубежом, так и в нашей стране.

По данным ИКАО в ближайшие 20 лет авиакомпании увеличат свой парк новых самолетов на 25 000 ед.; к 2026 году потребуется порядка 480 000 новых техников для обслуживания этих самолетов и более 350 000 пилотов, чтобы летать на них. ИКАО, рассматривая проблему «нового поколения авиационных специалистов» (NGAP), исходит из того, что оно является трудно обучаемым традиционными методами, и решить проблему его обучения возможно с использованием современных информационных технологий, в т.ч. дистанционного обучения, виртуальной реальности, средств визуализации, интерактива и т.д.

Для подготовки пилотов, диспетчеров УВД перечисленные технологии достаточно широко применяются в учебно-тренировочных средствах (УТС) (симуляторы, процедурные и комплексные тренажеры и т.д.). Для персонала же наземных служб (ЭРТОС, ИАС и др.) подобного рода современные УТС не получили широкого распространения. При этом роль данных служб очень велика, т.к. от качества

подготовки ВС на земле (технической (наземной) эксплуатации ВС), а также от качества и надежности радиотехнического обеспечения полетов (РТОП) и авиационной электросвязи в большой степени зависит БП ВС.

Значительный положительный опыт разработки, изготовления и применения УТС на основе современных информационных технологий (автоматизированных обучающих систем – АОС) накоплен для персонала наземных служб, эксплуатирующего ракетно-космическую технику (РКТ).

Анализ профессиональной деятельности персонала наземных служб (ЭРТОС, ИАС) и персонала, эксплуатирующего РКТ (ракетно-космические комплексы (РКК) и наземный автоматизированный комплекс управления (НАКУ)), показывает высокую степень их сходства. Несмотря на различия в назначении, конструкции, принципах действия пилотируемых, дистанционно пилотируемых, беспилотных ВС и РКТ, можно выделить общие черты процессов их эксплуатации, которые дают основание объединить их в один класс – комплексы авиационной и ракетно-космической техники (АРКТ). Поэтому представляется целесообразным распространение положительного опыта разработки и применения АОС из РКТ на воздушный транспорт (ВТ) с учетом внесения соответствующих коррективов, учитывающих особенности авиационной техники (АТ) и ее эксплуатации.

Важным аспектом эксплуатации АРКТ является возникновение нештатных ситуаций (НшС), под которыми понимаются ситуации, при которых состояние объекта деятельности характеризуется любым отклонением от заданной (штатной) программы функционирования и может привести к аварийной ситуации. Авиационные события (авиационные происшествия (АП) и инциденты (АИ), наземные происшествия (НП) с ВС) рассматриваются как последствия возникновения и развития НшС, а также решений, принимаемых по выходу из них.

Анализ показывает, что значительная часть АП происходит вследствие нарушений со стороны персонала наземных служб, что, в свою очередь, обусловлено недостаточной профессиональной подготовкой. Поэтому руководящие документы в области гражданской авиации определяют задачу совершенствования профессиональной подготовки персонала как одну из ключевых. Современная система профессиональной подготовки персонала в области эксплуатации АРКТ в целом предусматривает рассмотрение НшС и порядка выхода из них. При этом недостаточное внимание уделяется обучению действиям в непредвиденных (не встречавшихся ранее, не описанных в эксплуатационной документации) НшС.

Одной из основных систем человека, определяющих его поведение в НшС, является когнитивная. Поэтому развитие именно когнитивных компетенций наземного персонала АРКТ при действиях в условиях возникновения непредвиденных НшС является актуальной задачей. Эту задачу предполагается решить с использованием комплексной автоматизированной обучающей системы для профессиональной подготовки персонала АРКТ (КАОС).

**Степень разработанности и методологические основы исследования.** В области разработки авиационных тренажеров следует выделить фундаментальные и прикладные работы А.А. Красовского, В.А. Боднера, Р.А. Закирова; в области

разработки стратегий автоматизированного обучения и моделей интеллектуальных компьютерных АОС – труды В.Н. Дозорцева, П.Д. Рабиновича, Н.К. Юркова; в области инженерной психологии и человеческого фактора – труды П.К. Анохина, Н.А. Бернштейна, Б.Ф. Ломова; в области математического моделирования процессов обучения и количественной оценки результатов формирования знаний, навыков и компетенций – работы П.П. Чабаненко, Д.А. Новикова, А.П. Орлова; в области организации воздушного движения, моделирования транспортных процессов – работы Г.А. Крыжановского; в области обеспечения безопасности полетов, оценивания и управления рисками возникновения авиационных происшествий и инцидентов – труды Е.А. Куклева; в области разработки математических моделей возникновения опасных ситуаций и их развития в происшествия – труды В.И. Ярополова, О.В. Краснова. Наименее разработанной остается область исследований, связанная с моделированием ситуаций, которые могут привести к происшествиям, и обоснованием решений по выходу из таких ситуаций.

**Объектом исследования** в диссертационной работе является обеспечение безопасности полетов.

**Предмет исследования** – процесс профессиональной подготовки (переподготовки, повышения квалификации) наземного персонала, эксплуатирующего АРКТ, к действиям в НшС с применением АОС.

**Цель исследования** – повышение обоснованности решений, принимаемых специалистами по наземной эксплуатации АРКТ при возникновении НшС.

**Научная задача, решаемая в диссертации** – на основе анализа профессиональной деятельности и порядка подготовки наземного персонала, эксплуатирующего АРКТ, разработать научно-методический аппарат обучения действиям в НшС на основе КАОС, включающий модели развития НшС, принятия обоснованных решений и методику формирования когнитивных компетенций по выходу из них.

Для достижения цели в работе проведены исследования в следующих **направлениях**:

1) анализ профессиональной деятельности и подготовки персонала наземных служб эксплуатации АТ и РКТ, анализ существующих автоматизированных обучающих систем (АОС), используемых при подготовке специалистов по эксплуатации АРКТ, и обоснование основных направлений реализации комплексного подхода к разработке АОС;

2) разработка концепции и структурно-функциональной модели КАОС;

3) разработка модели возникновения и развития непредвиденной НшС;

4) разработка модели принятия обоснованных решений по выходу из непредвиденных НшС, возникающих при эксплуатации АРКТ, в условиях неравномерного во времени поступления апостериорной информации;

5) разработка методики использования КАОС для профессиональной подготовки (переподготовки, повышения квалификации) наземного персонала АРКТ;

6) проведение экспериментальных исследований по сравнительной оценке влияния КАОС на результативность процесса профессиональной подготовки и уровень обученности наземного персонала АРКТ.

**Методы исследования.** При выполнении диссертационной работы были использованы методы теории принятия решений, математический аппарат теории игр, теории вероятностей, теории нечетких множеств, вероятностно-статистические методы.

**Научная новизна работы** состоит в следующем:

1. Разработана новая древовидная модель развития НшС, учитывающая многошаговый процесс принятия решений в ситуационном времени, что позволяет, в отличие от классических моделей принятия решений, учесть возможность появления промежуточной информации и ее использования в ходе управления выходом из НшС.

