

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.382

КАСАНИН
Сергей Николаевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
СИСТЕМ ТРОПОСФЕРНОЙ СВЯЗИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
«ОПЕРАТОР – СИСТЕМА»**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Минск 2014

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Богущ Вадим Анатольевич**, доктор физико-математических наук, доцент, первый заместитель Министра образования Республики Беларусь

Официальные оппоненты: **Конопелько Валерий Константинович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сетей и устройств телекоммуникаций учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Утин Леонид Львович, кандидат технических наук, доцент, начальник 4-го НИО государственного учреждения «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь»

Оппонирующая организация Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Защита состоится « 18 » декабря 2014 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.02 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, телефон: 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « 17 » ноября 2014 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент

Тарченко Н.В.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В последнее время перед Вооруженными Силами Республики Беларусь остро встала проблема повышения эксплуатационной устойчивости систем тропосферной связи (СТС) [1]. Одним из возможных путей решения данной проблемы является разработка методов снижения негативного влияния человеческого фактора в рамках взаимодействия «оператор – система», в частности, за счет уменьшения количества ошибок, допускаемых операторами СТС а также развития их способности пользоваться диагностической информацией для быстрой идентификации и локализации аварийных ситуаций.

Известно, что современные информационные технологии создают возможность высококачественного моделирования практически всех компонентов вооружения и военной специальной техники (ВВСТ) на персональной электронно-вычислительной машине (ПЭВМ). В связи с этим для СТС, интенсивно используемых в войсках связи, актуальной является задача разработки имитационных моделей, которые позволят повысить эксплуатационную устойчивость таких систем. Следует отметить, что работы по созданию моделей СТС в Республике Беларусь практически не велись из-за отсутствия общих подходов к их построению.

В диссертационной работе приведены основные результаты исследования вопросов повышения эксплуатационной устойчивости СТС за счет снижения негативного влияния человека-оператора при взаимодействии с технической системой. При этом основное внимание уделялось разработке моделей СТС на основе функциональных сетей с учетом взаимодействия «оператор – система»; имитационных моделей описания ошибок оператора и аварийных ситуаций технических систем; алгоритмического и программного обеспечения, позволяющих реализовать имитационные модели систем тропосферной связи. На этой основе, в частности, спроектирован компьютерный тренажер СТС, имитирующий работу цифровой тропосферной станции (ЦТРС) Р-423-1, состоящей на вооружении войск связи Республики Беларусь.

Экспериментальное использование компьютерного тренажера ЦТРС Р-423-1 в боевой подготовке войск связи и образовательном процессе военно-учебных заведений Вооруженных Сил Республики Беларусь свидетельствует о возможности существенного повышения эксплуатационной устойчивости СТС и эффективности образовательного процесса при взаимодействии «оператор – система».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Диссертационные исследования проводились в рамках Концепции оснащения учебно-тренировочными и тренажерными средствами видов

Вооруженных Сил на 2004 – 2010 гг., Государственной программы вооружения на 2006 – 2015 гг., а также в рамках научно-исследовательской работы «Разработка и создание программного продукта по изучению цифровой тропосферной станции Р-423-1», шифр «Бриг» (заказчик – управление связи Генерального штаба Вооруженных Сил). Акт реализации № 16/4/1-08 от 10 января 2008 г.

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь в области информационных технологий.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка имитационных моделей систем тропосферной связи, алгоритмического и программного обеспечения компьютерных тренажеров подготовки персонала.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать имитационную модель эксплуатации систем тропосферной связи, позволяющую учитывать особенности взаимодействия «оператор – система».

2. Создать имитационные модели ошибок, допускаемых человеком-оператором при эксплуатации систем тропосферной связи.

3. Разработать модели аварийных ситуаций систем тропосферной связи.

4. Разработать программное и алгоритмическое обеспечение имитационных моделей систем тропосферной связи. Спроектировать архитектуру компьютерного тренажера на примере цифровой тропосферной станции Р-423-1.

5. Разработать критерии уровня подготовки персонала в процессе тренажерной подготовки, а также осуществить внедрение и апробацию компьютерного тренажера цифровой тропосферной станции Р-423-1 в образовательном процессе.

Объект исследования – системы тропосферной связи.

Предмет исследования – эксплуатационные характеристики систем тропосферной связи.

Выбор объекта и предмета исследования обусловлен актуальностью разработки методов повышения эксплуатационной устойчивости систем тропосферной связи в рамках взаимодействия «оператор – система».

Положения, выносимые на защиту

1. Имитационная модель систем тропосферной связи, основанная на процедурах замены описательных операций их оценочными аналогами с использованием метода итерации на основе байесовского подхода, а при укрупнении больших фрагментов функциональной сети – на основе матрицы инцидентов, что в совокупности позволило разработать методику многоуровневой оценки подготовленности операторов систем тропосферной связи и снизить до 10 раз эксплуатационные расходы.

2. Имитационные модели описания ошибок оператора и аварийных ситуаций в процессе эксплуатации систем тропосферной связи, позволяющие учитывать взаимодействие «оператор – система» за счет объединения возможностей функциональных сетей и языка алгоритмических алгебр В. М. Глушкова, обеспечивающие оперативную коррекцию навыков и сокращение сроков подготовки персонала до трех раз, а также повышение эксплуатационной устойчивости таких систем на 30 %.

3. Алгоритмическое и программное обеспечение компьютерных тренажеров, позволяющие имитировать процесс эксплуатации систем тропосферной связи при взаимодействии «оператор – система», автоматизировать процесс подготовки и переподготовки персонала, а также увеличить объем отработки практических вопросов до 80 % от общего объема практической составляющей программы учебной дисциплины.

Личный вклад соискателя

В диссертации изложены результаты работ, выполненных соискателем лично и в соавторстве. Определение структуры, целей и задач диссертации, обсуждение и обобщение основных научных результатов проводились совместно с научным руководителем д-м физ.-мат. наук В. А. Богущем.

При личном участии автора получены следующие результаты:

1. Обоснованы имитационные модели, которые могут быть использованы для описания реальных процессов, происходящих при эксплуатации систем тропосферной связи, на этапе компьютерного моделирования на ПЭВМ.

2. Разработано программное и алгоритмическое обеспечение компьютерных тренажеров систем тропосферной связи.

3. Разработана архитектура компьютерного тренажера систем тропосферной связи на примере цифровой тропосферной станции Р-423-1.

4. Предложены критерии оценки подготовленности персонала СТС, обучаемого с использованием компьютерного тренажера цифровой тропосферной станции Р-423-1.

5. Осуществлено внедрение и апробация компьютерного тренажера цифровой тропосферной станции Р-423-1 в ряде подразделений войск связи и образовательном процессе военно-учебных заведений.

