

# SCCS



**Системы управления,  
связи и безопасности**

**Systems of Control,  
Communication and  
Security**

**№1 2015**

ISSN 2410-9916  
<http://sccs.intelgr.com>

ООО «Корпорация «Интел Групп»

## **Системы управления, связи и безопасности**

Периодическое электронное издание  
комплексного распространения

Научный журнал

Издается с апреля 2015 года  
Выходит один раз в квартал

№ 1  
I квартал 2015 г.

Журнал «Системы управления, связи и безопасности» является научным рецензируемым периодическим электронным изданием. Цель журнала – максимально полное, оперативное и открытое информирование научной общественности об основных результатах научно-исследовательских работ в области теории управления, теории связи, теории безопасности, а также о новых тенденциях развития технологий соответствующих прикладных областей.

Периодичность выхода журнала – четыре номера в год.

Журнал «Системы управления, связи и безопасности» публикует только статьи, которые соответствуют основным тематическим разделам журнала:

1. Анализ новых технологий и перспектив развития систем управления, связи и безопасности.
2. Системы управления.
3. Интеллектуальные информационные системы.
4. Робототехнические системы.
5. Вычислительные системы.
6. Информационные процессы и технологии. Сбор, хранение и обработка информации.
7. Информационная безопасность.
8. Передача, прием и обработка сигналов. Радиоэлектронный мониторинг.
9. Системы связи и телекоммуникации.
10. Системы обеспечения безопасности.
11. Моделирование сложных организационно-технических систем.
12. Объекты интеллектуальной собственности и инновационные технологии в области управления, связи и безопасности.

Публикация в журнале является научным печатным трудом.

Журнал доступен по адресу <http://sccs.intelgr.com>.

### Содержание

<b>Чукляев И. И.</b> НЕЧЕТКАЯ ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ СИСТЕМНЫХ ФАКТОРОВ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ИНТЕРЕСАХ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ	4
<b>Баженов А.В., Малыгин С.В.</b> РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОИСКА АВАРИЙНЫХ СУДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СФЕРИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ	16
<b>Семенов С.С., Педан А.В., Смолеха А.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПОЗНАНИЯ ОБРАЗОВ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ТЕХНИКИ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	26
<b>Воловик В.С.</b> МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИМУЩЕСТВА СВЯЗИ, КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНИКИ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	37
<b>Воловик В.С.</b> МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНИКИ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В КОМПЛЕКТАХ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИМУЩЕСТВА СВЯЗИ	53
<b>Аганесов А.В.</b> МОДЕЛЬ СЕТИ ВОЗДУШНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА CSMA/CA	67
<b>Макаренко С.И., Михайлов Р.Л.</b> АДАПТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛИЗАЦИИ В ПРОТОКОЛЕ МАРШРУТИЗАЦИИ С УСТАНОВЛЕНИЕМ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА СЕТЬ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ	98

Архив выпусков журнала доступен по адресу <http://sccs.intelgr.com/arch.html>.

Главный редактор С.И. Макаренко

Редакционная коллегия:

А.В. Баженов, П.А. Будко, В.В. Борисов, Е.В. Гречишников, В.М. Коровин (тех. ред.), Ю.А. Кропотов, В.И. Левин, Г.И. Линец, А.С. Марков, Р.Л. Михайлов, Е.А. Новиков, С.С. Семенов

*Правила для авторов*

### **Материалы, представляемые в редакцию**

1. Файл со статьей, оформленной по образцу (<http://sccs.intelgr.com/download/article.doc>).
2. Сканированную копию экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию, в файле формата jpg, 300 dpi, в цвете.
3. По отдельному запросу редакции файлы с рисунками, выполненные в векторном формате vsd, wmf, emf, или в растровых форматах png или jpg.
4. Указание на необходимость оформления авторских справок о публикации, их количестве и порядке отправки авторам.
5. Авторы могут подготовить краткое сообщение рецензенту, дополнительно поясняющее отдельные элементы работы, их суть и новизну, рамки исследования, связь своей работы с имеющимися публикациями в предметной области. Данное сообщение необязательно, но, при его наличии, оно будет передано рецензенту вместе со статьей.

### **Порядок рецензирования и принятия статьи к публикации**

1. Авторский коллектив представляет в редакцию статью и сопроводительные материалы на адрес [sccs@intelgr.com](mailto:sccs@intelgr.com).
2. Редакция осуществляет проверку материалов на предмет соответствия требованиям к оформлению и представлению результатов. При необходимости технической правки статьи авторы уведомляются об этом.
3. Если замечаний по оформлению статьи нет, она проверяется в сервисах, выявляющих плагиат, и с результатами проверки передается на рецензирование. Редакция уведомляет авторов о передаче статьи на рецензирование.
4. Порядок проверки на плагиат и выбор сервиса для проверки определяется редакцией самостоятельно. Для проверки на плагиат редакцией используются Интернет-сервисы Антиплагиат, ТЕХТ, Content-watch, а также программы Etxt и Advego Plagiatus.
5. В случае положительного решения рецензентов о возможности публикации статьи авторы уведомляются об этом. В случае несовпадения мнений рецензентов о возможности публикации статьи, она передается на повторное рецензирование или рассматривается редакционной коллегией журнала, о чем уведомляется авторский коллектив. В случае решения рецензентов или редакционной коллегии журнала о невозможности публикации статьи авторы получают мотивированный отказ.
6. По решению рецензентов или редакционной коллегии статья может быть принята к публикации, но с доработками. В этом случае авторы должны в короткий срок переработать статью в соответствии с замечаниями рецензентов, либо дать мотивированный ответ по замечаниям. Если доработка статьи потребует значительного времени, авторы должны уведомить об этом редакцию.
7. После принятия статьи к публикации, авторы оплачивают редакционные расходы, связанные с публикацией статьи.
8. После оплаты редакционных расходов статья размещается в очередном номере журнала на сайте издательства. Авторы уведомляются о публикации их статьи по электронной почте.
9. После формирования очередного номера журнала данные об опубликованных в нем статьях в течение трех месяцев передаются в наукометрические базы учета научных публикаций.

Пример оформления статьи доступен по адресу <http://sccs.intelgr.com/download/article.doc>

1. Статья представляется в формате Word 97/2000/XP с расширением **doc**.
2. Рекомендуемый объем статьи – **до 50 страниц**. Объем может быть увеличен, если этого требует логика изложения материала.
3. Размер страницы – А4. Все поля (верхнее, нижнее, правое и левое) по 2 см.
4. Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman, размер шрифта 14 pt, одинарный междустрочный интервал, абзацный отступ 1,25 см, отступы между абзацами отсутствуют. В основном тексте допускаются выделения курсивом. Латинские буквы для обозначения переменных набираются курсивом; греческие, русские буквы, функции – прямым шрифтом. Цифровые индексы в обозначениях набираются прямым шрифтом.
5. Статья должна начинаться с индекса УДК, выровненного по левому краю. После индекса УДК следует пропуск строки.
6. Название статьи должно точно и однозначно характеризовать содержание статьи. Название статьи – полужирным шрифтом, выравнивание по центру без абзацного отступа. **Название писать строчными (маленькими) буквами**, используя заглавные буквы только там, где это необходимо (в начале первого слова, в названиях, именах собственных, сокращениях и т.п.). Не рекомендуется использовать в названии сокращения, кроме общепринятых в соответствующей предметной области. Точка после заглавия НЕ ставится. После названия статьи следует пропуск строки.
7. Фамилии и инициалы авторов указываются через запятую в последовательности, соответствующей личному вкладу в написание статьи. Фамилии авторов выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. Между фамилией и первым инициалом, а также между инициалами ставится неразрывный пробел (Ctrl+Shift+пробел). После фамилий авторов следует пропуск строки.
8. Аннотация выполняется на русском и английском языке в соответствии с [рекомендациями по написанию авторского резюме](#). Оформление аннотации: размер шрифта **11pt**, курсив, абзацный отступ 1,25 см. Заголовки отдельных элементов в структуре аннотации выделяются жирным шрифтом. После аннотации следует пропуск строки.
9. Ключевые слова оформляются так же, как и аннотация, и должны содержать основные понятия и термины, употребляемые в статье. Ключевые слова должны формулироваться таким образом, чтобы при семантическом поиске по ним можно было найти данную статью потенциально заинтересованным ученым. После абзаца с ключевыми словами следует пропуск строки.
10. Для структуризации статьи рекомендуется основной текст разделить по частям, имеющим условные подзаголовки «Введение», «Постановка задачи» («Формализация задачи»), «Модель...» («Методика...», «Метод...»), «Результаты моделирования» («Обоснование...»), «Выводы». Подзаголовки выполняются полужирным шрифтом и выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. Перед подзаголовками следует пропуск одной строки.
11. Таблицы выравниваются по центру без абзацного отступа. Текст внутри таблиц может выполняться шрифтом от 10pt до 14pt, в зависимости от степени информационной загрузки ячеек таблиц. Таблицы нумеруются по порядку упоминания, а их названия оформляются в виде «Таблица 1 – Название таблицы» и выравниваются по центру без абзацного отступа. Если таблица выполняется на нескольких страницах, необходимо выставлять признак заголовка для первой строки с наименованиями столбцов, либо дублировать первую строку с наименованиями на следующей странице.
12. Рисунки выполняются в виде внедренных объектов векторной графики, выполненных в формате MS Visio (**vsd**) или в форматах метафайлов Windows (**wmf** или **emf**). В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки выполняются в растровых форматах **jpg** или **png**. Нумерация рисунков последовательная по мере упоминания в статье в виде «Рис. 1. Название рисунка». Номер и название рисунка выравниваются по центру без абзацного отступа. До рисунка и после его названия вставляется пропуск строки. Допускается выполнение рисунков, расположенных параллельно друг другу на одном горизонтальном уровне. В этом случае рисунки и их названия помещаются в таблицу с прозрачными границами.

13. Формулы выполняются в редакторе формул MathType или Microsoft Equation 3.0. Формулы могут быть набраны в основном тексте со вставкой специальных математических символов через меню «Вставка-Символы». **Запрещается набирать формулы во встроенном редакторе формул Microsoft Office 2007 и выше.** Основной шрифт формул набираемых в MathType и Microsoft Equation 3.0, 14 pt. Формулы выравниваются по левому краю с абзачным отступом 2,5 см. При необходимости переноса формул используется общепринятая математическая запись переноса. Формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи, должны быть пронумерованы. Номер формулы проставляется с правого края страницы. При оформлении формул, не следует вставлять дополнительные пропуски строки до и после формул.
14. Для облегчения редактирования статьи просим выделять **желтым маркером** номера формул, номера рисунков, ссылки на литературу, ссылки на формулы и рисунки в основном тексте статьи.
15. В конце статьи, по желанию авторов, могут быть приведены высказывания благодарности за помощь в исследованиях, сведения о грантах, НИРах и ОКРах, в рамках которых выполнялась работа, а также сведения об источниках финансирования исследований. Также в конце статьи авторами могут быть представлены приложения, где содержатся листинги программ, на основе которых выполнялось моделирование, различные объемные таблицы и графики, а также другие элементы, которые с одной стороны являются неотъемлемой частью исследования, а с другой - загромаждают текст статьи.
16. Список используемых источников оформляется в соответствии с **требованиями к оформлению библиографических ссылок нашего журнала** после подзаголовка «Литература», который выполняется полужирным шрифтом, выравниваются по центру страницы без абзачного отступа. Нумерация ссылок определяется порядком их упоминания в статье. При формировании списка литературы не следует использовать функцию автоматического формирования нумерованного списка. После подзаголовка «Reference» литература дублируется на английском языке. При оформлении списка литературы и его перевода редакция настоятельно просит авторов пользоваться и соблюдать требования и **рекомендации по оформлению списка литературы и его переводу на английский язык**. После списка литературы и Reference следует пропуск строки.
17. После списка Reference указывается дата первого представления статьи в редакцию. Данный абзац выделяется полужирным шрифтом, выравнивание по правому краю страницы.
18. В конце статьи указывается информация об авторах. Данные сведения для каждого соавтора обязательно должны содержать: фамилию, имя, отчество полностью, научную степень, научное звание, должность и полное наименование организации, телефон и e-mail.
19. Статья завершается текстовым блоком, дублирующим название статьи, фамилии и инициалы авторов, аннотацию статьи и ключевые слова на английском языке. Данный текстовый блок начинается с новой страницы и его элементы оформляются так же, как соответствующие элементы на русском языке в начале статьи.