2. Разработана методика обучения персонала наземных служб эксплуатации АРКТ когнитивным компетенциям по выходу из непредвиденных НшС в условиях неравномерного во времени поступления апостериорной информации, отличительной особенностью которой является учет целевой установки выхода из НшС и связанная с этим более полная оценка возможных последствий НшС при принятии решения.

3. Разработана концепция и реализующая ее структурно-функциональная модель четырехкомпонентной КАОС, включающей в свой состав компоненты обучения, тестирования, поддержки принятия решений в непредвиденных НшС, сопровождения процесса эксплуатации и позволяющей, во-первых, повысить степень обоснованности решений по выходу из них, во-вторых, сократить время адаптации специалиста на рабочем месте за счет сокращения процесса переноса навыков.

**Теоретическая значимость** работы обусловлена разработкой моделей подготовки и принятия решений в сложных ситуациях с учетом необходимости использования не только априорной, но и апостериорной информации, что является вкладом в теорию принятия решений. Кроме того, разработанная методика обучения эксплуатационного персонала когнитивным компетенциям и модель КАОС являются вкладом в теорию обучения.

**Практическая значимость** работы определяется следующими положениями:

1. Разработан обобщенный подход к созданию КАОС для подготовки персонала по эксплуатации АРКТ, который может быть использован для профессиональной подготовки персонала службы ЭРТОС, ИАС, НАКУ, РКК.

2. Разработана концепция и реализующая ее модель КАОС, которая может быть использована для решения прикладных задач управления персоналом АРКТ: профессиональная подготовка, переподготовка, повышение квалификации, допуск к работе.

3. Разработана и зарегистрирована программа для ЭВМ «Программа комплексного автоматизированного обучения персонала наземных служб, эксплуатирующего авиационную и ракетно-космическую технику».

4. Полученные результаты доведены до инженерных методик, использованных при создании и внедрении более 70 тренажерных моделей в 10 проектах, реализованных на крупнейших отечественных предприятиях промышленности и

космодромах, что подтверждается соответствующими актами о внедрении и использовании материалов диссертации.

**Обоснованность и достоверность** результатов исследования подтверждается:

1. Применением апробированных и признанных научным сообществом методов математического моделирования и анализа эксплуатационных процессов и процессов профессиональной подготовки на основе теории игр, теории нечетких множеств, теории управления.

2. Статистически подтвержденными данными проведенных экспериментов по оценке уровня профессиональной подготовки персонала наземных служб эксплуатации АРКТ в части принятия решений по выходу из НшС с использованием КАОС в сравнении с традиционной методикой обучения.

3. Off-line моделированием возникновения и развития НшС, имевших место при наземной эксплуатации РКТ, в ходе которого были выявлены неверные решения руководителей процесса, а также обоснованы корректные действия на каждом этапе принятия решения по выходу из этих НшС.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Использование в образовательном процессе четырехкомпонентной КАОС для персонала наземных служб эксплуатации АРКТ, включающей в свой состав модули обучения, тестирования, поддержки принятия решений и сопровождения реального процесса эксплуатации, позволяет значительно повысить уровень профессиональной подготовки.

2. Модификация древовидной модели развития НшС, учитывающая этапы поступления в ситуационном времени апостериорной информации, являющейся следствием принятых на предыдущих этапах решений, позволяет увеличить мощность множества принимаемых во внимание возможных сценариев развития непредвиденных НшС, что увеличивает арсенал возможных вариантов действий для лица, принимающего решение (ЛПР).

3. Формирование когнитивных компетенций персонала наземных служб эксплуатации АРКТ по выходу из непредвиденных НшС на основе разработанной модели развития НшС и модели принятия решения приводит к значимо меньшему количеству ошибок, допускаемых ЛПР, при реализации мероприятий по выходу из НшС.

**Апробация** диссертационной работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на 7 научных конференциях, в т.ч.: Международная научно-теоретическая конференция, посвященная 110-летию со дня основания Петербургского политехнического университета (СПб., 2009 г.), XI Всероссийская научно-практическая конференция «Управление качеством» (М., 2012 г.); Научно-практическая конференция МИЭП при МПА ЕврАзЭС (СПб., 2013 г.); III международная научно-практической конференция «Человек и транспорт. Эффективность. Безопасность. Эргономика» (СПб., 2014 г.); Международная научно-практическая конференция «Бизнес технологии в России: теория и практика» (Саратов, 2015); II Международная научно-практической конференция «Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории» (Саратов, 2015);

II международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы современного образования» (Саратов, 2016).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 28 научных статей, в том числе 9 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 189 страницах машинописного текста, содержит 13 таблиц и 38 рисунков. Список литературы включает 163 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, определены объект и предмет исследования, цель и направления решения поставленной задачи, раскрыты научная новизна и практическая значимость результатов исследования.

**В первой главе** рассмотрены основные особенности эксплуатации АТ и РКТ, выявлены их общие черты и различия. На основе анализа деятельности специалистов по эксплуатации АТ и РКТ сделан вывод о значительной схожести процессов их эксплуатации и профессиональной деятельности эксплуатирующего персонала.

Установлено, что одной из основных особенностей эксплуатации АРКТ является частое возникновение НшС, выход из которых обуславливает необходимость принятия решения. Сделан вывод о возможности единого подхода к подготовке специалистов по эксплуатации АРКТ. При этом целесообразно использовать опыт использования АОС, накопленный в ракетно-космической отрасли, для подготовки специалистов по наземной эксплуатации АТ.

Проведен анализ НшС, возникающих при эксплуатации АРКТ, дана их классификация по скорости развития НшС, степени определенности выхода из НшС, последствиям, степени выполнения целевой задачи. Установлено, что наименее исследованными являются непредвиденные НшС, что предполагает необходимость их учета в процессе подготовки эксплуатирующего персонала.

Проанализированы основные достоинства и недостатки АОС, используемых при подготовке специалистов по эксплуатации АРКТ. Сделан вывод, что одно из основных направлений совершенствования АОС базируется на концепции КАОС, позволяющей не только представить в интегрированном виде материалы, необходимые для учебного процесса, но и обеспечить оперативный доступ обучающимся к требуемой для решения прикладных профессиональных задач информации.

Сформулирована целевая установка исследования, охарактеризованы решаемые в работе задачи, определена их логическая взаимосвязь для достижения цели.

**Вторая глава** посвящена разработке концепции КАОС, реализующей ее структурно-функциональной модели и методического обеспечения ее использования.



Предложенная концепция КАОС позволяет объединить разрозненные решения и сформировать комплексную систему, обеспечивающую решение задач профессиональной подготовки персонала наземных служб эксплуатации АРКТ, а также аттестации персонала, автоматизации рабочих мест и поддержки принятия решений ЛПР при проведении эксплуатационных процессов.