Анализ тенденции развития компьютерных тренажеров и определение архитектуры компьютерного тренажера систем тропосферной связи проводился при участии доцента, канд. техн. наук В. В. Пискуна (ВА РБ).

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах различного уровня:

межвузовская научно-методическая конференция «Современные проблемы качества высшего образования», Академия МВД, Минск, 2004 г.; межвузовская научно-методическая конференция «Организационно-методическое обеспечение образовательного процесса в вузе», Академия МВД, Минск 2005 г.; межвузовская научно-методическая конференция «Высшая военная школа: проблемы и перспективы», ВА РБ, Минск, 2006 г.; Республиканская научно-методическая конференция «Высшее техническое образование: проблемы и пути развития», БГУИР, Минск, ноябрь, 2006 г.; VI Международная научно-методическая конференция «Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века», БГУИР, Минск, 2007 г.; IX Международная научно-методическая конференция «Высшая военная школа: проблемы и перспективы», ВА РБ, Минск, 2008 г.; научно-практический семинар «Актуальные вопросы развития и совершенствования системы военной связи и подготовки военных кадров», ВА РБ, Минск, 2008 г.; IV Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения «MILEX-2009», Минск, 2009 г.; V Международная научно-методическая конференция «Высшее техническое образование: проблемы и пути развития», БГУИР, Минск, 2010 г.; специализированная Международная научная конференция «Проблемы повышения эффективности образовательного процесса на базе информационных технологий», БГУИР, Минск, 2012 г.; VI Международная научно-методическая конференция «Высшее техническое образование: проблемы и пути развития», БГУИР, Минск, 2012 г.

Опубликованность результатов

По материалам диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 4 статьи общим объемом 2,3 авторских листа, в научных рецензируемых журналах и сборниках, 5 статей в сборниках материалов конференций, 6 тезисов докладов, 1 отчет по НИР, 1 свидетельство о регистрации компьютерной программы.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, основной части из четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

Полный объем диссертационной работы составляет 177 страниц, из них 80 страниц текста, 34 рисунка на 20 страницах, 7 таблиц на 6 страницах, список использованных источников из 120 наименований на 7 страницах, список публикаций автора из 17 наименований на 2 страницах, 4 приложения на 62 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость повышения эксплуатационной устойчивости систем тропосферной связи, активно применяемых в войсках связи Республики Беларусь, определены основные направления исследований. Показана актуальность задачи разработки имитационных моделей для систем тропосферной связи с учетом взаимодействия «оператор – система».

В **первой главе** диссертации проведен анализ основных направлений применения моделирования в процессе боевой подготовки Вооруженных Сил наиболее развитых стран мира и Республики Беларусь. Показана экономическая целесообразность применения моделей ВВСТ, а также их высокая эффективность при использовании в процессе обучения, в ходе которого можно воссоздавать и многократно повторять различные операции (действия) в наиболее сложных ситуациях, что в конечном итоге ведет к повышению устойчивости систем ВВСТ при их эксплуатации.

Определен состав и содержание основных элементов имитационной модели систем тропосферной связи (тренажерная модель, информационная модель, модель обучения) и выполнено их сравнение с имитационными моделями в других технических системах (авиационные, автомобильные, танковые и т.п.). Приведен обзор и сравнительный анализ системы графического и текстового программирования основных программных продуктов. Обосновано использование текстового программирования при создании моделей СТС.

Представлен анализ известных моделей технических систем, реализованных на ПЭВМ. Показано, что наибольшее распространение получили языково-алгебраические формальные системы, т.к. они одновременно обладают свойствами описательности и оцениваемости. Однако известные и реализованные на практике с помощью ПЭВМ модели технических систем не позволяют количественно оценить устойчивость таких систем в условиях взаимодействия «оператор – система».

На основании проведенного анализа научно-технической информации предложено объединить возможности функциональных сетей с возможностями языка алгоритмических алгебр В. М. Глушкова и на их совместной базе представлять имитационное описание моделей СТС с использованием так называемых алгебраических функциональных сетей. Это в свою очередь позволило учесть особенности взаимодействия «оператор – система».

На этой основе сформулированы цель и задачи диссертационных исследований.

Во **второй главе** диссертации рассмотрен метод моделирования процессов эксплуатации систем тропосферной связи при взаимодействии

«оператор – система». Суть данного метода заключается в замене фрагментов процессов эксплуатации технических систем так называемыми функциональными единицами и структурами (ФЕ и ФС) в составе алгебраической функциональной сети (АФС), формируемой путем объединения возможностей функциональных сетей с возможностями языка алгоритмических алгебр В. М. Глушкова [3–5]. При этом под АФС понимается представление процесса эксплуатации СТС в двух алгебрах – алгебре описания процесса $\alpha_{оп}$ и алгебре оценивания процесса $\alpha_{оц}$ с помощью количественных характеристик, которые представляют собой биекцию, т. е. пары множеств:

$$\alpha_{оп} = \langle M_{оп,э}, M_{оп,о} \rangle; \alpha_{оц} = \langle M_{оц,э}, M_{оц,о} \rangle, \quad (1)$$

где $M_{оп,э}$ – множество описательных элементов (слова алгоритмического языка); $M_{оп,о}$ – множество описательных операций (синтаксис алгоритмического языка); $M_{оц,э}$ – множество оценочных элементов (количественные характеристики выполнения описательных элементов); $M_{оц,о}$ – множество оценочных операций, т. е. операций над оценочными элементами, с помощью которых вычисляются характеристики фрагментов процесса и всего процесса в целом.

Таким образом, получение количественных характеристик сводится к описанию процесса в алгебре $\alpha_{оп}$ и замене каждой описательной операции из $\alpha_{оп}$ соответствующей оценочной операцией из $\alpha_{оц}$, для этого используется допущение о взаимно однозначном соответствии (1).

Хотя такой подход представляется известным из литературы, где он применяется для проектирования в основном бездефектных человеко-машинных технологий, потребовалась существенная его модернизация с учетом специфики процесса эксплуатации СТС при взаимодействии «оператор – система».

В диссертации в основе алгебры описания процесса эксплуатации СТС предложено использовать модифицированную систему алгоритмических алгебр В. М. Глушкова [5]:

$$\sigma = \langle U, Y, \Omega_1, \Omega_2 \rangle, \quad (2)$$

где $U = \{A, B, C, \dots\}$ – множество математических операторов; $Y = \{\alpha, \beta, \gamma, \dots\}$ – множество логических условий; Ω_1 – множество операций, порождающих логические условия из множества Y ; Ω_2 – множество операций, порождающих операторы из множества U .