Требования к оформлению блока, содержащего сведения об авторах. Нижеуказанные сведения приводятся по каждому автору отдельно.

1. Фамилия, Имя, Отчество на русском языке.
2. Научная степень и научное звание (если есть) на русском языке.
3. Место работы с указанием страны и города на русском языке. Указывается официальное название, желательно из устава, в именительном падеже. Так как базы цитирования (например, РИНЦ) «привязывают» статью к определенному автору в определенной организации, то неверное указание места работы может привести к тому, что Ваша статья может отсутствовать в списке Ваших публикаций в базах цитирования, а также в списке публикаций сотрудников Вашей организации.
4. Должность на русском языке.
5. Область научных интересов – на русском языке.
6. Адрес электронной почты. Убедительная просьба указывать существующий и действующий адрес электронной почты для КАЖДОГО соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом) для контактов с авторами статьи. Данный адрес можно указать один на всех авторов. Можно указать как рабочий (предпочтительно), так и домашний (по желанию) адрес. Обратите внимание на то, что эта информация будет опубликована в открытом доступе.
8. Телефон для связи.

1. Фамилия, Имя, Отчество на английском языке.
2. Научная степень и научное звание (если есть) на английском языке. При затруднениях, связанных с переводом, просим воспользоваться [рекомендациями по переводу должности, ученой степени и ученого звания](#).
3. Международное название места работы с указанием страны и города на английском языке (желательно, в соответствии с уставом). Переводить по буквам аббревиатуры в названии НЕ НУЖНО. Редакция просит Вас воздержаться от использования аббревиатур и сокращений, кроме аббревиатур, указывающих на организационно-правовую форму места работы автора (ФГБОУ, ООО, ОАО и т. п.).
4. Должность на английском языке. При затруднениях, связанных с переводом, просим воспользоваться [рекомендациями по переводу должности, ученой степени и ученого звания](#).
5. Область научных интересов – на английском языке (Field of research: ...).
6. Адрес электронной почты. Убедительная просьба указывать существующий и действующий адрес электронной почты для КАЖДОГО соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом) для контактов с авторами статьи. Данный адрес можно указать один на всех авторов. Можно указать как рабочий (предпочтительно), так и домашний (по желанию) адрес. Обратите внимание на то, что эта информация будет опубликована в открытом доступе.
8. Телефон для связи.

Следует учесть, что данные, приведенные в сведениях об авторах (электронный и обычный адрес, телефоны и факс), должны позволять редакции быстро связаться с авторами статей. Если такая связь оказывается невозможной, то это может привести к задержке в публикации статьи. Следует иметь в виду, что редакция не имеет возможности для ведения длительных междугородних телефонных переговоров. Поэтому настоятельно рекомендуется всю переписку с редакцией вести по электронной почте. Редакция настоятельно рекомендует приводить действующие и часто просматриваемые электронные адреса.

При написании работ просим авторов воспользоваться [рекомендациями по написанию научных статей](#).

*Минимальные системные требования:*

- процессор: Intel x86, x64, AMD x86, x64 не менее 1 ГГц;
- оперативная память RAM ОЗУ: не менее 512 МБайт;
- свободное место на жестком диске (HDD): не менее 120 МБайт;
- операционная система: Windows XP и выше;
- Adobe Acrobat Reader;
- дисковод CD-ROM;
- мышь.

ООО «Корпорация «Интел Групп»

**Системы управления, связи и безопасности**

Научный журнал

*Адрес редакции:*

197372, Санкт-Петербург, пр. Богатырский, д. 32, к. 1 лит. А, пом. 6Н.

Тел.: (812) 945-50-63.

<http://sccs.intelgr.com>

E-mail: [sccs@intelgr.com](mailto:sccs@intelgr.com)

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 61239 от 03.04.2015 г.

Подписано к использованию 01.03.2017

Объем издания – 3,7 Мб.

Комплектация издания – 1 CD.

Тираж 100 экз.

УДК 511.1

## Нечеткая оценка взаимосвязей системных факторов информационно-управляющей системы в интересах повышения защищенности информационных ресурсов

Чукляев И. И.

**Постановка задачи:** усложнение структурной сложности и многокомпонентности сложных систем различного назначения, разнообразие протекающих в них процессов, потребность в учете большого количества параметров и оперативного управления в псевдореальном масштабе времени, обусловленном инерционностью системы, определяют острую необходимость управления рискообразующими факторами, которые регламентированы действующей концепцией управления рисками. Разработанные метод управления рисками в аспекте обеспечения защищенности информационных ресурсов различной степени конфиденциальности, циркулирующих в распределенной информационно-управляющей системе, и комплексная модель управления рисками, составной частью которых является рассматриваемая нечеткая когнитивная модель и методика ее построения направлены на минимизацию рискообразующих системных и внешних факторов вероятностного и нестохастического характера. **Целью работы** является разработка нечеткой когнитивной модели оценки взаимосвязей системных факторов и определения системных характеристик. **Используемые методы:** решение задачи основано на использовании методов и моделей управления рисками, основанных на методологии нечеткого моделирования. **Новизна:** элементами новизны представленного решения являются методика построения и разработанная нечеткая когнитивная модель оценки взаимосвязей системных факторов анализируемой системы (процесса, проблемы) и идентифицированных источников (опасности возникновения) рисков; возможности по оценке непосредственного влияния концептов друг на друга, влиянию нескольких концептов на один и опосредованному влиянию концептов. Также к элементам новизны стоит отнести модель динамики для разработанной модели. **Результат:** использование представленного решения по оценке взаимосвязей системных факторов и определения системных характеристик позволяет получить исходные данные для определения влияния системных факторов на источники (опасности возникновения) рисков посредством нечетких моделей на основе нечетких нейронных продукционных ANFIS-сетей, которые позволяют выполнять оценку взаимосвязей системных факторов, определять системные характеристики и осуществлять моделирование системной динамики. **Практическая значимость:** разработанная нечеткая когнитивная модель и методика ее построения являются составной частью метода управления рисками в аспекте обеспечения защищенности информационных ресурсов различной степени конфиденциальности, циркулирующих в распределенной информационно-управляющей системе и комплексной модели управления рисками.

**Ключевые слова:** методика построения, нечеткая когнитивная модель, системные факторы, оценка, взаимосвязи, системная динамика.

### Актуальность

В настоящее время в основу построения и функционирования сложных систем различного назначения закладывается концепция управления рисками. Использование данной концепции обосновано особенностями построения и функционирования таких систем [1]:

- сложность структуры, многокомпонентность, многочисленные протекающие процессы, учет большого количества параметров;
- динамичное изменение структуры;

- неполнота исходной информации;
- разнообразие воздействий рискообразующих системных и внешних факторов вероятностного и нестохастического характера;
- наличие сложных нелинейных зависимостей между параметрами;
- необходимость оперативного принятия управленческих решений;
- ограниченные возможности экспериментальных исследований;
- невозможность создания и использования общих аналитических моделей системы и процессов её функционирования;
- необходимость использования различных подходов к моделированию системы и использование результатов моделирования для оперативного управления системой;
- оперативное управление возможно в псевдореальном масштабе времени, обусловленном инерционностью системы.

Риск является неизбежным, сопутствующим фактором функционирования или развития любой сложной системы или процесса. Под риском, как правило, понимается сочетание вероятности (возможности) события (нанесения ущерба) и его негативных последствий (тяжести этого ущерба) [2, 3]. В ряде случаев под риском также понимают вероятность (возможность) отклонения от ожидаемого результата или события. Для рисков характерны неожиданность, внезапность возникновения, что предполагает прогнозирование и управление рисками. Это во многом субъективный процесс, в ходе которого учитываются не только количественные показатели, получаемые с использованием формальных математических методов, основанных на точном и адекватном описании, но и показатели, плохо поддающиеся формализации.

Одним из вариантов разрешения данного противоречия является использование методов и моделей управления рисками, основанных на методологии нечеткого моделирования, предложенной и развитой в работах таких ученых, как Л. Заде, Д. Дюбуа, А. Прад, А. Кофман, Е. Мамдани, А.Н. Мелихов, А.Н. Борисов [4].

Управление рисками позволяет выявлять, оценивать, отслеживать и устранять риски до и во время их превращения в проблемы.

Основными этапами управления рисками являются следующие:

- идентификация рисков;
- анализ рисков;
- планирование мероприятий для противодействия рискам на каждом из уровней управления рисками;
- мониторинг рисков.

В зависимости от этапа управления рисками мероприятия могут быть направлены на:

- устранение источников риска (опасностей);
- предотвращение/снижение уровня риска;
- ликвидацию последствий риска.

При этом следует отметить, что наиболее эффективным механизмом выработки мероприятий в процессе управления рисками является принятие решений о мерах по устранению источников риска, а также по предотвращению/снижению риска, т.е. до превращения риска в проблему, так как это требует гораздо меньших ресурсов, чем на ликвидацию последствий риска. Однако в ряде случаев сделать этого не удастся.

Вышесказанное обуславливает необходимость комплексного решения проблем управления рисками за счет обоснованного выбора мероприятий по предотвращению/снижению рисков на всех этапах управления ими.

### Постановка задачи

В соответствии с рассмотренными требованиями разработан метод управления рисками в аспекте обеспечения защищенности информационных ресурсов различной степени конфиденциальности, циркулирующих в распределенной информационно-управляющей системе (ИУС), основанный на методологии нечеткого моделирования и направленный на снижение рискообразующих внешних и системных (внутренних) факторов [1].

*Метод управления рисками* обобщенно состоит из следующих этапов:

*этап 1:* анализ исследуемой системы;

*этап 2:* оценка взаимосвязей системных факторов, определение системных характеристик;

*этап 3:* определение влияния системных факторов на источники (опасности возникновения) рисков;

*этап 4:* анализ влияния идентифицированных опасностей на риски с учетом того, что появление новой информации об опасностях возникновения рисков должно гибко учитываться при оценке степени риска;

*этап 5:* оценка и определение класса мероприятий по результатам оценки степени риска и возможных его последствий;

*этап 6:* выбор мероприятий в рамках выделенного класса, которые могут быть направлены либо непосредственно на снижение степени риска; на устранение источников риска; на системные факторы, влияющие на источники рисков; либо на ликвидацию последствий риска;

*этап 7:* оценка воздействия (степени реализуемости) выбранных мероприятий, в рамках выделенного класса;

*этап 8:* моделирование динамики управления рисками и анализ возможных сценариев управления рисками.

*этап 9:* мониторинг рисков, представляющий собой процесс систематического контроля и оценки эффективности мероприятий, направленных на: предотвращение/снижение степени риска; устранение источников риска; системные факторы, влияющие на источники рисков; ликвидацию последствий риска, а также на идентификацию новых рисков.

Предлагаемый метод управления рисками основан на использовании разработанной комплексной модели управления рисками, которая включает различные модели и способы, предназначенные для реализации соответствующих этапов метода [1]. Для реализации оценки взаимосвязей системных факторов и определения системных характеристик (этап 2 метода) применяется нечеткая когнитивная модель (НКМ) (рис. 1) [1].

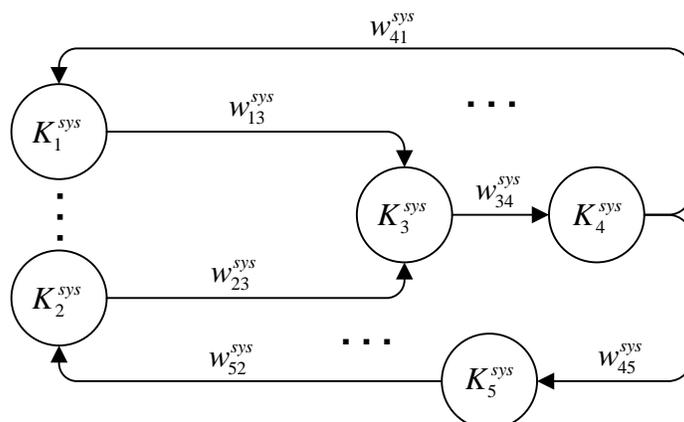


Рис. 1. Вариант структуры нечеткой когнитивной модели, отображающей системные факторы и взаимосвязи между ними

Данная модель позволяет получить исходные данные для определения влияния системных факторов на источники (опасности возникновения) рисков (этап 3 метода) посредством нечетких моделей на основе нечетких нейронных продукционных ANFIS-сетей (рис. 2).