Характерной чертой КАОС является наличие взаимосвязанных логических блоков, которые могут быть условно разделены на две группы: 1) блоки, отражающие реализацию учебных задач профессиональной подготовки специалистов, 2) блоки решения задач управления процессом профессиональной подготовки специалистов.

Структурно-функциональная модель КАОС представлена на рисунке 1.

Предложенная модель обеспечивает реализацию всех функций, описанных в сценариях использования КАОС.

Задачи КАОС могут быть решены в рамках нескольких подсистем: электронный интерактивный учебник (ЭИУ); программный тренажер для выработки индивидуальных практических навыков выполнения операций (ИТ); программный тренажер для выработки практических навыков выполнения операций в составе подразделений (КТ); подсистема аттестации персонала (ПАП); подсистема поддержки принятия решений при возникновении НшС (ППР); подсистема информационной поддержки профессиональной деятельности (ППД).

**В третьей главе** разработана модель развития непредвиденной НшС. Выход из такой ситуации может быть условно разделен на несколько этапов. Под этапом принятия решения понимается период времени, в течение которого осуществляется процесс анализа информации, оценивания возможных вариантов решения, выбора приемлемого варианта по обоснованному критерию, его реализация вплоть до поступления информации, либо обуславливающей необходимость принятия следующего решения, либо свидетельствующей о возвращении процесса в штатный режим. Количество этапов принятия решения заранее неизвестно.

Для формирования когнитивных компетенций по принятию решений по выходу из НшС был выбран аппарат теории игр. Процесс возникновения и развития НшС представлен в виде антагонистической игры  $\Gamma$  с двумя участниками: ЛПР, задачей которого является выход из НшС, и сама НшС (фиктивный игрок (ФИ)), развитие которой может происходить по различным сценариям, в т.ч. и в зависимости от принимаемых ЛПР решений. Игра  $\Gamma$  представляет собой кортеж:

$$\Gamma = \langle A, B, H \rangle, \quad (1)$$

где  $A$  - множество стратегий 1-го игрока (ЛПР);

$B$  - множество стратегий 2-го игрока (ФИ);

$H$  - множество выигрышей 1-го игрока (проигрышей 2-го игрока).

Под стратегией ЛПР в работе понимается выбранная цель выхода из НшС и совокупность действий по ее достижению.

В зависимости от внешнего проявления НшС, влияния проводимой операции на конечный результат и других факторов ЛПР может действовать с различными целями, которым соответствуют три стратегии:

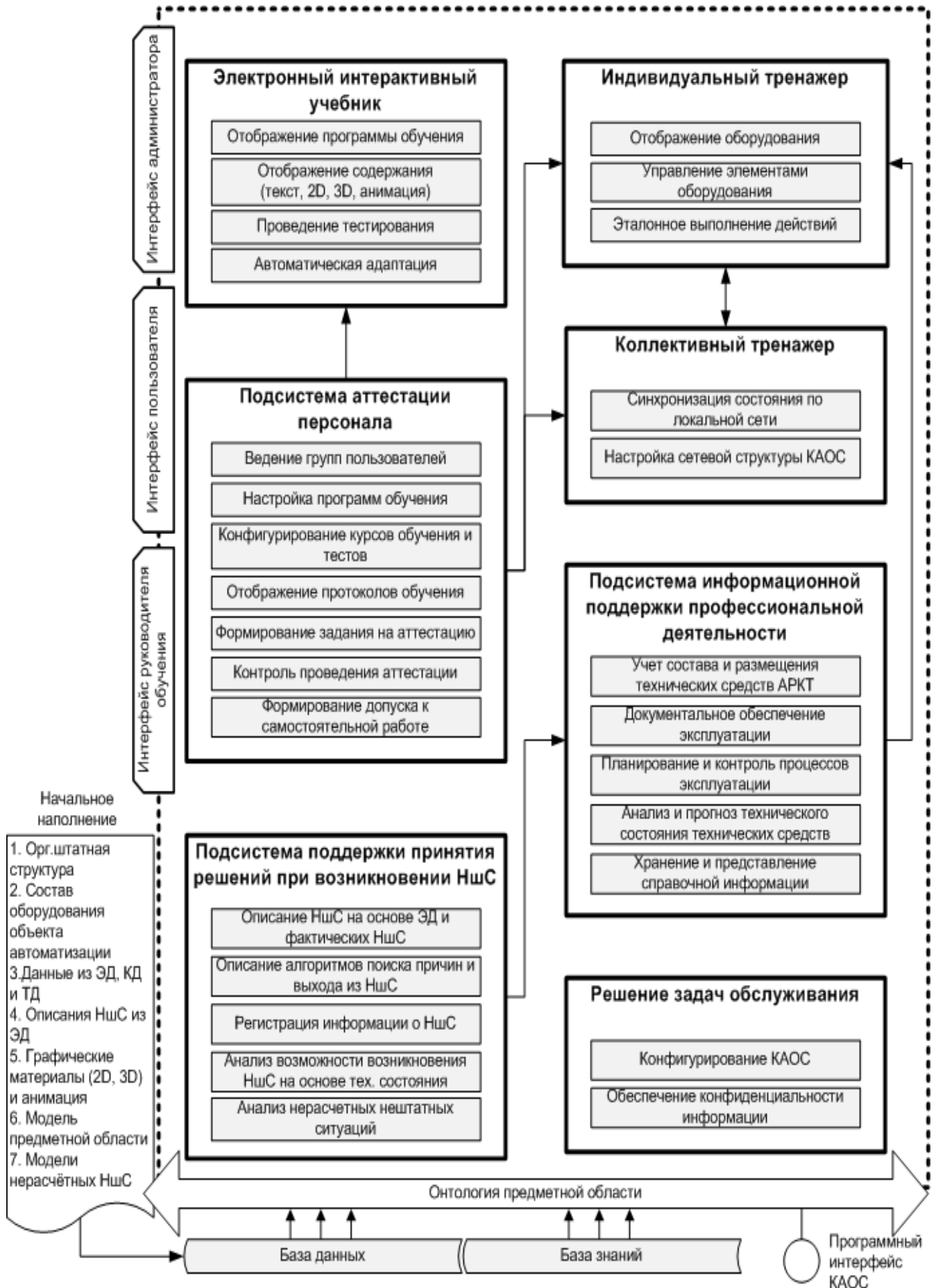


Рисунок 1 – Обобщенная структурно-функциональная модель КАОС

$a_1$  - стратегия, направленная на устранение причины НшС и дальнейшее продолжение работы по первоначальному плану.

$a_2$  - стратегия, связанная с отсрочкой (дополнительными ресурсами) для принятия решения о дальнейших действиях после устранения причины НшС.

$a_3$  - стратегия, связанная с отменой дальнейших работ и необходимостью выхода из НшС (прекращение работ, эвакуация персонала, недопущение аварийного развития НшС).