В самом общем случае составляющие (2) представляют собой множество всех возможных состояний технической системы применительно к эксплуатации СТС. При моделировании процесса эксплуатации СТС с учетом взаимодействия «оператор – система» оказалась необходимой и целесообразной разработка системы оценки знаний, умений и навыков оператора по некоторым

обоснованным показателям уровня обученности, т. к. они непосредственно связаны с эксплуатационной устойчивостью таких систем. Под показателями уровня обученности в диссертации предложено понимать число ошибок и время на реализацию отдельных операций или алгоритма эксплуатации в целом. Поскольку каждый оператор индивидуален, а характеристики выполнения им операций эксплуатации СТС зависят от множества факторов, этим характеристикам необходимо придавать характер стохастичности. Тогда под выходными характеристиками понимается вероятность безошибочного выполнения операции эксплуатации β , математическое ожидание $M(T)$ и дисперсия $D(T)$ времени выполнения операции эксплуатации. Данные характеристики позволяют количественно выразить влияние человека-оператора на эксплуатационную устойчивость СТС.

В рамках проведенных исследований в целях оптимизации процесса моделирования СТС был проанализирован целый ряд инструкций по эксплуатации известных систем тропосферной связи. В результате выполненного анализа выделены наиболее характерные блоки операций и на их основе предложены операторные и логические типовые блоки процесса эксплуатации СТС. При этом операторные типовые блоки позволяют количественно оценивать выполнение операций эксплуатации человеком-оператором, а логические – обеспечивают возможность количественно оценивать влияние на процесс обучения внешнего управления (руководителя обучения) [5].

В работе рассмотрены возможные подходы к укрупнению функциональных сетей, под которым понимается процедура замены описательных операций их оценочными аналогами. Это позволяет получить количественные характеристики процесса эксплуатации при моделировании СТС с учетом взаимодействия «оператор – система». Из практики известно, что по своей сути характеристики выполнения операций эксплуатации СТС имеют вероятностную природу. Поэтому процедуру укрупнения в работе предложено строить на основе байесовского подхода с использованием метода итераций.

Однако проведенные в рамках диссертации исследования показали, что на практике при укрупнении больших фрагментов функциональной сети и ее последующем анализе более удобно пользоваться матричным представлением сети (метод матрицы инцидентий). В общем виде метод укрупнения вероятностных графов с помощью L -матрицы известен из литературы, но в работе предложен конкретный алгоритм укрупнения функциональной сети применительно к процессам эксплуатации СТС.

На примере фрагмента функциональной сети «Работа – Контроль» в работе использованы оба подхода и получены как методом итераций, так и

методом матрицы инцидентий вероятностно-временные характеристики укрупнения, которые приняли одинаковый вид [5]:

$$M(T_s) = [M(T_p) + M(T_k)]M(L); \quad (3)$$

$$D(T_s) = D(L)[M(T_p) + M(T_k)]^2 + [D(T_p) + D(T_k)]M(L), \quad (4)$$

где T_s – время выполнения фрагмента; T_p – время выполнения рабочей операции; T_k – время функционального контроля; $M(T_s)$ и $D(T_s)$ – математическое ожидание и дисперсия времени выполнения фрагмента; L – число повторений выполнения операций; $M(L)$ и $D(L)$ – математическое ожидание и дисперсия числа повторений L .

Идентичность вероятностно-временных характеристик, полученных двумя различными методами, в свою очередь подтверждает правильность выбранного подхода к решению указанной выше проблемы.

В работе показано, что финальные вероятности при числе повторений L безошибочного β_s^1 и ошибочного β_s^0 выполнения фрагмента операции функциональной сети «Работа – Контроль» принимают вид [5]

$$\beta_s^1 = \frac{\beta_p^1 K^{11}}{1 - (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})}; \quad (5)$$

$$\beta_s^0 = 1 - \beta_s^1, \quad (6)$$

где β_p^1 , β_p^0 – вероятности безошибочного и ошибочного выполнения операции «Работа – Контроль» соответственно; K^{11} – вероятность безошибочного признания проверяемой операции безошибочной; K^{00} – вероятность безошибочного признания ошибок в проверяемой операции; $K^{10} = (1 - K^{11})$ – вероятность ошибочного признания проверяемой операции ошибочной при условии, что она выполнена безошибочно, а $K^{01} = (1 - K^{00})$ – вероятность ошибочного признания проверяемой операции безошибочной при условии, что ошибки есть.

Следовательно, вероятностно-временные характеристики выполнения фрагмента функциональной сети «Работа – Контроль» с учетом соотношений (5) и (6) принимают вид [5]

$$D(L) = \frac{\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00}}{[1 - (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})]^2}; \quad (7)$$

$$M(L) = \frac{1}{1 - (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})}. \quad (8)$$

На практике значения β_p^1 , β_p^0 , K^{11} , K^{00} , K^{10} , K^{01} , составляющие выражения (5) – (6) определяются в процессе эксплуатации технических систем методом

экспертных оценок с использованием известных статистических методов обработки информации.

В отличие от известных методов моделирования бездефектных человеко-машинных технологий при взаимодействии «оператор – система» необходимо учитывать ошибки, допускаемые человеком-оператором. С этой целью в диссертационной работе предложены имитационные модели ошибок оператора при эксплуатации систем тропосферной связи.

Здесь следует отметить, что оператор при эксплуатации СТС выполняет последовательные операции, которые представляют собой деятельность дискретного типа. Такую деятельность удобно представить в виде последовательных цепочек, элементы которых суть выполняемые операции эксплуатации. Тогда заложенные в имитационную модель СТС алгоритмы выполнения операций являются эталонными, а отклонения от них, вызванные оператором, являются ошибками.

В математическом плане постановка задачи сводится к биекции двух множеств функции $f: A \rightarrow B$, где $A = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ – цепочка эталонной структуры; $B = b_1, b_2, \dots, b_n$ – цепочка реальной структуры; m и n – число операций в A и B соответственно. В работе приведено условие существования функции f : для любых пар операций $(\alpha_{i1}, \alpha_{i2}) \in A$ и $(b_{j1}, b_{j2}) \in B$, для которых $f(\alpha_{i1}) = b_{j1}$, $f(\alpha_{i2}) = b_{j2}$; при условии $i_1 < i_2$ следует $j_1 < j_2$. Отсюда следует, что если оператор в процессе эксплуатации СТС не допускает ошибок, то $B = A(m = n, \alpha_i = b_j, i = \overline{1, m})$. Если же ошибки есть, то множество операций A и B необходимо сгруппировать в чередующиеся подмножества G совпадающих и несовпадающих операций.