Для формальной постановки и решения задачи нечеткой когнитивной оценки взаимосвязей системных факторов ИУС в работе введены обозначения, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Обозначения

Обозначение	Физический смысл обозначения
$K_i^{sys}$	– множество концептов, характеризующих системные факторы анализируемой системы (процесса, проблемы), $i = 1, \dots, I$
$K_j^{dan}$	– множество концептов, характеризующих идентифицированные источники (опасности возникновения) рисков, $j = 1, \dots, J$
$K$	– множество, характеризующее состав структуры нечеткой когнитивной модели оценки взаимосвязей системных факторов
$w_{ij}$	– диапазон значений непосредственного влияния одного концепта на другой, $[-1, 1]$
$N$	– число входных концептов для выходного концепта $K_j$
$W^{sys}$	– нечеткая матрица смежности
$V^{sys}$	– нечеткая матрица смежности положительных связей

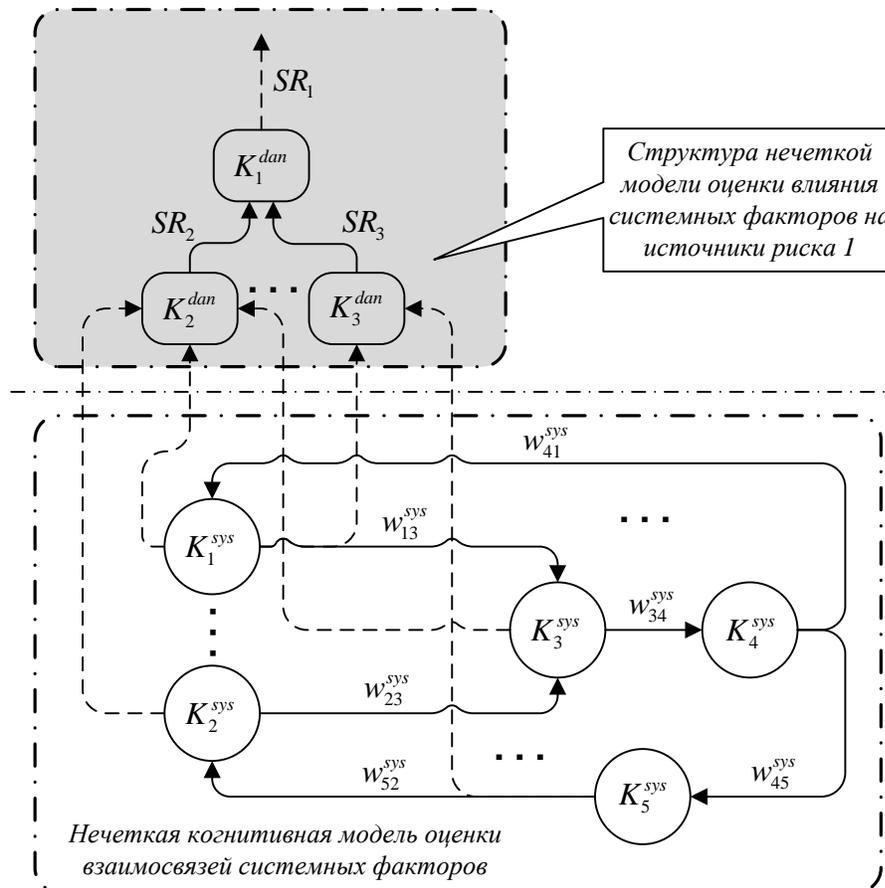


Рис. 2. Вариант структуры оценки влияния системных факторов на источники риска

На вербальном уровне задача оценки взаимосвязей системных факторов ИУС в интересах повышения защищенности информационных ресурсов и разработки НКМ может быть декомпозирована в следующем виде:

- 1) задать множество концептов  $K_i^{sys}$ , характеризующих системные факторы анализируемой системы;
- 2) задать множество концептов  $K_j^{dan}$ , характеризующих идентифицированные источники (опасности возникновения) рисков;
- 3) формирование состава структуры нечеткой когнитивной модели оценки взаимосвязей системных факторов  $K = (K^{sys}, K^{dan})$ ;
- 4) описать состояния или значения концептов на основе шкалы действительных чисел, ограниченных в диапазоне  $[-1, 1]$ ;
- 5) определить способ и задать значения непосредственного влияния концептов друг на друга  $w_{ij}$ ,  $K_j^{sys} = w_{ij} K_i^{sys}$ ;
- 6) определить способ аккумуляирования непосредственного влияния нескольких концептов на один  $K_j^{sys} = K_j^{sys} + \sum_{i=1}^N w_{ij} K_i^{sys}$ ;

7) определить механизм опосредованного влияния концептов

$$K_i \xrightarrow{l} K_q : d_l = (K_i, K_{z_1^l}, K_{z_2^l}, \dots, K_{z_n^l}, K_q), l = 1, \dots, m$$

где  $m$  – возможное число путей между концептами  $K_i$  и  $K_q$ ;

8) предложить модель динамики  $K_j^{sys}(t+1) = K_j^{sys}(t) + \sum_{i=1}^N w_{ij} K_i^{sys}(t)$ .

На формальном уровне постановка задачи исследования имеет следующий вид. Дано: системные факторы, характеризуемые концептами системных факторов анализируемой системы (процесса, проблемы)  $K_i^{sys}$  и концептами идентифицированных источников (опасности возникновения) рисков  $K_j^{dan}$ . Найти: состав структуры НКМ оценки взаимосвязей системных факторов  $K = (K^{sys}, K^{dan})$ ; значения непосредственного влияния концептов друг на друга  $w_{ij}$ ,  $K_j^{sys} = w_{ij} K_i^{sys}$ ; влияние нескольких концептов на один  $K_j^{sys} = K_j^{sys} + \sum_{j=1}^N w_{ij} K_i^{sys}$  и опосредованное влияние концептов  $K_i \xrightarrow{l} K_q$ ; модель динамики  $K_j^{sys}(t+1) = K_j^{sys}(t) + \sum_{i=1}^N w_{ij} K_i^{sys}(t)$ . То есть определить последовательность решения:

$$\begin{aligned} K &= (K^{sys}, K^{dan}), \\ K_j^{sys} &= w_{ij} K_i^{sys}, \\ K_j^{sys} &= K_j^{sys} + \sum_{j=1}^N w_{ij} K_i^{sys}, \\ w_{iq}^{sys} &= \sum_{l=1}^m \left( T_{g \in d_l} w_{g, g+1}^{sys} \right), \\ K_j^{sys}(t+1) &= K_j^{sys}(t) + \sum_{i=1}^N w_{ij} K_i^{sys}(t), \end{aligned}$$

при условиях: модельное время дискретно и представлено в безразмерной шкале значений моментов времени; предполагается соответствие шкал модельного и физического времени; задержка распространения влияния принимается одинаковой для всей НКК и определяется интервалом между двумя моментами дискретного времени.

### Оценка взаимосвязей системных факторов информационно-управляющей системы

#### в интересах повышения защищенности информационных ресурсов

Рассмотрим основные этапы построения данной модели.

**Этап 1.** Задание состава структуры (набора концептов) нечеткой когнитивной модели оценки взаимосвязей системных факторов.

*Шаг 1.* Задание множества концептов, характеризующих системные факторы анализируемой системы (процесса, проблемы):

$$K^{sys} = \{K_1^{sys}, K_2^{sys}, \dots, K_I^{sys}\}, \quad (1)$$

где  $K_i^{sys}$  – концепт, характеризующий  $i$ -й фактор анализируемой системы ( $i = 1, \dots, I$ ).

**Шаг 2.** Задание множества концептов, характеризующих идентифицированные источники (опасности возникновения) рисков:

$$K^{dan} = \{K_1^{dan}, K_2^{dan}, \dots, K_J^{dan}\}, \quad (2)$$

где  $K_j^{dan}$  – концепт, характеризующий  $j$ -ю идентифицированную опасность возникновения риска ( $j = 1, \dots, J$ ).

**Шаг 3.** Формирование по результатам шагов 1–2 этапа состава структуры нечеткой когнитивной модели оценки взаимосвязей системных факторов:

$$K = (K^{sys}, K^{dan}). \quad (3)$$

**Этап 2.** Описание состояний или значений концептов.

Значения концептов данной нечеткой когнитивной модели представляются на основе шкалы действительных чисел, ограниченных в диапазоне  $[-1, 1]$ .

**Этап 3.** Задание способа непосредственного влияния концептов друг на друга.

В качестве диапазона значений непосредственного влияния одного концепта на другой  $w_{ij}$  используется интервал действительных чисел от  $-1$  (самая сильная отрицательная) до  $+1$  (самая сильная положительная). Чем сильнее связь, тем сильнее положительное или отрицательное влияние входного концепта на выходной и наоборот. Таким образом, в данной модели сила связи между концептами представляет собой действительное значение из интервала  $[-1, 1]$ . И при условии, что «значения» концептов также могут быть приведены к безразмерной шкале действительных чисел в диапазоне  $[-1, 1]$ , передача влияния концепта  $i$  на концепт  $j$  может выражаться количественно:

$$K_j^{sys} = w_{ij} K_i^{sys}.$$

**Этап 4.** Аккумуляция непосредственного влияния нескольких концептов на один.

Для аккумуляции непосредственного влияния нескольких концептов на один концепт предлагается использовать следующее выражение:

$$K_j^{sys} = K_j^{sys} + \sum_{i=1}^N w_{ij} K_i^{sys}, \quad (4)$$

где  $N$  – число входных концептов для выходного концепта  $K_j$ .

**Этап 5.** Определение согласованных отношений влияния (причинно-следственных отношений) между каждой парой концептов из множества  $K^{sys}$ , характеризующих системные факторы.

Опосредованное влияние одного концепта на другой характеризует совокупный причинный эффект всех «путей» между этими концептами. Определим  $l$ -й путь между концептами  $K_i$  и  $K_q$  нечеткой когнитивной карты (НКК) следующим образом:  $K_i \xrightarrow{l} K_q : d_l = (K_i, K_{z_1^l}, K_{z_2^l}, \dots, K_{z_n^l}, K_q)$ ,  $l = 1, \dots, m$ , где  $m$  – возможное число путей между концептами  $K_i$  и  $K_q$ . Тогда опосредованное влияние концепта  $K_i$  на концепт  $K_q$  определится в соответствии с выражением:

$$w_{iq}^{sys} = S_{l=1}^m \left( T_{g \in d_l} w_{g,g+1}^{sys} \right) \quad (5)$$

где в качестве Т-нормы берется операция минимума или произведения, а в качестве S-нормы – операция максимума.

**Шаг 1.** Формирование матрицы опосредованных взаимовлияний концептов друг на друга из множества  $K^{sys}$ .

Отношения влияния между концептами из множества  $K^{sys}$  представляются в виде весов  $w_{ij}^{sys} \in [-1, 1]$  и рассматриваются как элементы нечеткой матрицы смежности  $W^{sys}$ :

$$W^{sys} = \begin{pmatrix} w_{11}^{sys} & w_{12}^{sys} & \dots & w_{1I}^{sys} \\ w_{21}^{sys} & w_{22}^{sys} & \dots & w_{2I}^{sys} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{I1}^{sys} & w_{I2}^{sys} & \dots & w_{II}^{sys} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Эти отношения, отображаемые в виде дуг ориентированного графа, описывающего нечеткие причинно-следственные связи между концептами, могут быть положительными, отрицательными или нейтральными, характеризующими соответствующее влияние концептов друг на друга [5].

**Шаг 2.** Формирование когнитивной матрицы взаимовлияний между концептами множества  $K^{sys}$ .

Так как веса между концептами множества  $K^{sys}$  могут быть отрицательными, а операции над нечеткими множествами определены для функций принадлежности на  $[0, 1]$ , то существует проблема обработки отрицательных влияний. В НКК рассматриваемого типа она решается за счет удвоения мощности множества концептов и отдельной обработки положительных и отрицательных влияний.