Основная сложность при выборе стратегии ЛПР состоит в неопределенности сценариев развития НшС (стратегий ФИ):

$b_1$  - стратегия, допускающая продолжение работы по первоначальному плану. НшС при этом не влияет на выполнение целевой задачи (ВЦЗ);

$b_2$  - стратегия, предполагающая дополнительные затраты времени и / или ресурсов для выхода из НшС и дальнейшее ВЦЗ;

$b_3$  - стратегия, обуславливающая необходимость отмены дальнейших работ по применению объекта и проведение работ по выходу из НшС;

$b_4$  - стратегия, связанная с аварийным развитием НшС.

Матрица цены игры (выигрышей игроков) при использовании ими всех выбранных стратегий представляет собой множество выигрышей 1-го игрока – ЛПР (или проигрышей 2-го игрока – ФИ) и имеет вид:

$$H_{[3,4]} = \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где  $h_{ij}$  - выигрыш первого игрока (ЛПР), реализующего  $i$ -ю стратегию при условии, что 2-й игрок (ФИ) использует  $j$ -ю стратегию.

Развитие НшС представлено в виде древовидной модели. Первый ход делает ФИ, в результате которого проявляются факторы, свидетельствующие о возникновении НшС. ЛПР оценивает ситуацию и принимает решение (ответный ход), и т.д. до выхода из НшС.

Все компоненты, составляющие стоимость цены игры при выборе и реализации того или иного решения, можно разделить на пять групп:

- стоимость ВЦЗ  $C^{ВЦЗ}$ ;
- затраты на выход из НшС  $C^{Вых}$ , в т.ч. плановые  $C^{Пл}$  и неплановые  $C^{НПл}$ ;
- стоимость отказа от ВЦЗ  $C^{Отк}$ , в т.ч. предотвращенный ущерб  $C^{Пред}$ ;
- затраты на штрафные санкции  $C^{штраф}$ ;
- ущерб от происшествия  $C^{Ущ}$ , в т.ч. ущерб персоналу  $C^{Перс}$ , экологический ущерб  $C^{экол}$ , выход из строя техники  $C^{Техн}$ , ущерб сопряженным объектам  $C^{Сопр}$ .

Предложен подход к оценке ущерба на основе требований руководящих документов. При этом приняты допущения:

1. Реализация стратегии  $a_3$  на всех этапах принятия решения однозначно приводит к выходу из НшС, при этом происшествие не происходит, но целевая задача не выполняется.

2. При оценивании ущерба от происшествия (аварии, катастрофы) предполагается, что реализуется пессимистический вариант – с наибольшим возможным ущербом.

Задача ЛПР (т.е. выбор одной из трех стратегий  $a_1, a_2, a_3$ ) состоит в том, чтобы оценить, по какому сценарию будет развиваться НшС, и выбрать решение, соответствующее этому сценарию. Поэтому при решении задачи выбора стратегии ЛПР можно ограничиться только вектором стратегий фиктивного игрока.

Очевидно, что в данном случае оценка возможных вариантов реализации сценариев НшС происходит в условиях неопределенности (в принципе отсутствует статистика по непредвиденным НшС, неизвестны законы распределения факторов, характеризующих данную ситуацию). Поэтому использование классических методов теории вероятностей не представляется возможным. Целесообразно оценивать возможности реализации сценариев НшС на основе теории нечетких множеств. Тогда

$$P_{\langle 4 \rangle} = \langle p_1, p_2, p_3, p_4 \rangle, \quad (3)$$

где  $p_1$  – возможность реализации стратегии  $b_1$ ;

$p_2$  – возможность реализации стратегии  $b_2$ ;

$p_3$  – возможность реализации стратегии  $b_3$ ;

$p_4 = p_{ав}$  – возможность реализации стратегии  $b_4$ .

При этом должно быть выполнено условие нормировки:  $\sum p_i = 1$ .

Для субъективной оценки возможности реализации сценариев развития НшС в работе предложена лингвистическая переменная  $P_i^n$  ( $i = 1(1)4$ ) «возможность реализации  $i$ -го сценария развития НшС», которая может принимать значения: ***пренебрежимо малая, малая, средняя, большая, очень большая***. Эти значения составляют терм-множество  $T(P_i^n)$ .

На интервале  $[0; 1]$  определены пять интервалов, которые описывают упомянутые значения лингвистической переменной, как показано на рисунке 2. В основу определения граничных значений положены требования руководящих документов к безаварийному применению комплексов, а также принципы практической достоверности и невозможности событий.

Функции принадлежности  $\mu_j$  ( $j = 1(1)5$ ) для возможностей реализации каждого из сценариев развития НшС могут иметь различный вид. В работе рассмотрено использование линейной функции принадлежности для нечетких множеств, характеризуемых значениями «пренебрежимо малая», «малая», «большая» и «очень большая», и треугольной функции принадлежности для значения «средняя» (рис. 2).

$$T(P_i^n)_{\langle 4 \rangle} = \langle \text{пренебрежимо малая, малая, средняя, большая, очень большая} \rangle. \quad (4)$$

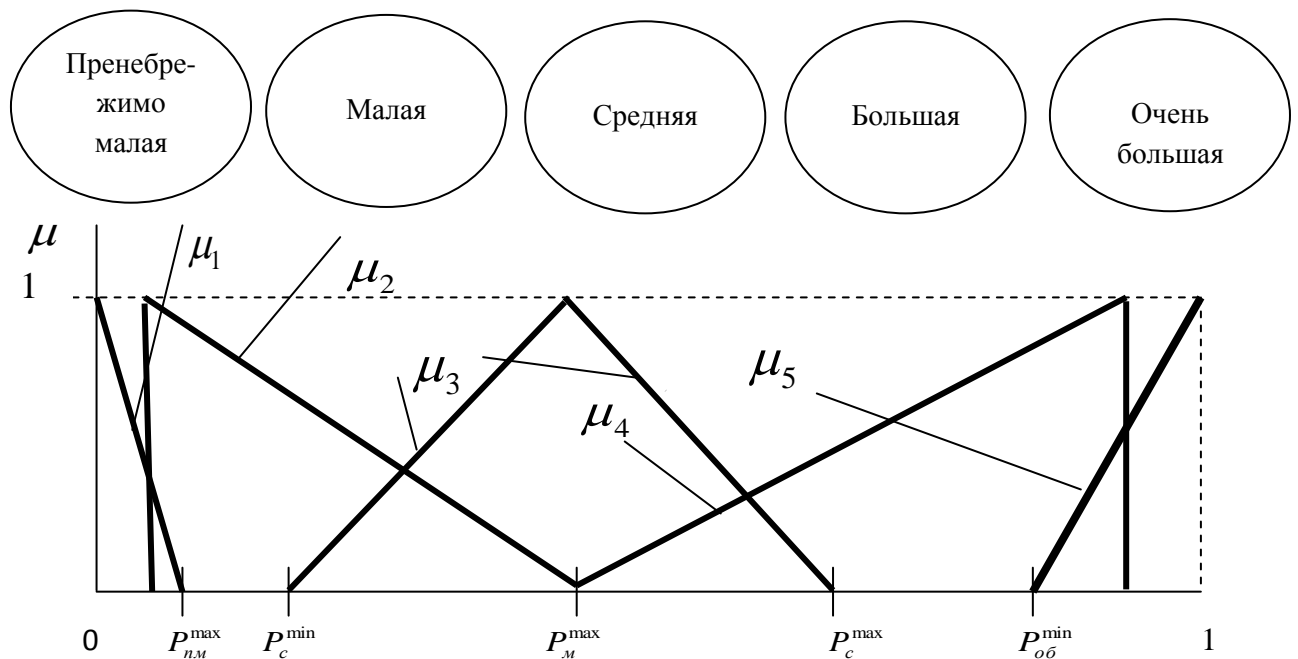


Рисунок 2 – Функции принадлежности нечетких значений возможностей реализации сценариев выхода из НшС