Известно, что человек-оператор при эксплуатации СТС может допускать различные виды ошибок: пропуск операций, добавление операций, перестановка операций, замена операций другими операциями. Такие ошибки теоретически могут допускаться на каждой операции процесса эксплуатации. При этом существенно понижается устойчивость СТС. Поэтому на практике наиболее предпочтительным вариантом действий оператора является вариант, для которого требуется наименьшее число операций по устранению ошибок [3]:

$$R(g_i) = \sum_{i=1}^N d_{\text{ИН}ij} \rightarrow \min, \quad (9)$$

где $R(g_i)$ – общее число операций в подмножестве B , выполненных с ошибками при варианте сравнения $g_i \in G$; N – количество ИН; $d_{\text{ИН}ij}$ – длина i -го индикатора несовпадений (ИН) в варианте $g_i \in G$ (под ИН понимается пара несовпадающих подмножеств $(\alpha_i, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_{i+v}) \in A$ и $(b_j, b_{j+1}, \dots, b_{j+w}) \in B$, ограниченная совпадающими операциями слева $(\alpha_{i-1} = b_{j-1})$ и справа $(\alpha_{i+v+1} = b_{j+w+1})$ или началом и концом множеств A и B).

На основании критерия (9) и предложенных в диссертации имитационных моделей ошибок оператора при эксплуатации СТС разработан модифицированный алгоритм поиска ошибок оператора (без отсечения путей на сети) (рисунок 1). В его основу положен известный из литературы метод «ветвей и границ».

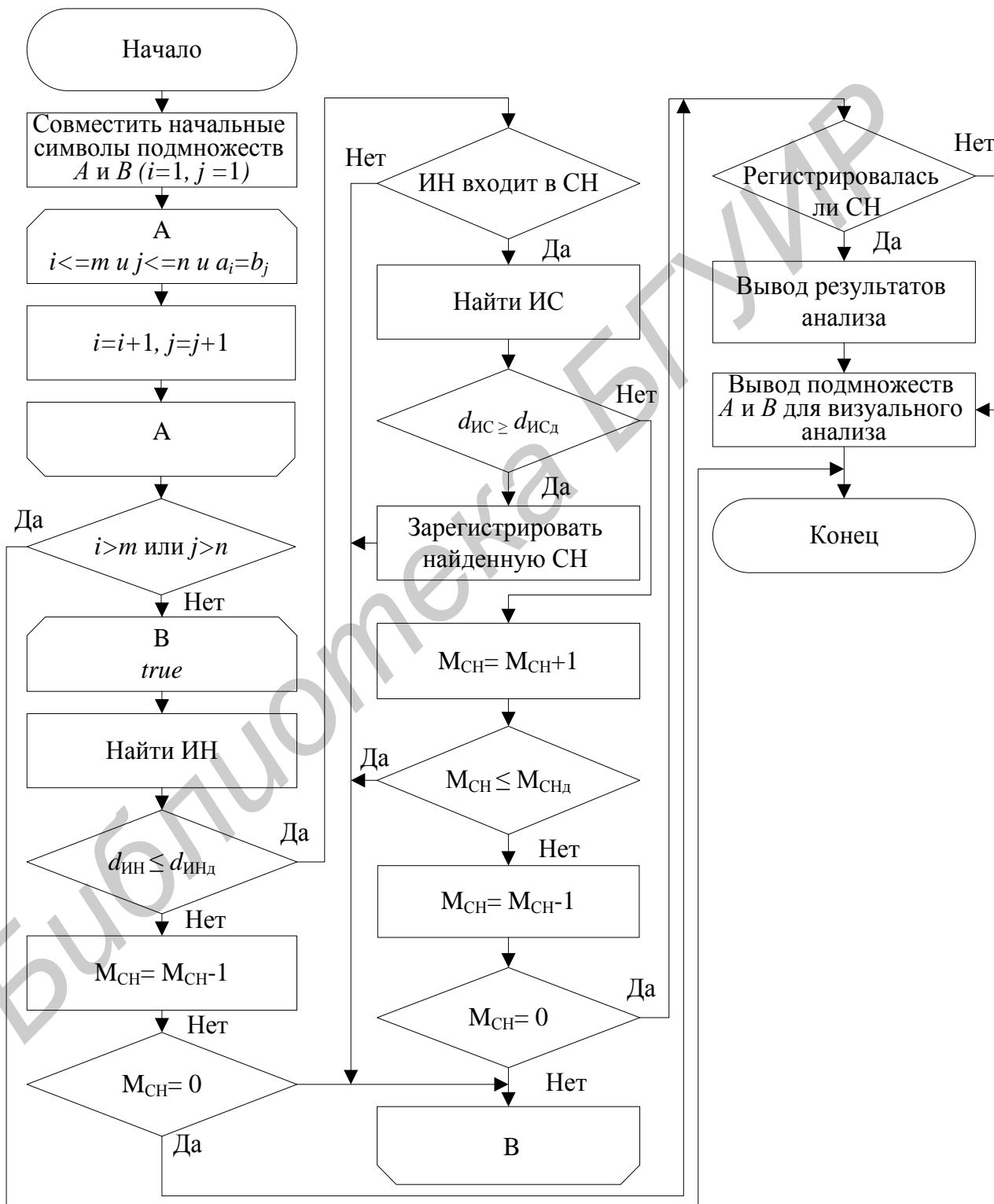


Рисунок 1 – Алгоритм поиска ошибок оператора при эксплуатации систем тропосферной связи

На рисунке 1 введены следующие обозначения: индикатор совпадений (ИС) – пара совпадающих подмножеств $(\alpha_i, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_{i+l}) \in A$ и $(b_j, b_{j+1}, \dots, b_{j+l}) \in B$, ограниченная несовпадающими операциями слева ($\alpha_{i-1} \neq b_{j-1}$) и справа ($\alpha_{i+l+1} \neq b_{j+l+1}$) или началом и концом множеств A и B ; $d_{ИС}$ – длина индикатора совпадений; $d_{ИСД}$ – допустимая длина ИС; $d_{ИНД}$ – допустимая длина ИН; совокупность несовпадений (СН) – совокупность стоящих подряд ИН длиной $d_{ИН} \leq d_{ИНД}$, ограниченная слева и справа индикаторами совпадений длиной $d_{ИС} \geq d_{ИСД}$; мощность подмножества СН ($M_{СН}$) – количество ИН и СН; $M_{СНД}$ – допустимая мощность СН.

Для оценки эффективности разработанного алгоритма в диссертационной работе использовались рассмотренные ранее вероятностно-временные показатели эффективности β' , $M(T)$, $D(T)$.