Для определения взаимовлияния концептов от исходной нечеткой матрицы смежности  $W^{sys}$  с положительно-отрицательными нечеткими связями нужно перейти к нечеткой матрице положительных связей  $V^{sys}$  размером  $2I \times 2I$ , элементы которой определяются из матрицы  $W^{sys}$  размером  $I \times I$  путем следующей замены:

если  $w_{ij}^{sys} > 0$ , то  $v_{2i-1,2j-1}^{sys} = w_{ij}^{sys}, v_{2i,2j}^{sys} = w_{ij}^{sys}$ ,

если  $w_{ij}^{sys} < 0$ , то  $v_{2i-1,2j-1}^{sys} = -w_{ij}^{sys}, v_{2i,2j}^{sys} = -w_{ij}^{sys}$ .

Остальные элементы принимают нулевые значения.

В случае амбивалентности в исходной матрице положительно-отрицательная пара весов влияния преобразуется по аналогичному алгоритму, только вместо нулей на диагоналях ставятся определенные значения. В случае учета мнений нескольких экспертов результирующие связи в исходной карте получаются в соответствии с используемой процедурой отдельно для положительных и отрицательных связей с учетом значимости каждого эксперта.

*Шаг 3.* Согласование отношений взаимовлияния между концептами множества  $s$ .

Согласованные отношения взаимовлияния концептов определяются в результате транзитивного замыкания  $V^{sys}$ :

$$\hat{V}^{sys} = V^{sys} \vee V^{sys^2} \vee V^{sys^3} \vee \dots \quad (8)$$

где степени нечетких матриц вычисляются на основе операции  $\max$ - $T$ -композиции:

$$V^{sys^k} = V^{sys^{k-1}} \circ V^{sys} \quad (9)$$

После чего результат представляется в виде матрицы модифицированной матрицы, состоящей из положительно-отрицательных пар весов  $W^{sys} = \left\| \left( w_{ij}^{sys}, w_{ij}^{-sys} \right) \right\|$ , полученных по следующему правилу:

$$\begin{aligned} w_{ij}^{sys} &= \max(v_{2i-1,2j-1}^{sys}, v_{2i,2j}^{sys}), \\ w_{ij}^{-sys} &= -\max(v_{2i-1,2j}^{sys}, v_{2i,2j-1}^{sys}). \end{aligned} \quad (10)$$

В результате этапа 2 метода формируется НКК, отображающая системные факторы анализируемой системы (процесса, проблемы), представленная рис. 1.

**Этап 6.** Задание модели динамики НКК.

Модель динамики для предложенной НКК представляется следующим выражением:

$$K_j^{sys}(t+1) = K_j^{sys}(t) + \sum_{i=1}^N w_{ij} K_i^{sys}(t), \quad (11)$$

где  $t, t + 1$  – дискретные моменты времени.

Модельное время дискретно и представлено в безразмерной шкале значений моментов времени. Предполагается соответствие шкал модельного и физического времени. Задержка распространения влияния принимается одинаковой для всей

НКК и определяется интервалом между двумя моментами дискретного времени, что приводит к синхронному распространению влияния по карте.

Таким образом, НКМ позволяет получить исходные данные для определения влияния системных факторов на источники (опасности возникновения) рисков (этап 3 метода) посредством нечетких моделей на основе нечетких нейронных продукционных ANFIS-сетей (рис. 2), которая, в свою очередь, задается MISO-структурой (Multi Inputs – Single Output, много входов – один выход) и представляет собой каскадное соединение трех баз нечетких продукционных правил, реализующих отображение входных переменных на выходную переменную [1].

Данные модели формируются отдельно для каждого источника риска. Исходными предпосылками для обоснования этой нечеткой модели оценки являются:

- разнокачественность входных и выходного параметров модели оценки;
- возможность оценки их значений с помощью шкал отношений и интервалов;
- необходимость разделения пространства выходного параметра;
- обеспечение использования оценки, получаемой в результате работы данной модели, для построения и реализации модели оценки влияния опасностей на риски.

### Выводы

Разработанная НКМ, а также методика ее построения, являющиеся основой комплексной модели управления рисками, позволяют выполнять оценку взаимосвязей системных факторов, определять системные характеристики, осуществлять моделирование системной динамики.

Научные результаты получены при продолжении исследований в рамках государственной поддержки Российским фондом фундаментальных исследований и Администрацией Смоленской области инициативных научных проектов № 10-07-97502, 13-07-97518 и Департаментом приоритетных направлений науки и технологий Министерства образования и науки РФ – грантами Президента РФ № МК-755.2012.10, МК-3603.2014.10.

### Литература

1. Теоретические основы построения адаптивных систем комплексной защиты информационных ресурсов распределенных информационно-вычислительных систем : Монография / И. И. Чукляев, А. В. Морозов, Б. И. Болотин. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2011. 227 с.

2. ГОСТ Р 51897–2002 Менеджмент риска. Термины и определения. Издания. Международный стандартный книжный номер. Использование и издательское оформление. М.: Изд-во стандартов, 2002. 5 с.

3. ГОСТ Р 51898–2002 Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты. Издания. Международный стандартный книжный номер. Использование и издательское оформление. М.: Изд-во стандартов, 2002. 6 с.

4. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2012. 284 с.

5. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.

### Reference

1. Morozov A. V., Chucklyaev I. I., Bolotin I. B. *Teoreticheskie osnovi postroeniya adaptivnih system kompleksnoy zaschiti informacionnih resursov raspredelennih informacoinnih system* [Theoretical base of create of adaptive system complex security of informational resources informational system]. Smolensk, VA VPVO VS RF, 2011. 227 p. (In Russia).

2. State Standard 51897–2002. Management of Risk. Terms and Definitions. Moscow, Standartov Publ., 2002. 5 p. (In Russian).

3. State Standard 51898–2002. Safety of Aspects. Terms Inclusion In Standards. Moscow, Standartov Publ., 2002. 6 p. (In Russian).

4. Borisov V. V., Kruglov V. V., Fedulov A. S. *Nechetkie modeli i seti*. [Fuzzy models and networks]. Moscow, Goryachaya liniya-Telecom Publ, 2012. 284 p. (In Russia).

5. Silov V. B. *Prinyatie strategicheskikh resheniy v necetkoy obstanovke*. [Strategic decision-making in a fuzzy environment]. Moscow, INPRO-RES Publ, 1995. 228 p. (In Russia).

Статья поступила 14 января 2015 г.

### Информация об авторе

Чукляев Илья Игоревич – кандидат технических наук, доцент. Докторант Военной академии войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского. Тел.: +7 920 309 15 85. E-mail: nil\_va@pochta.ru

Адрес: 214027, Россия, г. Смоленск, ул. Котовского, 2.

## Fuzzy assessment of interlinkages systemic factors information management system in order to enhance the security of information resources

Chucklyaev I. I.

**Purpose.** Complication of structural complexity and multi-component complex systems for various purposes, a variety of processes occurring in them, the need for the large number of parameters and operational management pseudoreal-time, caused by the inertia of the system, predetermine the urgent need to control forming factors, which regulate the conduct of the concept of risk management. Developed a method of risk management in terms of ensuring the security of information resources of varying degrees of privacy, circulating in a distributed information management system, and an integrated risk management model, which is an integral part of the considered fuzzy cognitive model and method of its construction aimed at minimizing riskobrazuyuschih system and external factors and probability non-stochastic nature. The purpose is development a fuzzy cognitive assessment model system relationships and factors determining system performance. **Methods.** Solution of the problem based on the use of methods and models of risk management, based on the methodology of fuzzy modeling. **Novelty.** Elements of novelty solutions are presented and developed a technique for constructing a fuzzy cognitive model estimating relationships systemic factors analyzed system (process problems) and identified sources (risk of) risks; possible to assess the direct effect of the concepts to each other, the influence of several concepts in one and the indirect influence of concepts. There is also an element of novelty is attributed to model the dynamics of the developed model. **Results.** Use of the presented solution on interlinkages between systemic factors and determining system performance allows you to input data to determine the effect of systemic factors on the sources (risk of) risks through fuzzy models based on fuzzy neural produktcionnyh ANFIS-networks, which allow you to assess the relationship of systemic factors that determine the system characteristics and the modeling of system dynamics. **Practical relevance.** Fuzzy cognitive model and method of its construction are an integral part of risk management techniques in terms of ensuring the security of information resources of varying degrees of privacy, circulating in a distributed information management system and integrated risk management model.

*Key words:* method of construction, fuzzy cognitive model, systemic factors, assessment, relationship, system dynamics.

### Information about Authors

*Chucklyaev Ilya Igorevich* – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Doctoral at the Department of Acquisition and Processing Information. Marshal of the Soviet Union Vasilevsky Army Air Defense Military Academy. Tel.: +7 920 309 15 85. E-mail: nil\_va@pochta.ru

Address: Russia, 214027, Smolensk, Kotovskogo street, 2.

УДК 621.396

## Радиолокационная система поиска аварийных судов с использованием сферических отражателей

Баженов А В., Малыгин С. В.

**Постановка задачи:** даже при существующих темпах заселения планеты по-прежнему сохраняются районы Земли, где поиск аварийных воздушных и морских судов происходит недопустимо долго. Использование различных аварийных радиостанций и пеленгационной аппаратуры, размещенной на поисковых самолетах и вертолетах, значительно уменьшает время поиска места аварии, но ограниченный ресурс источников питания, а иногда и прямой запрет на использование (например, при посадке на территории занятой противником) определяют актуальность применения пассивных отражателей и радиолокационных поисковых систем. Недостатком известных искусственных отражателей, используемых в качестве аварийно-спасательных буёв является низкая вероятность правильного обнаружения в случае если фоновая поверхность имеет хорошие отражательные свойства. **Целью работы** является обоснование использования сферических отражателей для создания оптимальной по критерию Неймана-Пирсона системы радиолокационного поиска аварийных воздушных и морских судов. Предлагается применять двухканальную радиолокационную систему поиска, размещаемую на поисково-спасательных вертолетах и самолетах, в сочетании с оснащением всех судов сферическими отражателями различной конструкции. **Используемые методы:** решение задачи обнаружения и локализации места аварии воздушного или морского судов за счет максимизации вероятности правильного обнаружения решетки пассивных отражателей при заданном уровне ложной тревоги. Повышение вероятности правильного обнаружения объекта относительно известных угловых отражателей осуществляется за счет использования осциллирующего характера диаграммы обратного рассеяния сферических отражателей и использования двух частот зондирующего сигнала. **Новизна:** элементами новизны представленного решения являются использование двух частот зондирующего сигнала, на одной из которых отклик от сферического отражателя максимален, а на другой предсказуемо меньше. **Результат:** использование сферических отражателей обеспечивает обнаружение места аварии с вероятностью правильного обнаружения, превышающей значения, полученные как для угловых отражателей, так и для металлической пластины сопоставимых линейных размеров. Проведенное моделирование для различных условий наблюдения (море с волнением 2 и 6 баллов, степь зимой и летом, каменистая пустыня и лес) показывает возможность достижения вероятности правильного обнаружения более 0,9 при ширине луча диаграммы направленности РЛС на уровне половинной мощности  $2^0$ , высоте полета 6000-8000 м и наклонной дальности 10-12 км. **Практическая значимость:** представленное решение предлагается реализовать для оснащения аварийных плотов морских судов, а также носимых (бортовых) аварийных запасов воздушных судов для снижения времени поиска экипажей в условиях неисправности аварийных радиостанций или при необходимости соблюдения радиомолчания.

**Ключевые слова:** поиск аварийных судов, сферический отражатель, эффективная поверхность рассеяния.

### Актуальность

В условиях широкого развития авиационно-космических систем поиска воздушных и морских судов, потерпевших аварию, становится актуальным создание радиолокационных поисковых систем с пассивным ответом. Поиск потерпевших бедствие с использованием радиотехнической аппаратуры является основным методом поиска [1]. Применение систем с пассивным ответом является предпочтительным по отношению к системам с активным ответом по той причине, что авария судна часто сопровождается ударными

перегрузками, способными привести к разрушению аварийных радиосистем и их источников электропитания, да и сами источники питания имеют весьма ограниченный ресурс работы. При этом состояние экипажа не всегда позволяет выполнить настроечные операции с аварийным оборудованием. В некоторых случаях (например, при посадке на территории занятой противником) применение радиомаяков практически невозможно ввиду того, что поисковые службы находятся в худших условиях, чем расположенное непосредственно в зоне поиска наземное пеленгационное оборудование противника.