Для нечеткого логического вывода о значениях лингвистической переменной предложена нечеткая база знаний, позволяющая связать значения лингвистической переменной  $P_i^n$  ( $i=1(1)4$ ) с факторами  $X_{<5>} = \langle X_1, X_2, \dots, X_5 \rangle$ , обуславливающими возникновение и развитие НшС:

- показания средств измерений, их точность и достоверность ( $X_1$ );
- внешние проявления НшС и их анализ с точки зрения возникновения аварийной ситуации ( $X_2$ );
- результаты схемного анализа ( $X_3$ );
- оставшаяся неопределенность в оценке НшС, которая принципиально не может быть снята, и ее влияние на сценарий развития НшС ( $X_4$ );
- приоритет выполнения целевой задачи ( $X_5$ ).

Значения факторов оцениваются по бинарной шкале: если заданное проявление фактора соответствует установленным требованиям или не влияет на выполнение целевой задачи, то значение фактора равно 1, в противном случае оно равно 0.

При решении задачи выбора критерия выхода из НшС учитываются предпочтения ЛПР при принятии им решения:

- значимость ВЦЗ в установленные сроки и последствия ее невыполнения;
- сопоставимость потерь от невыполнения целевой задачи с ущербом от возможного происшествия;
- необходимые для ВЦЗ временные задержки и дополнительные ресурсы;
- возможные последствия принятого решения;

– важность сохранения целостности объекта.

В зависимости от условий проведения конкретного процесса благоприятными исходами могут быть признаны различные выходы из НшС:

А) необходимость ВЦЗ очень высока и ее перенос невозможен. Возможность положительного исхода равна  $p_1$  и, соответственно,  $\mu_A = \mu_1(x)$ ;

Б) в случае допустимости переноса ВЦЗ возможность положительного исхода будет равна  $p_1 + p_2$ . Для оценивания функции принадлежности необходимо выполнить операцию объединения нечетких множеств:

$$\mu_B = \max \{ \mu_1(x), \mu_2(x) \} \quad (5)$$

В) если же на первом плане не ВЦЗ, а предотвращение аварии, то возможность благоприятного исхода равна  $p_1 + p_2 + p_3$ , а функция принадлежности по аналогии с (5)  $\mu_B = \max \{ \mu_1(x), \mu_2(x), \mu_3(x) \}$ .

Получение оценок числовых значений возможностей различных исходов осуществляется процедурой дефаззификации путем нахождения абсциссы центра тяжести фигуры, ограниченной осями координат и графиком функции принадлежности нечеткого множества. Четкое значение  $p_i^o$  нечеткой лингвистической переменной  $P_i^n$  ( $i = 1(1)4$ ) находится по формуле:

$$p_i^o = \frac{p_{ez} \int_{p_{не}}^{p_{ez}} x \mu_i(x) dx}{\int_{p_{не}}^{p_{ez}} \mu_i(x) dx} \quad (6)$$

Целевая функция  $W_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), характеризующая результат принятого решения о выборе стратегии  $a_i$ , в общем случае имеет вид:

$$W_i = W_i(a_i; H_{[n,m]}, P_{<4>}, P_4^{don}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Критерий выбора решения должен обеспечивать наилучшее в каком-то смысле значение целевой функции:

$$a^* = \underset{i=1(1)n}{\text{Arg extr}} W_i^*(a_i; H_{[3,4]}, P_{<4>}, \text{Pr}_{<3>}) \quad (8)$$

Для формирования когнитивных компетенций обучаемых по принятию решений о выходе из НшС использован критерий Гурвица.

Он позволяет получить решения для различных благоприятных исходов. При этом рассчитывается коэффициент оптимизма  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ), который трактуется как возможность благоприятного выхода из НшС. Чтобы вычислить коэффициент оптимизма, необходимо провести объединение нечетких множеств, характеризующих благоприятные исходы.

Для трех вышеприведенных благоприятных исходов коэффициент  $\alpha$  равен соответственно:  $\alpha_A = p_1$ ,  $\alpha_B = p_1 + p_2$ ,  $\alpha_B = p_1 + p_2 + p_3$ .

Целевая функция критерия Гурвица вычисляется следующим образом:

$$W_i(a_i) = \alpha \cdot \max_j h_{ij} + (1 - \alpha) \cdot \min_j h_{ij}, \quad j = 1(1)4, \quad i = 1(1)3, \quad (9)$$

где  $\max h_{ij}$  - максимальный выигрыш для каждой строки матрицы  $H_{[3,4]}$ ,  
 $\min h_{ij}$  - минимальный выигрыш для каждой строки матрицы  $H_{[3,4]}$ .

Оптимальным является решение, которому соответствует максимум этой суммы:

$$a_i^* = \underset{i=1(1)n}{\text{Arg max}} W_i^*(a_i) \quad (10)$$

Полученные результаты позволили разработать модель принятия решения по выходу из нештатной ситуации (рисунок 3).