Из практики известно, что эксплуатационная устойчивость технических систем в значительной степени определяется возможностями оператора по использованию диагностической информации для идентификации аварийной ситуации (АС) [4]. Поэтому в целях отработки вопросов эксплуатации СТС при возникновении аварий различного рода в диссертации предложены имитационные модели АС. Они разработаны на основе метода экспертных систем. Суть данного метода заключается в следующем: для каждой аварийной ситуации эксперты (высококвалифицированные операторы с большим опытом работы) определяют возможные причины их возникновения, а затем ранжируют их по вероятности возникновения. При невозможности оценить «вес» (значимость) каждой причины они считаются равновероятными. Далее для каждой причины АС эксперты составляют в словесной форме алгоритмы ее идентификации и локализации. На заключительном этапе на основании мнений экспертов и с учетом статистической оценки качества экспертов создается библиотека эталонных алгоритмов действий операторов СТС в различных аварийных ситуациях.

В **третьей главе** на основе проведённых исследований были сформулированы основные требования, которым должно соответствовать программное обеспечение, реализующее имитационное моделирование процессов эксплуатации СТС при взаимодействии «оператор – система» [1, 2, 6, 11, 12, 16]. Разработаны структуры программного и алгоритмического обеспечения моделей таких систем. При этом в структуре программного обеспечения приведены необходимые блоки и взаимосвязи, которые обеспечивают корректную работу всех приложений имитационной модели. Предложенное в работе алгоритмическое обеспечение имитационных моделей СТС позволяет реализовать три основных режима работы: «Обучение», «Тренировка», «Контроль». Они учитывают основные подходы к подготовке операторов систем тропосферной связи и, следовательно, непосредственно оказывают влияние на устойчивость таких систем.

В диссертации разработана архитектура компьютерной имитационной модели СТС, включающая архитектуру клиентской и серверной части приложений, протоколы обмена управляющей и аудиоинформацией между клиентом и сервером. Даны рекомендации по проектированию структуры программного и алгоритмического обеспечения, которые в конечном итоге могут позволить разработчикам избежать ошибок проектирования моделей СТС, а также снизить временные затраты.

В **четвертой главе** приведено практическое применение результатов, полученных в рамках диссертационных исследований и изложенных выше, на примере реализации разработанного КТ, имитирующего работу ЦТРС Р-423-1. Цифровая тропосферная станция Р-423-1 состоит на вооружении Вооруженных Сил Республики Беларусь и наиболее интенсивно используется в подразделениях войск связи [16, 17].

Экспериментальное использование компьютерного тренажера ЦТРС Р-423-1 в боевой подготовке войск связи и образовательном процессе военных учебных заведений Республики Беларусь позволило сделать выводы о возможности существенного повышения эксплуатационной устойчивости СТС и эффективности образовательного процесса при взаимодействии «оператор – система». Об этом свидетельствуют соответствующие акты о практическом внедрении результатов диссертационной работы.

В рамках диссертационной работы на основании опыта использования КТ ЦТРС Р-423-1 в образовательном процессе кафедры связи военного факультета в УО «БГУИР» выработаны основные требования для подготовки человека-оператора таких систем. Предложены критерии оценки операторов СТС (обучаемых) в процессе тренажерной подготовки, которая показывает уровень подготовки операторов и учитывает специфику процессов эксплуатации СТС и компьютерного тренинга и поэтому является неотъемлемой частью КТ. При этом под уровнем подготовки (обученности) человека-оператора понимается усвоенная совокупность знаний, умений и навыков, необходимых для безошибочной (т. е. устойчивой) эксплуатации реального образца технической системы с соблюдением регламента времени [9, 16].

Для определения уровня подготовки оператора СТС использовались такие показатели, как полнота (объем) знаний, системность знаний, прочность знаний, осмысленность знаний, действенность знаний и самостоятельность. Все указанные выше показатели нашли свое количественное выражение через соответствующие коэффициенты в имитационной модели ЦТРС Р-423-1. Следует также отметить, что для произвольного образца СТС численное значение данных коэффициентов может быть получено на основе метода экспертных оценок.

В диссертационной работе все ошибки, допускаемые операторами в

зависимости от их влияния на эксплуатационную устойчивость СТС, подразделялись на критические и некритические ошибки. При этом под критическими ошибками понимаются действия операторов, которые приводят к невозможности дальнейшей эксплуатации СТС (т. е. потеря устойчивости технической системы). Таким ошибкам дается оценка «неудовлетворительно». Некритические ошибки – действия оператора, отличные от эталонных согласно инструкции по эксплуатации (пропуски, замены, добавления, перестановки операций). Данные ошибки ведут к незначительной потере устойчивости технической системы и оцениваются по некоторой шкале.

Из практики эксплуатации технических систем известно, что наиболее важным показателем при определении фактического уровня подготовки человека-оператора является его самостоятельность. При этом под самостоятельностью понимается способность человека-оператора СТС решать комплексную задачу в полном объеме с принятием самостоятельных безошибочных решений как в одиночном порядке, так и во взаимодействии с другим персоналом. В рамках диссертационных исследований коэффициент самостоятельности η_C оператора СТС определяется из следующего выражения [10]:

$$\eta_C = \sum_{i=1}^6 \rho_i \eta_i = \rho_1 \eta_1 + \rho_2 \eta_2 + \rho_3 \eta_3 + \rho_4 \eta_4 + \rho_5 \eta_5 + \rho_6 \eta_6 \quad (10)$$

где ρ_i – вес i -го частного коэффициента качества; $i \in [1, 6]$; $\sum_{i=1}^6 \rho_i = 1$; $\eta_1 = \eta_{\Pi}$ – коэффициент полноты; $\eta_2 = \eta_{\text{И}}$ – коэффициент информативности; $\eta_3 = \eta_{\text{ЗАП}}$ – коэффициент запаздывания; $\eta_4 = \eta_{\text{Н}}$ – коэффициент нормативности; $\eta_5 = \eta_{\text{ОПД}}$ – коэффициент обязательных первичных действий; $\eta_6 = \eta_{\text{В}}$ – коэффициент взаимодействия. Коэффициент η_C по своей сути является математическим ожиданием перечисленных выше коэффициентов, а ρ_i и η_i рассчитывают на основе метода экспертных оценок.

Однако в работе показано, что использовать только показатель (10) недостаточно для оценки уровня подготовки оператора. На практике необходимы и другие количественные показатели, имеющие высокую степень объективности и возможность оценивания по шкале баллов. Поэтому в диссертации была предложена другая количественная характеристика уровня подготовки. Он определяется по 10-балльной шкале путем суммирования баллов за безошибочно и своевременно выполненные задания с учетом коэффициента значимости конкретного задания и последующего сопоставления суммарной величины с максимально возможной. При этом для определения уровня обученности человека-оператора СТС использовался известный в литературе метод нечетких логических уравнений.