Использование радиолокационных станций для поиска мест аварии по характеру отклика на зондирующие сигналы используется достаточно давно, особенно для поиска морских судов [1, 2]. Однако в настоящее время обнаружение осуществляется по наличию отраженного сигнала, контрастирующего на фоне окружающих объектов (подстилающей поверхности в случае поиска морских судов). При этом превышение порога может дать любой случайный объект, находящийся в луче диаграммы направленности антенны зондирующей РЛС. Поэтому метод не обладает требуемой однозначностью. Нанесение специальных покрытий на фрагменты одежды экипажа или на части планера (корпуса судна) могли бы увеличить степень однозначности, но при аварийном развитии событий трудно предугадать, как будет располагаться участок со специальным покрытием по отношению к источнику радиолокационного сигнала.

Повышение однозначности обнаружения радиолокационного отражателя возможно, если кроме амплитуды радиолокационного отклика используются иные признаки или отклик от отражателя формируется в различных условиях наблюдения, например, на различных частотах зондирующего сигнала. Частотно зависимой характеристикой обратного рассеяния обладают сферические отражатели, поэтому целью исследования является обоснование основных решений по реализации радиосистемы поиска аварийных воздушных и морских судов на основе сферических отражателей, позволяющих значительно снизить среднее время поиска места аварии, за счет повышения вероятности правильного обнаружения отражателей на максимальной дальности при максимальной площади облучаемого участка.

При этом необходимо:

- обеспечить максимальное значение вероятности правильного обнаружения радиолокационного отражателя независимо от характера подстилающей поверхности;
- максимально расширить зону поиска за счет увеличения ширины диаграммы обратного рассеяния отражателей;
- при выборе диапазона рабочих частот поисковых радиолокационных станций учесть не только требование минимизации отражения от подстилающей поверхности, но и итоговые размеры отражателей и их конструктивное исполнение, позволяющее с минимальными затратами переоснастить аварийные запасы воздушных и морских судов.

Для увеличения дальности обнаружения радиотехническими средствами выход в район бедствия выполняется в диапазоне высот [1]:

- для самолетов -6000-8100 м;
- для вертолетов- 600-1200 м.

Размер зоны обзора определяется наклоном и шириной диаграммы направленности антенн при этом для уменьшения времени поиска необходимо увеличивать размер зоны обзора, а для снижения вероятности пропуска необходимо обеспечить перекрытие последовательно просматриваемых участков не менее чем на 25 %, а также максимально увеличить отношение сигнал/фон.

Выбор радиолокационного отражателя производится на основе критерия Неймана-Пирсона [3], при этом в качестве параметра обнаружения может быть использовано отношение:

$$q = \frac{\sigma_i}{\sigma_\phi}, \quad (1)$$

где  $\sigma_\phi$  – эффективная площадь обратного рассеяния (ЭПР) от участка поверхности Земли, попадающего в луч диаграммы направленности антенны РЛС (площади отражения);

$\sigma_i$  – ЭПР  $i$ -го варианта радиолокационного отражателя.

Вероятность правильного обнаружения с учетом параметра (1) примет вид:

$$P_{\text{по}} = P_{\text{лт}}^{\frac{1}{1+q/2}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{лт}}$  - заданный уровень ложной тревоги.

В качестве альтернативных вариантов радиолокационных отражателей для анализа выбраны: сферический отражатель с идеально проводящей поверхностью, уголкового отражателя с треугольными гранями, уголкового отражателя с прямоугольными гранями и плоская металлическая пластина. Линейные размеры отражателей (диаметр шара, длина грани, ширина и высота пластины) имеют сопоставимые значения.

Максимальное значение ЭПР уголкового отражателя с треугольными гранями вычисляется по формуле [3]:

$$\sigma_T = \frac{4}{3} \pi \frac{a^4}{\lambda^2}, \quad (3)$$

где  $a$  – сторона шестиугольника, вписанного во внешний контур отражателя;  $\lambda$  - длина волны зондирующего сигнала.

При использовании уголкового отражателя с прямоугольными гранями ЭПР увеличивается в 9 раз и определяется выражением:

$$\sigma_p = \frac{4\pi}{\lambda^2} (3a^4). \quad (4)$$

Выражение для расчета ЭПР плоской хорошо проводящей пластины с учетом направления облучения имеет вид:

$$\sigma_{pl}(\theta, \varphi) = \frac{4\pi}{\lambda^2} a^2 b^2 \left| \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} b \sin\theta \cos\varphi\right) \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} b \sin\theta \sin\varphi\right)}{\frac{2\pi}{\lambda} b \sin\theta \cos\varphi \quad \frac{2\pi}{\lambda} b \sin\theta \sin\varphi} \right|^2, \quad (5)$$

здесь  $a, b$  – размеры сторон;  $\theta, \varphi$  – угловые координаты, определяющие направление прихода зондирующего сигнала.

Особенностью расчета ЭПР шара для случая  $r_{ш} < \lambda$  является наличие ряда резонансных максимумов и минимумов. Первый максимум наблюдается при отношении  $\frac{r_{ш}}{\lambda} \approx 0,17$ , при этом значение ЭПР определяется выражением:

$$\sigma_{шmax} = \sigma_0 \left( 1 + 0,905 \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2, \quad (6)$$

где  $\sigma_0 = \pi r_{ш}^2$ .

Ближайший минимум наблюдается при  $\lambda \approx \frac{r_{ш}}{0,27}$ . В этом случае ЭПР шара будет равна:

$$\sigma_{шmin} = \sigma_0 \left( 1 - 0,905 \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2. \quad (7)$$

Результирующий отраженный сигнал создается неизвестным числом объектов, ЭПР которых превышает фоновое значение (блестящих точек) и множеством элементарных отражателей, собственно и создающих фоновое отражение. В большинстве случаев поверхность Земли имеет неровности, покрыта растительностью и в сантиметровом (несколько меньше в дециметровом) диапазоне обладает свойствами диффузного рассеяния радиоволн. Аналогичные выводы можно сделать и для морской поверхности при волнении более 2 баллов. ЭПР диффузно-рассеивающей поверхности можно рассчитать с учетом удельного значения ЭПР  $\sigma_{y\partial}$  (приведенного к площади в  $1 \text{ м}^2$ ), площади  $S$ , отражающего участка [3]:

$$\sigma_{\phi} = S \sigma_{y\partial}. \quad (8)$$

Следует подчеркнуть, что отраженный сигнал на входе поисковой РЛС является суммой вторичного излучения всех отражателей в пределах площади  $S$ . Поэтому для наблюдения малоразмерных целей на фоне отражающей поверхности, необходимо путем повышения разрешающей способности станции (уменьшения ширины луча диаграммы направленности антенны и уменьшения длительности импульса зондирующего сигнала) стремиться приблизить значение  $S$  к размерам цели. С другой стороны уменьшение разрешаемой площади ведет к увеличению времени просмотра всего участка, где могут находиться аварийные суда и, как следствие, к увеличению времени спасательной операции.

На рис. 1-4 представлены результаты расчета вероятности правильного обнаружения радиолокационных отражателей в различных условиях наблюдения для сферического отражателя радиусом 0,5 м и других отражателей сопоставимых размеров. При проведении расчетов вероятность ложной тревоги принята равной  $P_{лт} = 0,01$ .

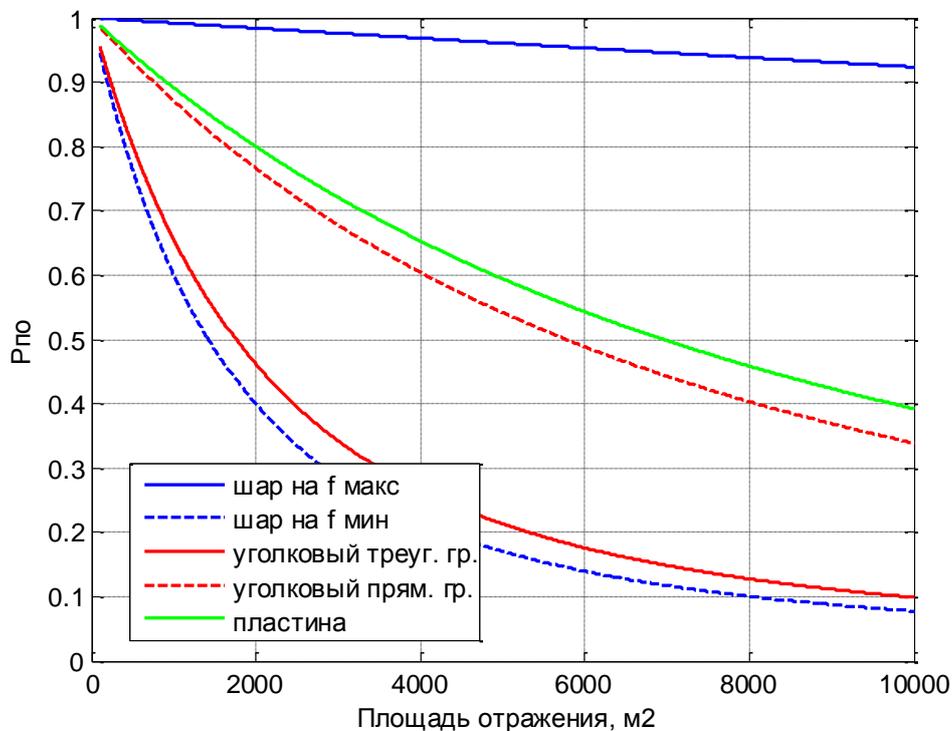


Рис. 1. Графики вероятности правильного обнаружения радиолокационных отражателей на фоне травянистой поверхности

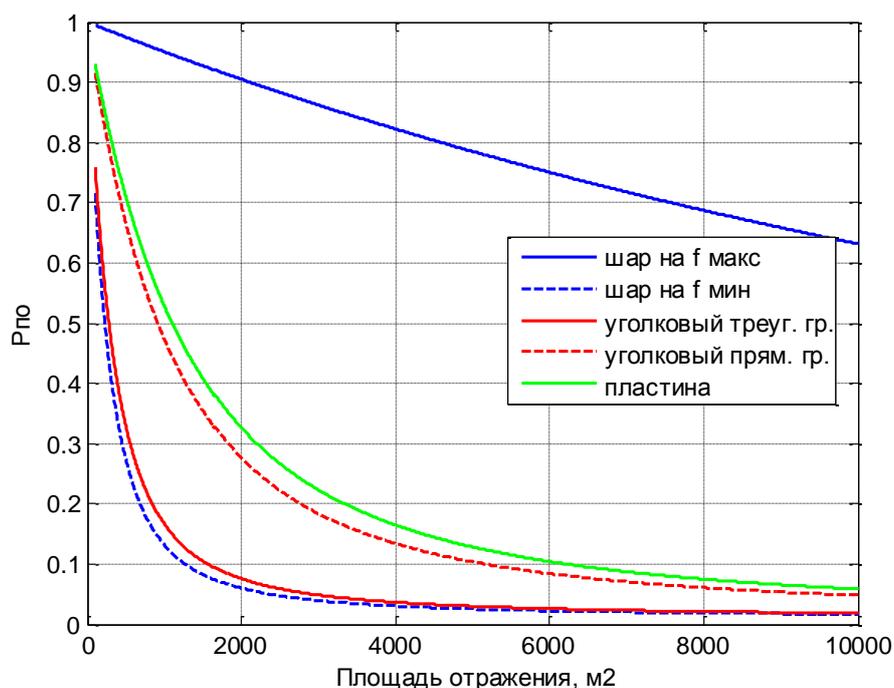


Рис. 2. Графики вероятности правильного обнаружения радиолокационных отражателей на фоне моря с волнением 2 балла