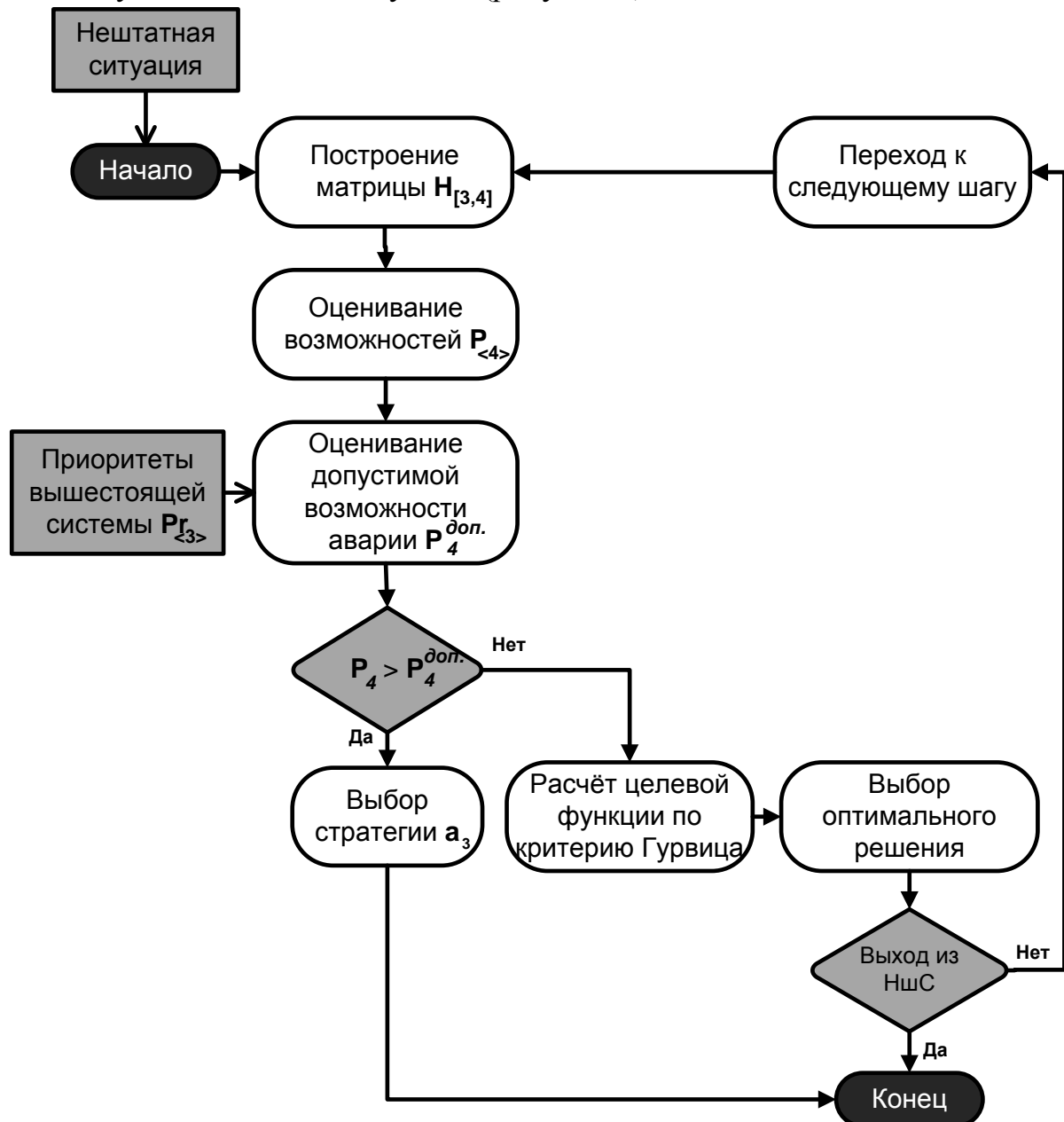


Рисунок 3 – Модель принятия решения по выходу из нештатной ситуации

**В четвертой главе** на основе разработанных моделей развития НшС и принятия решения по выходу из нее предложена модель обучения и методика ис-

пользования КАОС для профессиональной подготовки (переподготовки, повышения квалификации) наземного персонала АРКТ.

Предложены показатели уровня обученности, характеризующие конечный результат обучения (обобщенные показатели – количество ошибок, допущенное обучающимся при решении задачи обоснования решения по выходу из НшС, и балльная оценка, выставленная преподавателем) и промежуточные результаты подготовки и принятия решения по выходу из НшС:

- количество учтенных при принятии решения факторов (в % от максимально возможного, заложенного в обучающей программе);
- количество возможных вариантов развития нештатной ситуации, рассматриваемое каждым обучаемым;
- точность оценивания риска (возможности возникновения аварии) каждым обучаемым по результатам анализа исходной информации;
- время на подготовку принятия решения и его соответствие установленным требованиям.

При разработке методики использования КАОС в работе использована известная модель представления процесса освоения знаний как зависимость уровня знаний  $Z(t)$  от затраченного учебного времени  $t$ :

$$Z(t) = [Z_0 + (Z_k - Z_0)(1 - e^{-\gamma t})]e^{-\eta t}, \quad (11)$$

где  $Z_0$  – начальный (исходный) объём знаний;

$Z_k$  – конечный (требуемый) объём знаний;

$\gamma, \eta$  – интенсивность получения и забывания знаний соответственно.

При этом значения  $\gamma$  и  $\eta$  могут быть получены эмпирически при известных значениях начального и конечного объема знаний для конкретных учебных дисциплин.

Возможно использование и более сложных моделей, например, модели Р.В. Майера.

Применение методики обучения, рассчитанной на «среднего» обучающегося, не позволяет адекватно моделировать образовательный процесс. Поэтому целесообразно рассматривать применение «индивидуальной образовательной траектории», которая учитывает особенности каждого обучаемого и может включать несколько направлений реализации: вариативные учебные планы и образовательные программы; специальные педагогические технологии; организационный аспект.

На каждом этапе на основе входного контроля определяются начальный уровень подготовленности каждого обучающегося, а также оцениваются значения коэффициентов  $\gamma, \eta$  (см. формулу 11). Достижение каждым обучающимся требуемого уровня обученности на каждом этапе зависят от следующих факторов: количества и сложности контрольных заданий ( $Z$ ), выдаваемых обучающимся; уровня подготовленности обучающегося ( $УП$ ); уровня его способностей ( $СП$ ); уровня помощи, оказываемой обучающемуся ( $П$ ); объема изучаемого учебного материала ( $УМ$ ) и его сложности ( $УС$ ).



Данная модель реализуется с применением КАОС на каждом из пяти этапов обучения (рисунок 4), а именно:

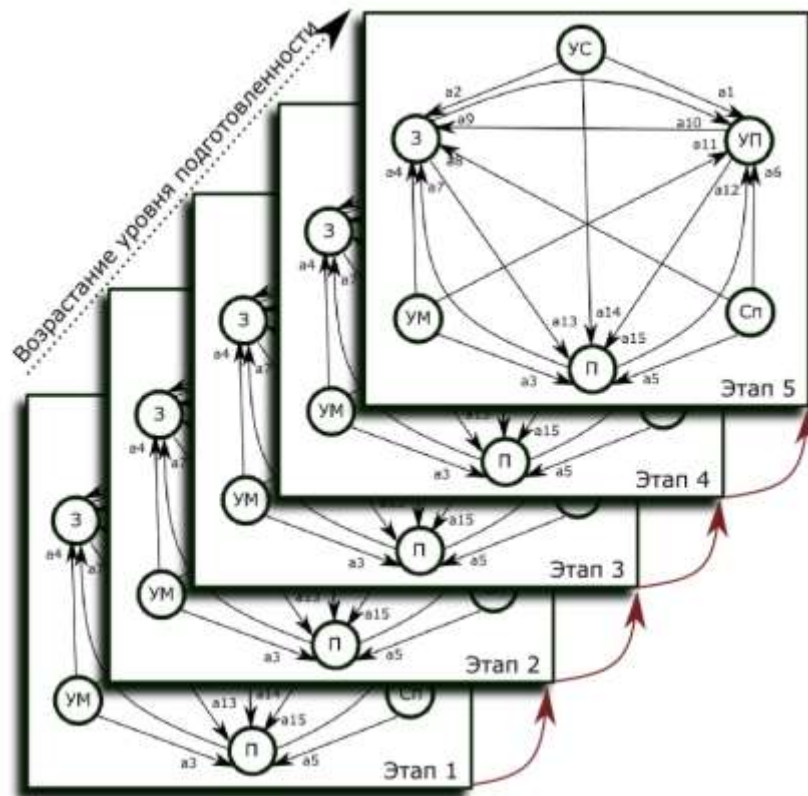


Рисунок 4 – Графическое представление модели обучения с применением КАОС

- этап 1 – получение теоретических знаний о конструкции АРКТ, принципах действия (с использованием ЭИУ, ПАП);
- этап 2 – изучение технологии эксплуатации комплекса АРКТ (с использованием ЭИУ, ПАП);
- этап 3 – формирование умений и навыков практического индивидуального выполнения типовых технологических операций и эксплуатационных процессов (с использованием ЭИУ, ИТ, ПАП);
- этап 4 – приобретение навыков практической работы в составе расчета, в т.ч. навыков руководства, включая принятие решений при возникновении предусмотренных НшС (с использованием ЭИУ, ИТ, КТ, ППР, ПАП);
- этап 5 – приобретение компетенций по принятию решений по выходу из непредвиденных НшС (с использованием ЭИУ, ИТ, КТ, ППР, ПАП).

Посредством задания регулирующих параметров (корректирующих воздействий) на вершины П, УМ, УС, З (каждый в интервале  $[0,1]$ ) строится индивидуальная траектория обучения для каждого этапа. Итогом должно явиться достижение обучающимся минимально допустимого уровня подготовленности УП, который позволит ему быть допущенным к следующему этапу обучения.

Методика реализуется с помощью КАОС и учитывает иерархию ЛПР и уровень их компетенции при принятии решений, что нашло отражение в базах данных и в модуле моделирования КАОС.

На основе разработанного научно-методического аппарата в работе приведен пример подробного off-line анализа действий персонала в реальной нештатной ситуации (Космодром Плесецк, 1972 год), выбранной как наиболее показательной с точки зрения выполняемых учебных задач и задействования всех режимов работы КАОС. Выявлены неверные принимаемые решения, а также обоснованы решения, которые могли бы привести к выполнению задачи, а на поздних этапах развития ситуации – к предотвращению катастрофы.

При моделировании компонентов КАОС в общем были разработаны 23 подобные модели НшС различной степени сложности.

Для проверки эффективности полученных результатов были проведены экспериментальные исследования, для которых были сформированы две учебные группы из числа вновь прибывших специалистов: в первой обучение выполнялось по традиционным методикам, используя только штатную ЭД, во второй – с применением КАОС.

Обучаемые распределялись по группам таким образом, чтобы средний уровень подготовленности до начала эксперимента в обеих группах был одинаков. Обработка результатов эксперимента проводилась на основе аппарата математической статистики. Для оценки уровня обученности были использованы обобщенный показатель обученности (средний балл учебной группы) и четыре частных показателя, введенные в главе 2. Целью эксперимента было подтверждение гипотезы о том, что при использовании КАОС средний уровень обученности будет выше, чем при использовании традиционных методик.

Результаты обработки эксперимента по завершении обучения подтвердили преимущества КАОС: средний балл в группе с использованием КАОС составил 4,1, во второй группе (без использования КАОС) – 3,3. При доверительной вероятности 0,9 значения среднего балла отличаются значимо. Результаты по остальным показателям также подтверждают преимущество использования КАОС.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ профессиональной деятельности и подготовки персонала наземных служб эксплуатации АРКТ с учетом особенностей АТ, выявлены их общие черты. Сделан вывод о том, что одним из основных направлений повышения качества сложившейся системы подготовки персонала наземных служб АРКТ является использование КАОС на основе современных информационных технологий.

2. Разработана концепция и предложена структурно-функциональная модель КАОС для профессиональной подготовки персонала наземных служб эксплуатации АРКТ, позволяющая, во-первых, объединить различные методические материалы в одном комплексе, во-вторых, моделировать разнообразные ситуации, которые могут возникнуть при эксплуатации реального объекта, в-третьих, обеспечить оперативный доступ к необходимой информации при решении прикладных профессиональных задач, в-четвертых, обеспечить решение задач сопровождения эксплуатации АРКТ.

3. Разработана модель развития НшС как многошаговая последовательность принимаемых решений с использованием апостериорной информации. Для выбора стратегий ЛПР по выходу из НшС обосновано применение математического аппарата теории игр и теории нечетких множеств. Разработанная модель оценивания последствий возможных решений по выходу из НшС учитывает возможный ущерб не только от аварии, но и от невыполнения целевой задачи.

4. Предложена модель принятия решения по выходу из НшС, представляющая собой последовательность действий на каждом шаге принятия решения, лежащая в основе модели обучения специалистов.

5. Разработана методика использования КАОС для профессиональной подготовки (переподготовки, повышения квалификации) наземного персонала АРКТ.

6. Для оценки эффективности использования разработанной КАОС при профессиональной подготовке персонала был проведен эксперимент, который подтвердил повышение уровня обученности по предложенным показателям при использовании КАОС.

Дальнейшие направления развития КАОС могут состоять в разработке и включении в ее состав каналов психофизиологического мониторинга и социально-экономической безопасности деятельности персонала, а также адаптации КАОС для подготовки пилотов ВС и внешних пилотов дистанционно пилотируемых ВС.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Основные положения и полученные научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

### **Работы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Остапченко, Ю. Б. Алгоритм проектирования процесса формирования профессиональных качеств по эксплуатации сложных систем / Ю. Б. Остапченко, А. В. Шаговиков, Е. Н. Шаповалов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2010. – № 10. – С. 118-122.

2. Остапченко, Ю. Б. Проблемы профессиональной подготовки специалистов для эксплуатации сложных технических объектов в современных условиях / Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков, В. В. Романцев, С. А. Беляев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2014. – №8. – С. 90-94.

3. Остапченко, Ю. Б. Транспрофессиональная подготовка современных специалистов: миф или реальная необходимость / С. А. Кудряков, Ю. Б. Остапченко, Е. Н. Шаповалов, В. В. Романцев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2014. – №8 – С. 94-98.

4. Остапченко, Ю. Б. Упрощенный метод автоматического контроля эмоционального состояния обучаемых при работе с автоматизированными обучающими системами / С. А. Кудряков, Ю. Б. Остапченко, Е. В. Постников, С. А. Беляев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – № 6. – С. 59-64.

5. Остапченко, Ю. Б. Актуальные вопросы теории эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники / Е. Н. Шаповалов, С. А. Кудряков,

Ю. Б. Остапченко, А. В. Экало, С. А. Беляев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – № 6. – С. 70-76.