В рамках диссертационной работы приведены примеры экспериментального использования имитационной модели ЦТРС Р-423-1 в ряде подразделений войск связи Вооруженных Сил Республики Беларусь и на кафедре связи военного факультета УО «БГУИР». Полученные экспериментальные результаты демонстрируют значительное повышение эксплуатационной устойчивости СТС при взаимодействии «оператор – система», о чем свидетельствуют соответствующие акты о практическом внедрении результатов диссертационной работы в подразделениях войск связи.

Оценка эффективности применения КТ ЦТРС Р-423-1 в образовательном процессе была подтверждена путем проведения на кафедре связи военного факультета УО «БГУИР» педагогического эксперимента. Суть данного эксперимента заключалась в следующем: были сформированы четыре группы курсантов, две экспериментальные (ЭГ) и две контрольные (КГ) группы. При этом тренировка курсантов по эксплуатации станции как в ЭГ, так и в КГ занимала одинаковое количество времени (24 ч). Курсанты ЭГ первые 12 ч практических занятий отрабатывали нормативы на КТ, а последующие 12 ч (поочередно группами численностью 2–3 человека в течение 10–15 мин) тренировались на реальном образце ЦТРС Р-423-1. В отличие от ЭГ курсанты КГ все время проведения эксперимента тренировались только на реальном образце ЦТРС Р-423-1. Тренировка курсантов КГ проводилась также поочередно по группам численностью 2–3 человека в течение 10–15 мин.

На заключительном этапе педагогического эксперимента каждый курсант ЭГ и КГ был оценен по 10-балльной системе группой высококвалифицированных экспертов с использованием реального образца ЦТРС Р-423-1. Результаты эксперимента ЭГ и КГ представлены на диаграмме (рисунок 2).

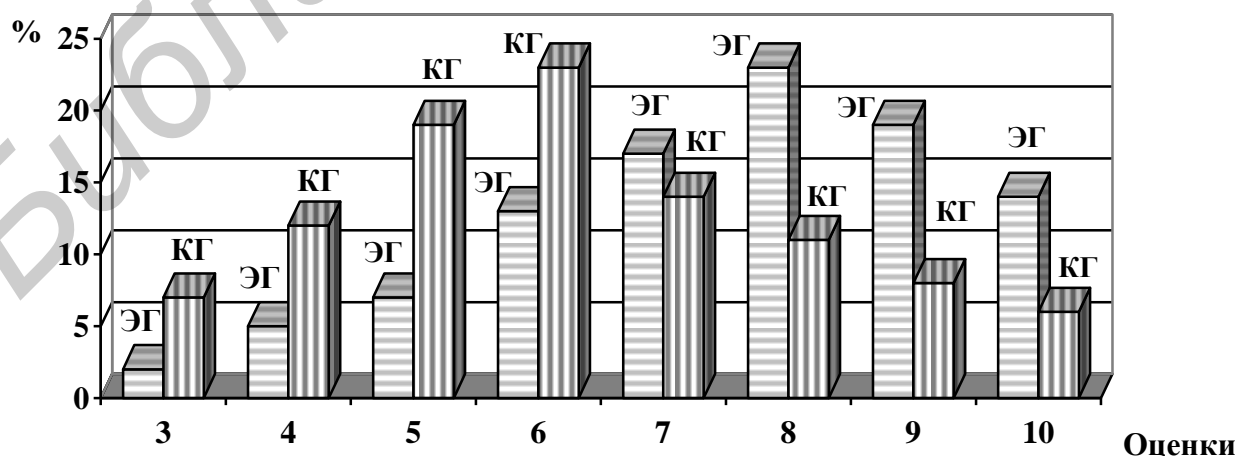


Рисунок 2 – Результаты оценки уровня подготовки персонала экспериментальных и контрольных групп

Из диаграммы (см. рисунок 2) видно, что 56 % курсантов ЭГ и только 25 % курсантов КГ получили оценки «десять», «девять», «восемь». Данные результаты не идут вразрез с общемировой практикой использования компьютерных тренажеров в образовательном процессе и свидетельствуют о существенном повышении его эффективности. Рост показателей эффективности образовательного процесса определяется в первую очередь значительным увеличением времени нахождения оператора в процессе эксплуатации СТС. При этом присутствует важная экономическая составляющая – наблюдается снижение эксплуатационных расходов. Здесь следует отметить, что уровень обученности человека-оператора в значительной степени определяет эксплуатационную устойчивость технических систем. Таким образом, увеличение эффективности образовательного процесса ведет к повышению эксплуатационной устойчивости СТС во взаимодействии «оператор – система».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Впервые определен состав и содержание основных элементов имитационной модели систем тропосферной связи (тренажерная модель, информационная модель, модель обучения) и выполнено их сравнение с имитационными моделями в других технических системах (авиационные, автомобильные, танковые и т. п.). Обосновано использование текстового программирования при создании компьютерных тренажеров систем тропосферной связи [1, 2, 10–12, 15, 16].

2. Впервые разработаны имитационные модели эксплуатации систем тропосферной связи с использованием алгебраической функциональной сети, позволяющие количественно оценить уровень подготовки персонала на основе замены описательных операций их оценочными аналогами с использованием метода итерации на основе байесовского подхода, а при укрупнении больших фрагментов функциональной сети – на основе L -матрицы инцидентий. Разработаны имитационные модели описания разнообразных ошибок и аварийных ситуаций в системах тропосферной связи, основанных на использовании алгебраических функциональных сетей [3, 4, 5].

3. Сформулированы основные требования, которым должно соответствовать программное обеспечение, реализующее имитационное моделирование эксплуатации СТС при взаимодействии «оператор – система». Разработаны структуры программного и алгоритмического обеспечения моделей таких систем в режимах «Обучение», «Тренировка», «Контроль». Они учитывают основные подходы к подготовке персонала систем тропосферной связи и оказывают существенное влияние на их эксплуатационную устойчивость [1, 2, 11–13, 15].

4. Предложена количественная характеристика уровня подготовки операторов СТС, который определяется по 10-балльной шкале путем суммирования баллов за безошибочно и своевременно выполненные задания с учетом коэффициента значимости каждого задания и последующего сопоставления суммарной величины с максимально возможной. При этом для определения уровня обученности человека-оператора СТС использовался известный в литературе метод нечетких логических уравнений [2, 5, 8, 9, 16].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанные имитационные модели эксплуатации систем тропосферной связи, программное и алгоритмическое обеспечение могут использоваться в процессе моделирования систем тропосферной связи в виде компьютерных тренажеров, что позволяет снизить до 10 раз эксплуатационные расходы. Использование компьютерных тренажеров систем тропосферной связи в образовательном процессе и боевой подготовке войск повышает на 30 % эксплуатационную устойчивость систем тропосферной связи (акты о практическом внедрении результатов диссертационной работы) [3, 4, 6–9, 16].