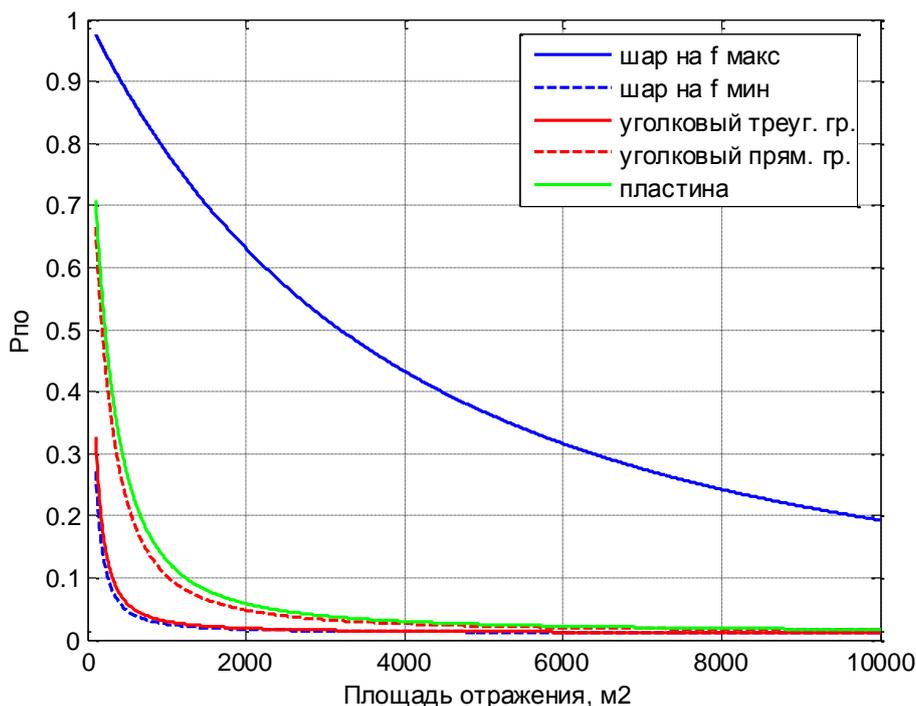


Рис. 3. Графики вероятности правильного обнаружения радиолокационных отражателей на фоне каменистой поверхности

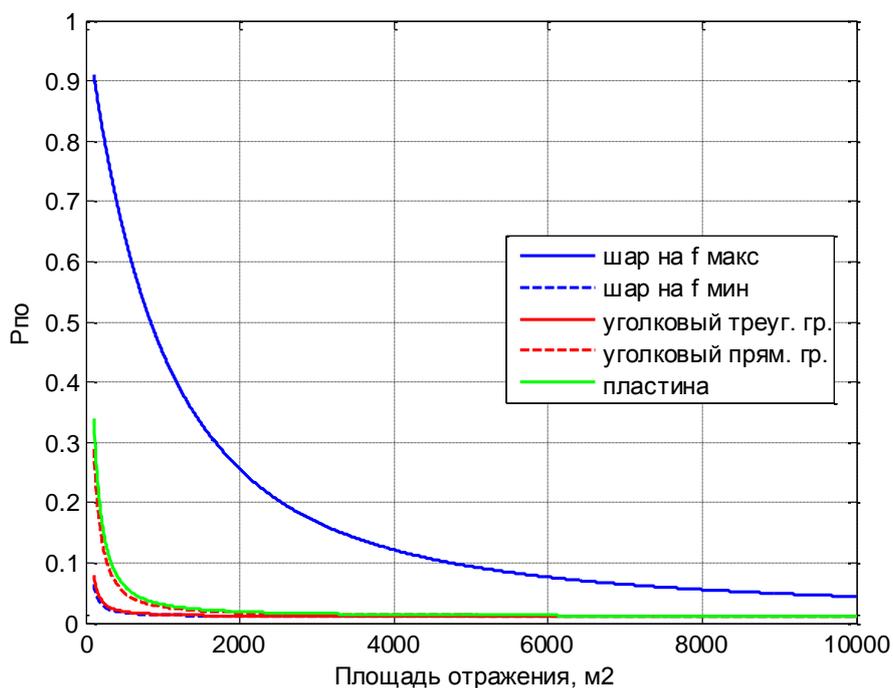


Рис. 4. Графики вероятности правильного обнаружения радиолокационных отражателей на фоне леса

На рис. 5 представлены графики вероятности правильного обнаружения для сферического отражателя радиусом 1 м. для наиболее сложных условий наблюдения – поиск места аварии воздушного судна в лесистой местности.

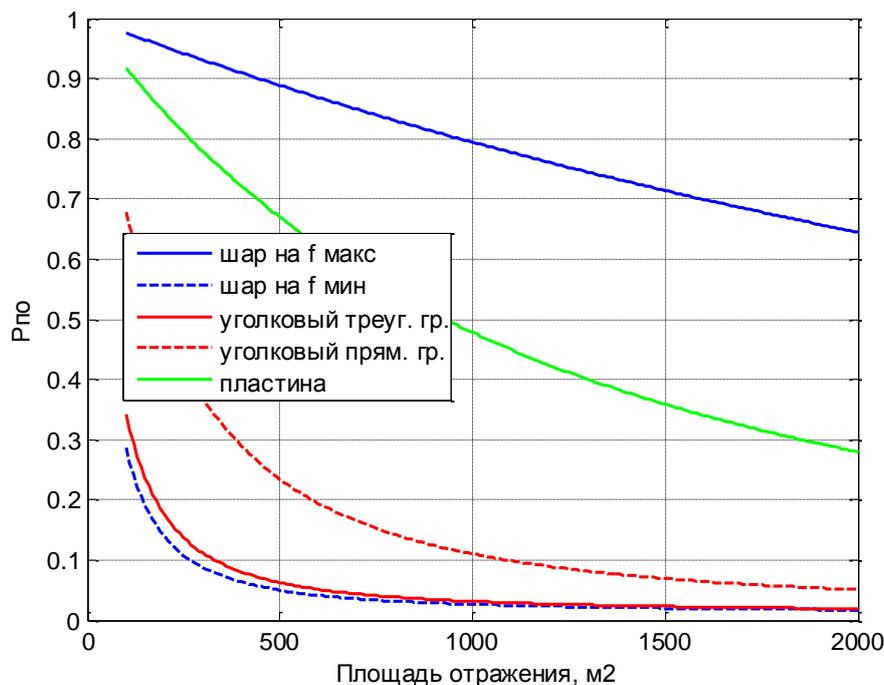


Рис. 5. Графики вероятности правильного обнаружения на фоне леса, линейные размеры отражателей сопоставимы 1 м

Анализ полученных графиков позволяет сделать следующие выводы:

- эффективная поверхность рассеяния сферических отражателей при длине волны зондирующего сигнала  $\lambda \approx \frac{r_{ш}}{0,27}$  в любых условиях наблюдения обеспечивает наилучшие значения вероятности правильного обнаружения;
- при организации поисков в степных условиях или на фоне морской поверхности с волнением порядка 2 баллов размер площади отражения при использовании сферических отражателей может составлять от 2000 до 10000 м<sup>2</sup>, при этом другие отражатели обеспечивают меньшую мгновенную площадь поиска;
- в лесистых условиях требуемое значение вероятности правильного обнаружения  $P_{по} > 0,9$  обеспечивается при использовании сферического отражателя радиусом 1 м<sup>2</sup>.

Неоднозначность, возникающая при попадании в луч зондирующей РЛС посторонних объектов, имеющих суммарную ЭПР сопоставимую с ЭПР сферического отражателя, может быть снижена при последовательном использовании двух частот зондирующего сигнала. Вначале область поиска просматривается на длине волны зондирующего сигнала  $\lambda \approx \frac{r_{ш}}{0,27}$ . При возникновении отклика, превышающего установленный порог, длина волны зондирующего сигнала устанавливается равной  $\lambda \approx \frac{r_{ш}}{0,27}$ . При этом отклик от сферического отражателя будет в 70 раз ниже, и, соответственно, не обеспечит превышения порога. Незначительные изменения длины волны зондирующего

сигнала не приведут к каким-либо существенным изменениям ЭПР других видов отражателей.

### Выводы

Особенностью применения сферических отражателей является всенаправленность их диаграммы обратного рассеяния, позволяющая осуществлять поиск места аварии с любого направления.

Изготовление сферических отражателей из пластичных материалов с металлическим покрытием (напылением) позволяет хранить отражатели в свернутом виде и приводить их в рабочее состояние путем наполнения газом или воздухом автоматически или вручную только после возникновения аварийной ситуации. Увеличение ЭПР может быть достигнуто объединением сферических отражателей в группы (решетки) отражателей. В этом случае значение ЭПР увеличивается в 3-5 раз [4].

Таким образом, проведенные в работе исследования показали перспективность использования сферических отражателей для оснащения аварийных комплектов морских и воздушных судов.

### Литература

1. Наставление по авиационному поиску и спасению в государственной и экспериментальной авиации / Утв. Приказом МО РФ №206.37 от 12.07.2004. М.: РГ № 3572.
2. Радиолокационный отражатель РЛО-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: <http://slsa.ru/other-slsa-production/rlo-1-detail> (дата обращения: 01.03.2015).
3. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Под ред. Г.С. Кондратенкова. — М.: Радиотехника, 2005. - 368 с.
4. Баженов А. В. Методика расчета диаграммы обратного рассеяния однородной антенной решетки // Развитие инновационных направлений в образовании, экономике и технологиях. Межвузовская научно-практическая конференция. - Ставрополь: ООО Издательский дом «ТЭСЭРА», 2011. С. 135-139.

### Reference

1. Counsel for aviation search and rescue in the state and experimental aviation. Decl. by Order of the Ministry of defense Russian Federation, no. 206.37, 12.07.2004. Moscow. (In Russian).
2. Radar reflector SART-1. Technical description and operating instructions. Available at: <http://slsa.ru/other-slsa-production/rlo-1-detail> (accessed 01 Mach 2015) (In Russian).
3. Kondratenkova G. S. *Radiovidenie. Radiolokatsionnye sistemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli* [Radiovision. Radar remote sensing]. Moscow, Radio Engineering Publ., 2005. 368 p. (In Russian).
4. Bazhenov A. C. *Metodika rascheta diagrammy obratnogo rasseianiia*

odnorodnoi antennoi reshetki [Method of calculating charts backscattering uniform antenna array]. *The Development of innovative trends in education, economy and technology. Interuniversity scientific-practical conference.* Stavropol, Publishing house "TESERA", 2011, pp. 135-139 (In Russian).

Статья поступила 1 марта 2015 г.

### Информация об авторах

*Баженов Анатолий Вячеславович* – кандидат технических наук, профессор. Профессор кафедры «Информационные технологии и электроника». Ставропольский технологический институт сервиса (филиал) Донского государственного технического университета. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов. Тел.: +7 918 747 47 49. E-mail: a\_bazenov61@rambler.ru

*Малыгин Сергей Владимирович* – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и электроника». Ставропольский технологический институт сервиса (филиал) Донского государственного технического университета. Область научных интересов: прием и обработка сигналов в условиях помех; системы управления и электропитания телекоммуникационного оборудования. Тел.: +7 928 819 39 00. E-mail: malyginsergei1959@yandex.ru

Адрес: 355000 г. Ставрополь ул. Кулакова 41/1.

---

## Radar search system emergency vessels using spherical reflectors

Bazhenov A. V., Malygin S. V.