6. Остапченко, Ю. Б. ДГС-методика обучения навыкам эффективного поведения в системе транспрофессиональной подготовки руководящих кадров / С. А. Кудряков, Ю. Б. Остапченко, В. В. Романцев, С. А. Беляев. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – № 7 – С. 50-55.

7. Остапченко, Ю. Б. Современная концепция комплексной автоматизированной системы профессионального обучения и сопровождения деятельности для специалистов службы эксплуатации радиотехнического оборудования и связи / С. А. Кудряков, Н. В. Книжниченко, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – № 10. – С. 10-14.

8. Остапченко, Ю. Б. Концепция комплексной автоматизированной обучающей системы для специалистов службы ЭРТОС гражданской авиации (статья) / С. А. Кудряков, Н. В. Книжниченко, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев, Е. Н. Шаповалов // Вестник Санкт-Петербургского университета гражданской авиации. – 2016. – Вып. 2(11). – С. 52-60.

9. Остапченко, Ю. Б. Алгоритм принятия обоснованных решений в нестандартных ситуациях на основе моделей нечетких множеств / А. В. Экало, С. А. Кудряков, Е. Н. Шаповалов, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – №9. – С. 16-21.

#### **Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:**

10. Программа для ЭВМ «Программа комплексного автоматизированного обучения персонала наземных служб, эксплуатирующего авиационную и ракетно-космическую технику». – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610750 от 19 января 2016 г. – М. : Федеральная служба по интеллектуальной собственности.

#### **Доклады на международных и всероссийских научно-практических конференциях:**

11. Остапченко, Ю. Б. Особенности системы подготовки специалистов по наземной эксплуатации космических средств в условиях современной России (1991-2008 гг.) / Ю. Б. Остапченко, Е. Н. Шаповалов, А. К. Шаповалова // История Санкт-Петербургского политехнического университета : материалы междунар. научн.-теор. конф. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – С. 462-480.

12. Остапченко, Ю. Б. Направления повышения качества решений в нестандартных ситуациях при эксплуатации космических средств / Ю.Б. Остапченко // Сборник материалов одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством», 12-13 марта 2012 года / ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского». – М. : МАТИ, 2012. – С. 240-241.

13. Остапченко, Ю. Б. Актуальные проблемы профессиональной подготовки специалистов для сложных технических объектов на примере космодрома Байконур / Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков, Е. Н. Шаповалов; под ред. Т. В. Орловой, М. Ю. Спириной, А. А. Торопыгиной // Социально-психологические, педагогические и медико-психофизиологические проблемы модернизации общества на евра-

зийском пространстве : материалы научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 28-29 ноября 2013 г). – СПб. : МИЭП при МПА ЕврАзЭС, 2013. – ч. 2. – С. 136-146.

14. Остапченко, Ю. Б. Актуальные проблемы профессиональной подготовки специалистов для сложных технических объектов. В сборнике: Человек и транспорт. Эффективность. Безопасность. Эргономика. / Ю.Б. Остапченко, С. А. Кудряков // Материалы секции III международной научно-практической конференции. – СПб., 2014. – С. 43-47.

15. Остапченко, Ю. Б. Пути повышения эффективности профессиональной подготовки и переподготовки специалистов службы ЭРТОС / С. А. Кудряков, Н. В. Книжниченко, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев // Бизнес технологии в России: теория и практика : материалы международной научно-практической конференции, Саратов.– 2015. – С. 33-36.

16. Остапченко, Ю. Б. Профессиональное обучение специалистов по эксплуатации уникальных техногенных объектов в современных условиях. В сборнике: Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории / Ю.Б. Остапченко, С. А. Кудряков // Материалы II международной научно-практической конференции. – Саратов, 2015. – С. 7-12.

17. Остапченко, Ю. Б. Комплексные автоматизированные обучающие системы как новый этап автоматизации образования и профессиональной подготовки. В сборнике: Актуальные вопросы современного образования / С. А. Кудряков, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев // Материалы II международной научно-практической конференции. – Саратов, 2016. – С. 23-26.

#### **Публикации в других изданиях:**

18. Остапченко, Ю. Б. Некоторые вопросы профессиональной подготовки эксплуатирующего персонала космодрома в современных условиях / Ю. Б. Остапченко, Е. Н. Шаповалов // Актуальные проблемы организации эксплуатации космических средств : сборник трудов к 50-летию запуска 1-го ИСЗ. – СПб. : ВКА имени А.Ф. Можайского, 2007. – С. 158-165.

19. Остапченко, Ю.Б. Некоторые психологические аспекты обеспечения безопасности эксплуатации сложных технических комплексов / Ю. Б. Остапченко, Е. Н. Шаповалов // В сборнике: Актуальные проблемы психологической безопасности.– 2012. – С. 21-28.

20. Остапченко, Ю.Б. Профессиональная подготовка и переподготовка специалистов службы ЭРТОС на основе автоматизированных обучающих систем / Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков, Н. В. Книжниченко, С. А. Беляев // Теория и практика современной науки. – 2015. – № 1 (1). – С. 88-94.

21. Остапченко, Ю. Б. Концепция автоматизированной системы профессионального обучения и сопровождения деятельности для специалистов службы ЭРТОС / С. А. Кудряков, Н. В. Книжниченко, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев // Экономика и социум. – 2015. – № 2-5 (15). – С. 453-459.

22. Остапченко, Ю. Б. Автоматизированные обучающие комплексы в системе профессионального обучения специалистов по эксплуата-

ции уникальных техногенных объектов / Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков // Экономика и социум. – 2015. – № 2-5 (15). – С. 1149-1155.

23. Остапченко, Ю. Б. Безопасность в контексте единой теории эксплуатации летательных аппаратов / Е. Н. Шаповалов, С. А. Кудряков, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 4 (10). – С. 809-815.

24. Остапченко, Ю.Б. Методика формирования когнитивных компетенций по выходу из нештатных ситуаций для эксплуатирующего персонала авиационной и ракетно-космической техники / Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков, Е. Н. Шаповалов, С. А. Беляев // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 1(7).

25. Остапченко, Ю. Б. Персонализация процесса обучения персонала действиям в нештатных ситуациях при эксплуатации комплексов авиационной и ракетно-космической техники / Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков, Е. Н. Шаповалов, С. А. Беляев // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 2(8).

26. Остапченко, Ю. Б. Реализация индивидуальной образовательной траектории в комплексных автоматизированных обучающих системах/ Ю.Б. Остапченко, С. А. Кудряков, С. А. Беляев // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 8(14).

27. Остапченко, Ю. Б. Модель подготовки специалистов по эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники к действиям в непредвиденных нештатных ситуациях / Ю. Б. Остапченко // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 8(14).

28. Остапченко, Ю. Б. Управление индивидуальной траекторией обучения в комплексных автоматизированных обучающих системах / Ю.Б. Остапченко, С. А. Кудряков, С. А. Беляев // Экономика и социум. – 2016. – № 8 (27). – С. 512-520.