2. Предложенное алгоритмическое обеспечение имитационных моделей имеет типовую структуру и поэтому может использоваться при проектировании и оптимизации компьютерных тренажеров современных систем тропосферной связи. Разработан компьютерный тренажер, имитирующий работу ЦТРС Р-423-1, он позволяет увеличить объем отработки практических вопросов до 80 % от общего объема практической составляющей программы учебной дисциплины, об этом свидетельствуют результаты апробации и внедрения тренажера в образовательный процесс кафедры связи военного факультета в УО «БГУИР» и кафедры связи факультета связи и АСУ УО «ВА РБ», а также в боевую подготовку подразделений войск связи ВС РБ (акты о практическом внедрении результатов диссертационной работы). В связи с тем, что компьютерный тренажер ЦТРС Р-423-1 представляет собой программный продукт ограниченный на его тиражирование (количество инсталляций) практически нет [2, 9, 16, 17].

3. Предложены критерии оценки уровня подготовки персонала СТС в процессе тренажерной подготовки. Представленный в диссертационной работе материал является методической основой для организации подготовки и переподготовки персонала систем тропосферной связи с применением компьютерных тренажеров с целью повышения устойчивости СТС [2–4, 6, 7, 9, 10, 14, 16].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Касанин, С.Н. Тенденции развития виртуальных тренажеров / С.Н. Касанин, В.В. Пискун // Вестник Военной академии Республики Беларусь. – 2007. – № 2. – С. 123–130.
2. Касанин, С.Н. Виртуальные тренажеры систем тропосферной связи / С.Н. Касанин, В.В. Пискун // Вестник Национального университета обороны Республики Казахстан. – 2009. – № 4. – С. 25–28.
3. Касанин, С.Н. Модели ошибок при эксплуатации систем тропосферной связи / С.Н. Касанин // Веснік сувязі. – 2012. – № 5. – С. 25–29.
4. Касанин, С.Н. Математические модели аварийных ситуаций при эксплуатации систем тропосферной связи / С.Н. Касанин // Доклады БГУИР. – 2012. – № 7. – С. 99–104.

Статьи в материалах научных конференций

5. Пискун, В.В. Виртуальные тренажеры вооружения и военной техники / С.Н. Касанин, В.В. Пискун // Информационный сборник Вооруженных Сил. – 2006. – № 1. – С. 41–47.
6. Дмитриук, А.М. Практика применения инновационных технологий в военно-техническом образовании / А.М. Дмитриук, С.Н. Касанин, Г.Ю. Дюжов // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: материалы Респ. науч.-метод. конф., Минск, ноябрь, 2006 г. / Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»; редкол.: Ц.С. Шикова [и др.]. – Минск: БГУИР, 2006. – С. 23–24.
7. Касанин, С.Н. Компьютерные обучающие тренажеры средств связи / С.Н. Касанин, А.М. Разувалов, А.А. Односторонцев // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: сб. мат. VI Международной науч.-метод. конф., Минск, декабрь, 2007 г. / Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»; редкол.: Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск: БГУИР, 2007. – С. 385–387.
8. Касанин, С.Н. Виртуальные тренажеры средств военной связи / С.Н. Касанин, В.В. Пискун, Г.Ю. Дюжов // «MILEX-2009»: материалы IV Международной науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения, Минск, май, 2009 г. / ГУ «БелИСА»; редкол.: В.Е. Кратенок [и др.]. – Минск: БелИСА, 2009. – С. 209–211.

9. Касанин, С.Н. Выбор и обоснование показателей уровня обученности операторов систем тропосферной связи / С.Н. Касанин // Проблемы повышения эффективности образовательного процесса на базе информационных технологий : сб. трудов специализированной Международной науч. конф., Минск, апрель, 2012 г. / Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» ; редкол. : А.М. Дмитрюк [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – С. 42–49.

Тезисы докладов в материалах конференций

10. Пискун, В.В. Состояние и перспективы развития обучающих тренажеров для войск связи / С.Н. Касанин, В.В. Пискун // Современные проблемы качества высшего образования : материалы межвуз. науч.-метод. конф., Минск, октябрь, 2004 г. / Академия Министерства внутренних дел Республики Беларусь ; редкол. : А.Л. Савенок [и др.]. – Минск : Акад. МВД Респ. Беларусь, 2005. – С. 148–149.

11. Пискун, В.В. Выбор платформы для разработки обучающих программ / В.В. Пискун, С.Н. Касанин, В.А. Менжинский // Организационно-методическое обеспечение образовательного процесса в вузе : материалы межвуз. науч.-метод. конф., Минск, октябрь, 2005 г. / Академия Министерства внутренних дел Республики Беларусь ; редкол. : А.Л. Савенок [и др.]. – Минск : Акад. МВД Респ. Беларусь, 2006. – С. 133–134.

12. Пискун, В.В. Алгоритм проектирования виртуальной системы связи / В.В. Пискун, С.Н. Касанин // Актуальные проблемы повышения эффективности подготовки и применения группировок войск, вооружения и военной техники ВС РБ в ходе ведения военных действий начального периода войны и пути их решения : материалы военно-науч. конф., Минск, март, 2006 г. / Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь» ; редкол. : В.М. Белько [и др.]. – Минск : ВА РБ, 2006. – С. 126–127.

13. Касанин, С.Н. Компьютерные тренажеры средств связи / С.Н. Касанин, В.В. Пискун, В.А. Богуш // Высшая военная школа: проблемы и перспективы : материалы IX Международной науч.-метод. конф., Минск, апрель 2008 г. / Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь» ; редкол. : В.М. Белько [и др.] Минск : ВА РБ, 2008. – С. 230–232.

14. Афанасенко, С.Э. Электронные издания и ресурсы в образовательном процессе / С.Э. Афанасенко, С.Н. Касанин // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития : материалы V Международной науч.-метод. конф., Минск, ноябрь, 2010 г. / Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» ; редкол. : Е.Н. Живицкая [и др.]. – Минск : БГУИР, 2010. – С. 185–186.

15. Касанин, С.Н. Типовое программное и алгоритмическое обеспечение компьютерных тренажеров систем тропосферной связи / С.Н. Касанин, А.Е. Каминский, П.С. Румянцев // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития : материалы VI Международной науч.-метод. конф., Минск, ноябрь, 2012 г. / Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»; редкол. : Е.Н. Живицкая [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – С. 216.

Отчет о НИР

16. Касанин, С.Н. Разработка и создание программного продукта по изучению цифровой тропосферной станции Р-423-1 : отчет о НИР / С.Н. Касанин, Д.М. Хоменок. – Минск, БГУИР, 2008. – С. 38.