**Statement of the problem:** even at the current pace of settlement of the planet, there are still places on the Earth where the search emergency aircraft and ships is unacceptably long. The use of various emergency and radio direction-finding equipment, posted on search engine airplanes and helicopters, significantly reduces the search time of the accident, but limited power sources, and, sometimes, outright ban on the use (for example, when landing on the territory occupied by the enemy) determine the relevance of the application of passive reflectors and radar search engines. A disadvantage of the known artificial reflectors used as rescue buoys is a low probability of correct detection if the background surface has good reflective properties. **The aim of this work** is the rationale for the use of spherical reflectors to create optimal according to the criterion of Neyman-Pearson radar search emergency aircraft and ships. It is suggested to use a two-channel radar system search, posted on search and rescue helicopters and aircraft, in combination with equipment of all vessels spherical reflectors of various designs. **Methods used:** a solution to the problem of detecting and localizing the site of the accident aircraft or marine vessels at the expense of maximizing the probability of correct detection of the lattice passive reflectors for a given level of false alarm. Increasing the probability of correct detection of the object relative to the known angular reflectors is carried out through the use of oscillating nature of the graph of the inverse scattering spherical reflectors and the use of two frequencies of the probing signal. **Novelty:** novelty items presented solutions are the use of two frequencies of the probing signal, on one of which the response from the spherical reflector, maximum, and on the other less predictable. **The result:** the use of spherical reflectors provides detection of the scene of the accident with a probability of correct detection, exceeding the values obtained for corner reflectors, and the metal plate comparable to the linear dimensions. The simulation for different observation conditions (sea anxiously 2 and 6 points, steppe in winter and summer, rocky desert and forest) shows the possibility of achieving the probability of correct detection is higher than 0.9 when the width of the beam

*pattern of the radar station at the half power level 20 , the height of the flight 6000-8000 m and the slant distance of 10-12 km Practical significance: the solution proposed to equip emergency rafts of sea vessels, as well as wearable (onboard) emergency stocks of aircraft to reduce search time crews in fault conditions emergency radio, or when necessary to protect the radio silence.*

**Keywords:** *search emergency vessels, spherical reflector, the effective surface scattering.*

### **Information about Authors**

*Bazhenov Anatoly Viacheslavovich* - Ph.D. of Engineering Sciences, Full Professor. Professor at the Department of Information Technology and Electronics. Stavropol Servis Institute of Technology (Branch) Don State Technical University. Field of research: digital signal processing. Phone: +7 918 747 47 49. E-mail: [a\\_bazhenov61@rambler.ru](mailto:a_bazhenov61@rambler.ru)

*Malygin Sergey Vladimirovich* - Senior Lecturer at the Department Information Technologies and Electronics. Stavropol Servis Institute of Technology (Branch) Don State Technical University. Field of research: reception and processing of signals in noise conditions; system management and supply of telecommunications equipment. Phone: +7 928 819 39 00. E-mail.: [malyginsergei1959@yandex.ru](mailto:malyginsergei1959@yandex.ru)

Address: Russia, 355000, Stavropol, Kulakova street, 41/1.

УДК 623.385.6

## Применение технологии распознавания образов как инструмент решения задач технической разведки техники связи и автоматизированных систем управления

Семенов С. С., Педан А. В., Смолеха А. В.

**Постановка задачи:** применение новых способов ведения технической разведки техники связи и автоматизированных систем управления для повышения ее эффективности. Известные способы ведения технической разведки техники связи и автоматизированных систем управления не позволяют оперативно и в полном объеме решать возложенные на нее задачи. **Цель работы** - анализ возможности повышения оперативности и эффективности ведения технической разведки техники связи и автоматизированных систем управления. Предлагается рассмотреть возможность применения технологии распознавания образов на базе мобильных роботизированных комплексов для повышения эффективности показателей технической разведки техники связи и автоматизированных систем управления. **Используемые методы:** решение задачи повышения эффективности системы технической разведки объектов связи и автоматизированных систем управления на основе анализа возможности применения мобильных роботизированных комплексов и технологии распознавания образов. **Новизна:** предложен новый способ использования мобильных роботизированных комплексов на основе беспилотных летательных аппаратов для решения задачи ведения технической разведки, а также применение метода опорных векторов для поиска поврежденной техники. **Результат:** предложены научно-обоснованные способы использования мобильных роботизированных комплексов на основе беспилотных летательных аппаратов для сбора информации и поиска изображений поврежденной техники.

**Ключевые слова:** техническая разведка, мобильные роботизированные комплексы, техника связи, беспилотные летательные аппараты, распознавание образов, машина опорных векторов, гистограмма направленных градиентов.

### Введение

Модернизация и переход к новому облику Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ), готовым к отражению полномасштабной агрессии, ведению успешных боевых действий не возможно без всестороннего технического обеспечения техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ), которые решают задачи управления войсками. В соответствии с общими принципами организации технического обеспечения, техническое обеспечение должно организовываться и осуществляться постоянно во всех видах боевых действий, при передвижениях к местам выполнения задач и в ходе применения войск. При этом должны планироваться и выполняться все основные мероприятия технического обеспечения: снабжение, контроль технического состояния, техническое обслуживание, техническая разведка, эвакуация, ремонт, подготовка личного состава по вопросам технического обеспечения и т.д. Все эти мероприятия проводятся в комплексе с мероприятиями боевого обеспечения имеющимися силами и средствами.

Успешное выполнение боевой задачи при различных видах боевых действий напрямую зависит от технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ), ее готовности к

выполнения задач по предназначению. На ее состояние оказывают воздействие такие факторы как боевые повреждения, эксплуатационные отказы, уровень подготовки личного состава экипажей, а также возможность в кратчайшие сроки устранить неисправность и вернуть ее в строй за счет системы восстановления. Восстановление вооружения и военной техники является основным источником восполнения потерь непосредственно в ходе боевых действий. Задача системы восстановления достигается – технической разведкой, эвакуацией и ремонтом.

Одной из важнейших подсистем восстановления в ходе боевого применения войск связи является техническая разведка ТС и АСУ, которая организуется и осуществляется в целях своевременного выявления вышедшей из строя техники ТС и АСУ, определения характера и объема ее повреждений, рекогносцировки путей эвакуации, перемещения и районов развертывания органов технического обеспечения связи и автоматизации (ТОС и А), определения возможности использования трофеев и местных ресурсов.

В частях (соединениях) связи силы и средства, специально предназначенные для решения задач технической разведки, отсутствуют. Техническая разведка техники связи организуется исключительно за счет нештатных формирований с использованием сил и средств органов технического обеспечения.

Задача выделения внештатных подразделений в ходе ведения боевых действий на данном этапе развития ВС РФ будет стоять очень остро. Это связано с переходом ВС РФ к новой оптимизированной организационно-штатной структуре ВС РФ, которая не позволит в полном объеме обеспечить потребность в силах и средствах подразделений технической разведки ТС и АСУ.

От полноты и оперативности добытой информации посредством технической разведки ТС и АСУ напрямую зависит время восстановления ТС и АСУ, которое определяет возможность системы связи выполнять задачи по предназначению.

В основу организации технической разведки положены следующие основные принципы: целеустремленность, непрерывность, оперативность, активность, скрытность, достоверность, живучесть.

Основными задачами технической разведки ТС и АСУ являются:

- установление мест нахождения, типов и принадлежности поврежденной ТС и АСУ;
- проведение предварительной дефектации для определения состояния, характера и степени повреждения ТС и АСУ;
- определение направления, способа и путей эвакуации, поврежденной ТС и АСУ;
- выявление находящихся в районах действий подразделений связи трофейной ТС и АСУ и предприятий местной промышленности;
- сбор трофейной техники и определение ее состояния;

- рекогносцировка районов возможного перемещения и развертывания органов технического связи.

Техническая разведка ведется:

- личным составом экипажей;
- пунктами технического наблюдения (ПТН);
- группами технического обеспечения (ГТО);
- группами технической разведки (ГТР).

Информация о вышедшей из строя техники связи собирается посредством системы управления связью и анализируется командирами подразделений, пунктами технического наблюдения (ПТН) и заместителем по вооружению для принятия решения на восстановление вышедшего из строя образца техники связи (рис 1).

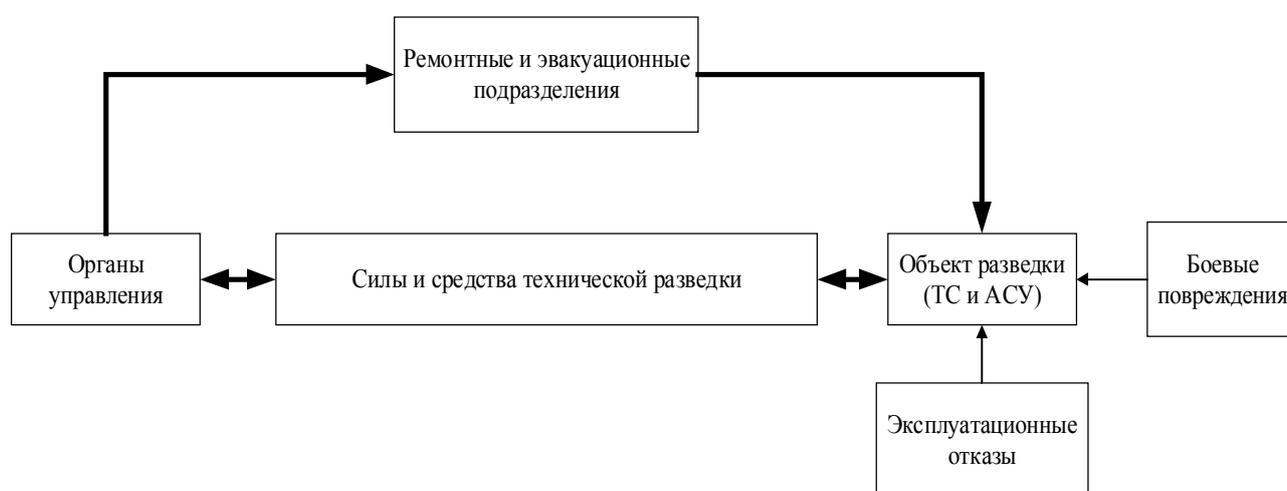


Рис. 1. Схема системы технической разведки ТС и АСУ

Ведение технической разведки ТС и АСУ в условиях современного боя который характеризуется высокой маневренностью, динамикой и скоротечностью, быстрыми и резкими изменениями обстановки и разнообразием применяемых способов его ведения, развертывания боевых действий на земле и воздухе и ведением их в высоких темпах, требует применение новых способов сбора и обобщения информации о техническом состоянии техники связи. Которые позволят в кратчайшие сроки с привлечением минимального количества личного состава получить и обобщить информацию о месте вышедшей из строя техники связи, характера и объема ее повреждений для принятия решения о ее восстановлении.

Одним из способов повышения эффективности ведения технической разведки техники связи является применение мобильных роботизированных комплексов (МРК).

Круг задач, выполняемых МРК в настоящее время постоянно расширяется. МРК применяются в различных сферах человеческой деятельности таких как патрулирование территорий в очагах возгорания лесных массивов, охрана протяженных участков государственной границы, корректировка огня артиллерии и др. Одним из видов МРК являются беспилотные летательные

аппараты (БПЛА), которые уже поступили на вооружение в ВС РФ. На вооружение были приняты такие новейшие комплексы как «Застава», «Гранат», «Леер» и «Орлан». Тактика-технические характеристики БПЛА «Орлан» приведены на рис. 2.

**Технические характеристики:**

Длина	1,8 м
Размах крыла	3,1 м
Макс. взлетная масса	18 кг
Масса целевой нагрузки	до 5 кг
Скорость	70 - 150 км/ч
Тип двигателя	ДВС (АИ-95)
Радиус действия (по радиоканалу)	130 км
Продолжительность полета	16 ч
Макс. высота полета	5000 м
Скорость ветра на старте	до 10 м/с
Диапазон рабочих температур у поверхности земли	от -35 до +40



**Взлет и посадка**

- Взлет – с катапульты
- Посадка – на парашюте

**Система связи**

Дальность командно-телеметрического канала 150 км  
Дальность канала передачи фото (видео) информации 130 км

Рис. 2. Тактико-технические характеристики комплекса «Орлан-10»

БПЛА «Орлан» применялся при проведении учений ВС РФ:

- 2012 год :
  - 10 – 20 сентября, учения «Северный Кавказ 2012», полигон Капустин Яр.
- 2013 год:
  - 10 – 30 февраля (военный аэродром г. Липецка и полигон Серноводское);
  - 13 – 14 марта (артиллерийский полигон, г. Луга);
  - 9 – 12 апреля (полигон Капустин Яр);
  - 20 – 23 мая (полигон Погоново);
  - 22 – 24 июня (полигон Ашулук);
  - 20 – 30 сентября, учения «Северо-Запад 2013».

Новые БПЛА, поставленные по государственным контрактам в рамках Гособоронзаказа, предназначены для обеспечения действий войск и более эффективного применения артиллерии.

Так странами НАТО БПЛА применяются в военной сфере уже более 20 лет. На вооружении стран НАТО стоят комплексы БПЛА различного назначения такие как «Hunter», «Predator», «Global Hawk».