Авторское свидетельство

17. Компьютерный тренажер цифровой тропосферной станции Р-423-1 : свид. 189 Респ. Беларусь, МПК Н 04 Q 7/36 / С.Н. Касанин, Н.А. Петровский ; заявитель БГУИР. – № С20100047; заявл. 06.05.10 ; опубл. 09.07.10 // Реестр зарегистрированных компьютерных программ / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці.

РЭЗІЮМЭ

Касанін Сяргей Мікалаевіч

Павышэнне эксплуатацыйнай устойлівасці сістэм трапасфернай сувязі пры ўзаемадзеянні «аператар – сістэма»

Ключавыя словы: эксплуатацыйная ўстойлівасць, сістэмы трапасфернай сувязі, імітацыйныя мадэлі, камп'ютэрны трэнажор, функцыянальныя сеткі, «аператар – сістэма», алгебра алгарытмаў, праграмае забеспячэнне.

Мэта работы – павышэнне эксплуатацыйнай устойлівасці сістэм трапасфернай сувязі.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: у дысертацыі ўпершыню створана імітацыйная мадэль сістэм трапасфернай сувязі, заснаваная на працэдурах замены апісальных аперацый іх ацэнкавымі аналагамі з выкарыстаннем метаду ітэрацыі на аснове байесаўскага падыходу, а пры ўзбуйненні вялікіх фрагментаў функцыянальнай сеткі – на аснове матрыцы інцыдэнцый, што ў сукупнасці дазволіла распрацаваць методыку шматузроўневай ацэнкі падрыхтаванасці аператараў сістэм трапасфернай сувязі і знізіць да 10 разоў эксплуатацыйныя выдаткі.

Упершыню распрацаваны імітацыйныя мадэлі апісання памылак аператара і аварыйных сітуацый у працэсе эксплуатацыі сістэм трапасфернай сувязі, якія дазваляюць улічваць узаемадзеянне «аператар – сістэма» за кошт аб'яднання магчымасцяў функцыянальных сетак і мовы алгарытмічных алгебраў В. М. Глушкова, а таксама забяспечваюць аператыўную карэкцыю навыкаў і скарачэнне тэрмінаў падрыхтоўкі персаналу да трох разоў, а таксама павышэнне эксплуатацыйнай ўстойлівасці такіх сістэм на 30 %.

Створана алгарытмічнае і праграмае забеспячэнне камп'ютэрных трэнажораў, якія дазваляюць імітаваць працэс эксплуатацыі сістэм трапасфернай сувязі пры ўзаемадзеянні «аператар – сістэма», аўтаматызаваць працэс падрыхтоўкі і перападрыхтоўкі персаналу, а таксама павялічыць аб'ём адпрацоўкі практычных пытанняў да 80 % ад агульнага аб'ёму практычнай складальнай праграмы вучэбнай дысцыпліны.

Сукупнасць атрыманых вынікаў дазваляе дасягнуць павышэння эксплуатацыйнай надзейнасці сістэм трапасфернай сувязі пры ўзаемадзеянні «аператар – сістэма».

РЕЗЮМЕ

Касанин Сергей Николаевич

Повышение эксплуатационной устойчивости систем тропосферной связи при взаимодействии «оператор – система»

Ключевые слова: эксплуатационная устойчивость, системы тропосферной связи, имитационные модели, компьютерный тренажер, функциональные сети, «оператор – система», алгебра алгоритмов, программное обеспечение.

Цель работы – повышение эксплуатационной устойчивости систем тропосферной связи.

Полученные результаты и их новизна: в диссертации впервые создана имитационная модель систем тропосферной связи, основанная на процедурах замены описательных операций их оценочными аналогами с использованием метода итерации на основе байесовского подхода, а при укрупнении больших фрагментов функциональной сети – на основе матрицы инцидентий, что в совокупности позволило разработать методику многоуровневой оценки подготовленности операторов систем тропосферной связи и снизить до 10 раз эксплуатационные расходы.

Впервые разработаны имитационные модели описания ошибок оператора и аварийных ситуаций в процессе эксплуатации систем тропосферной связи, позволяющие учитывать взаимодействие «оператор – система» за счет объединения возможностей функциональных сетей и языка алгоритмических алгебр В. М. Глушкова, обеспечивающие оперативную коррекцию навыков и сокращение сроков подготовки персонала до трех раз, а также повышение эксплуатационной устойчивости таких систем на 30 %.

Созданы алгоритмическое и программное обеспечение компьютерных тренажеров, позволяющее имитировать процесс эксплуатации систем тропосферной связи при взаимодействии «оператор – система», автоматизировать процесс подготовки и переподготовки персонала, а также увеличить объем отработки практических вопросов до 80 % от общего объема практической составляющей программы учебной дисциплины.

Совокупность полученных результатов позволяет достичь повышения эксплуатационной надежности систем тропосферной связи при взаимодействии «оператор – система».

ABSTRACT

Kasanin Serghey Nikolaevich

Increase of tropospheric communication system's operating stability at «operator – system» interaction

Key words: operating stability, tropospheric communication system, imitation models, computer simulator, functional networks, «operator – system» interaction, algorithm algebra, software.

The objective of the investigation – to increase the operating stability of tropospheric communication systems.

The obtained results and their novelty: for the first time a simulation model of tropospheric communication systems based on the procedures of descriptive operations substitution with their evaluating analogues is presented, using the iteration method on the base of the Bayes's approach and on the base of incident matrix in case of large functional networks fragments extension that jointly enabled elaborating the method of multilevel evaluating of tropospheric communication system operators' efficiency and reducing operating costs up to 10 times.

For the first time simulation models of describing operator's mistakes and emergency conditions in the process of tropospheric communication system operation are worked out, that enable taking into account the «operator – system» interaction by means of combining the opportunities of functional systems and the language of V.M. Glushkov's algorismic algebras. They provide operative correction of skills and reduction of personnel training period up to three times as well as well as raising the operating stability of such systems by 30 %.

Algorithms and software for computer simulators have been developed that enable imitating the operation of tropospheric communication system with «operator – system» interaction, automating the process of training and upgrading the personnel as well as increasing the amount of practical training up to 80 % of the academic discipline curriculum's practical component.

Aggregation of the obtained results enables achieving increase of operating reliability of tropospheric communication systems with «operator – system» interaction.

Научное издание

Касанин Сергей Николаевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
СИСТЕМ ТРОПОСФЕРНОЙ СВЯЗИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
«ОПЕРАТОР – СИСТЕМА»**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Подписано в печать	1.10.2014.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л.
Уч.-изд. л.		Тираж 60 экз.	Заказ

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/238 от 23.03.2014, ЛП № 02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6