Основные достоинства использования БПЛА в военных целях:

- отсутствие потерь летного состава;

- отсутствие необходимости выделения сил и средств на поиск и спасение;
- малые затраты на обслуживание БПЛА и подготовку расчета;
- возможность выполнения маневров с высокими перегрузками;
- малые размеры и эффективная отражающая поверхность;
- возможность дистанционного пилотирования посменно несколькими операторами;
- возможность ведения различных видов разведки;
- возможность оснащать БПЛА полезной нагрузкой различного назначения;

Использование штатных БПЛА ВС РФ совместно технологиями распознавания образов и радиометок для ведения технической разведки ТС и АСУ позволит увеличить оперативность обнаружения поврежденной ТС и АСУ и определения ее технического состояния, а вместе с тем и уменьшить время на ее восстановление. Применение БПЛА стоящих на вооружении ВС РФ для сбора данных о техническом состоянии ТС и АСУ не потребует больших капиталовложений, особенно по сравнению с формированием в ВС РФ штатных подразделений технической разведки ТС и АСУ, которые потребуют увеличения штата личного состава и техники.

Получение информации в реальном масштабе времени о текущей обстановке возможно за счет БПЛА, оснащенных телевизионными и тепловизионными камерами. Полученная информация поступает в центр обработки данных для дальнейшего анализа. Система распознавания образов позволит выделить на цифровом изображении области «интереса» т.е. места нахождения техники и с определенной вероятностью ее техническое состояние. На рис. 3 изображена схема обнаружения и распознавания образов с применением МРК.

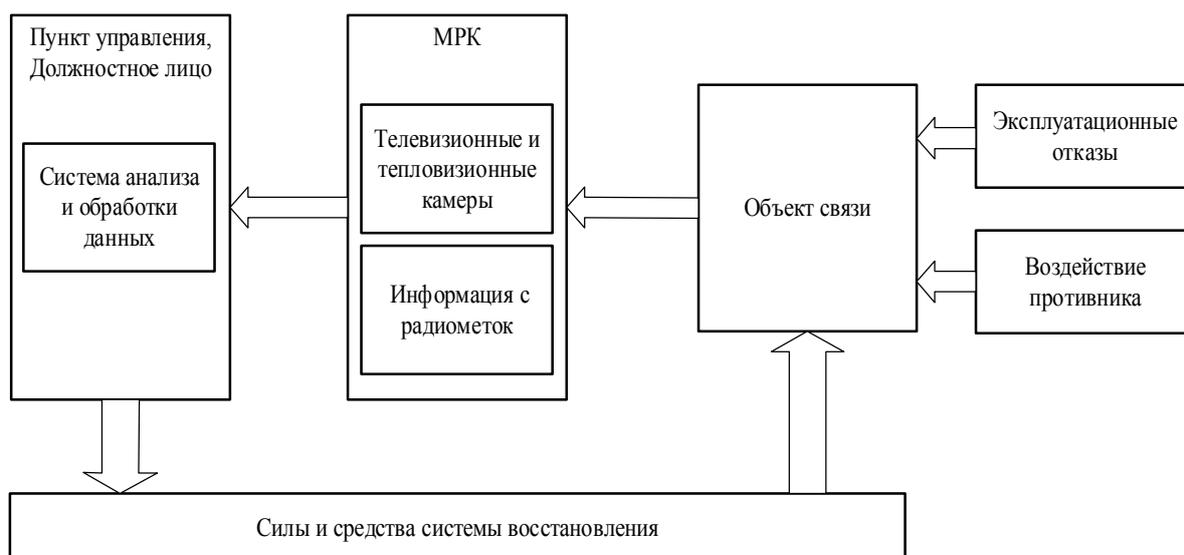


Рис. 3. Схема обнаружения и распознавания образов с применеие БПЛА

Для повышения вероятности определения технического состояния ТС и АСУ предлагается использование радиометок. Информация с которых будет передаваться на БПЛА и далее в ЦОД. Радиометка будет содержать информацию о типе техники связи и коды ошибок, полученные от системы встроенного контроля образца связи.

Для решения задачи распознавания техники связи на местности необходимо сформировать базу идентификационных параметров образцов связи под различными ракурсами.

Эффективность использования БПЛА для распознавания образов ТС и АСУ будет зависеть от полезной нагрузки которая на него установлена, возможности им получать изображения в различных спектрах таких как:

- цветные изображения видимого спектра
- инфракрасные изображения;
- ультразвуковые изображения;
- радиолокационные снимки;
- изображение с данными о глубине.

Полученная видео информация обобщается с информацией, полученной посредством радиометок в системе анализа и обработки данных. Результатом работы системы анализа и обработки данных будет количество распознанных образцов техники связи их местоположение и техническое состояние. В совокупности с информацией, полученной посредством системы анализа и обработки данных и докладов, полученных по системе управления связью появляется возможность более рационально использовать силы и средства системы восстановления. Схематично система распознавание образов приведена на рис. 4.



Рис. 4. Схема распознавания образов

Для решения задачи распознавания образов ТС и АСУ предлагается использовать метод гистограмм направленных градиентов (англ. Histogram of

Oriented Gradients, HOG). Данный метод основан на подсчете количества направлений градиента в локальных областях изображения. Этот метод в первые был применен в 2005 году Навнитом Далал и Биллом Триггсом в работе они использовали алгоритм для нахождения пешеходов на статичных изображениях, хотя впоследствии расширили область применения до нахождения людей на видео, а также различных животных и машин на статичных изображениях.

Основной идеей алгоритма является допущение, что внешний вид и форма объекта на участке изображения могут быть описаны распределением градиентов интенсивности или направлением краев (рис. 5). Реализация этих дескрипторов может быть произведена путем разделения изображения на маленькие связанные области, именуемые ячейками, и расчетом для каждой ячейки гистограммы направлений градиентов или направлений краев для пикселей, находящихся внутри ячейки. Комбинация этих гистограмм и является дескриптором. Для увеличения точности локальные гистограммы подвергаются нормализации по контрасту. С этой целью вычисляется мера интенсивности на большем фрагменте изображения, который называется блоком, и полученное значение используется для нормализации. Нормализованные дескрипторы обладают лучшей инвариантностью по отношению к освещению.

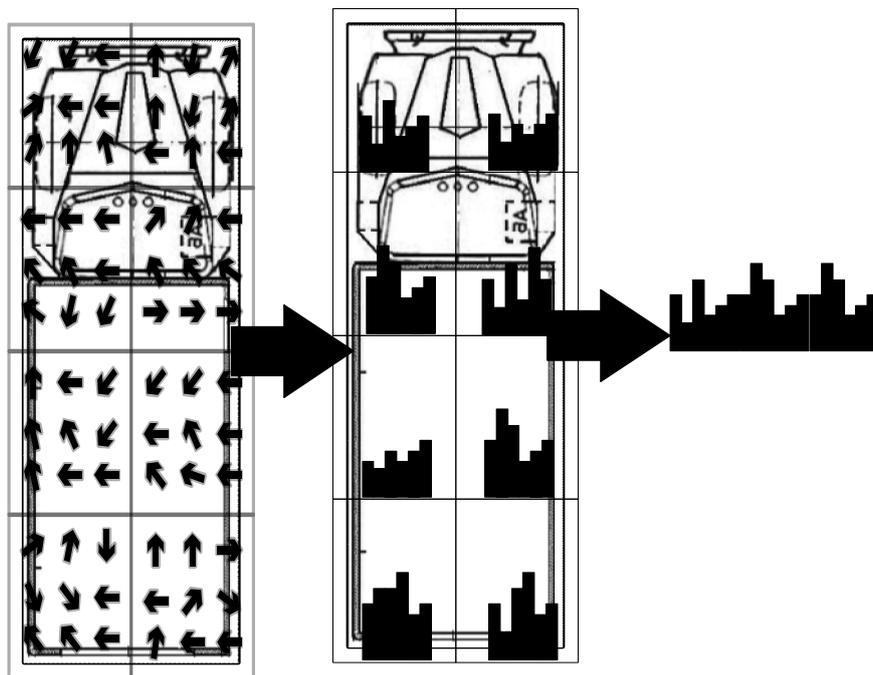


Рис. 5. Схема построения дескрипторов на основе гистограммы направленных градиентов

Конечным шагом в распознавании объектов с использованием HOG является классификация дескрипторов при помощи системы обучения с учителем, метод опорных векторов (SVM, Support Vector Machine). Схема обучения классификатора изображена на рис. 6. Схема распознавания образа изображена на рис. 7.



Рис. 6. Схема обучения классификатора

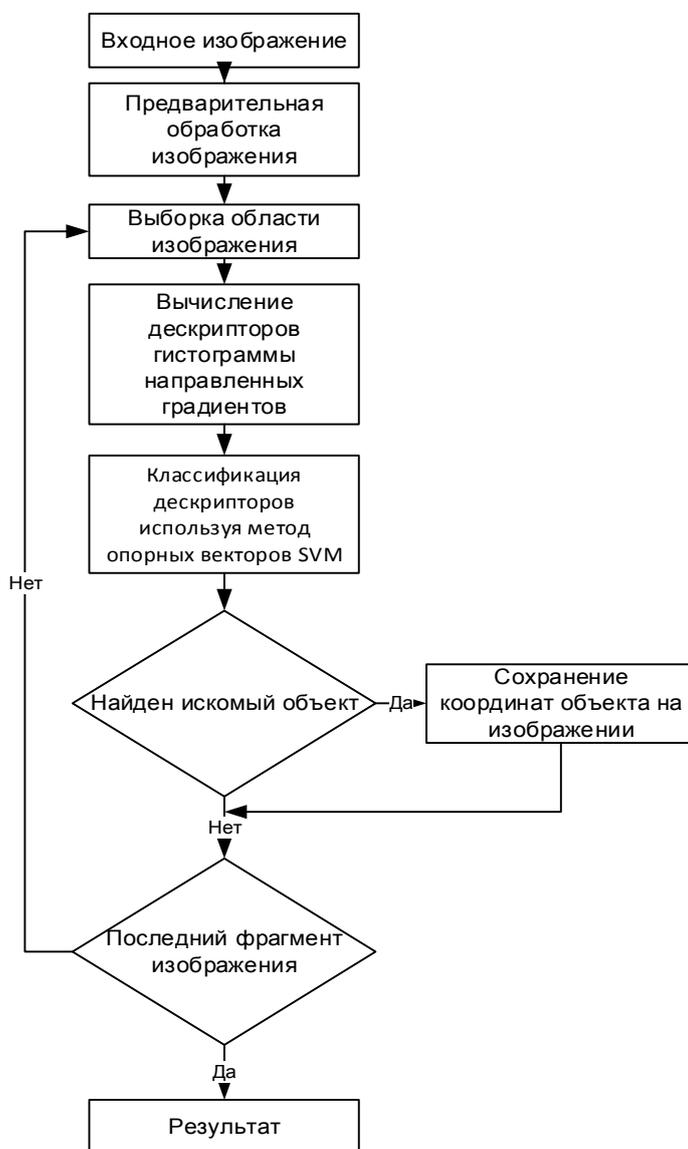


Рис. 7. Схема распознавания образа на изображении

## Вывод

Обобщение информации, полученной с БПЛА позволит повысить оперативность и вероятность определения технического состояния техники связи для принятия решения о ее способах, методах и целесообразности восстановления. Применение БПЛА для ведения технической разведки дает возможность увеличить показатель живучести для системы восстановления в целом. Особенно актуально применение БПЛА для ведения технической разведки в местах применения противником оружия массового поражения, когда необходим сбор данных о потерях подразделений и частей связи.

Таким образом, возникает задача проведения исследований в области ведения технической разведки техники связи. Необходимо разработать модель текущих способов ведения технической разведки и оценить их эффективность. Исследовать существующие способы распознавания образов, для нахождения оптимальной модели распознавания. Построить модель системы ведения технической разведки с применением БПЛА и радиометок, определить эффективность и на основе анализа полученных данных подготовить предложения по применению БПЛА для ведения технической разведки техники связи.

## Литература

1. Руководство по техническому обеспечению связи и автоматизированных систем управления Вооружённых сил Российской Федерации. М.: Воениздат, 1994. 288 с.
2. Гирш В.А., Баринов М.А., Захаров А.А., Марченков А.А., Музыкантов А.Н., Чихачев А.В., Штеренберг И.Г. Техническое обеспечение связи и автоматизации. Учеб. СПб.: СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2011. 451 с.
3. Галенко В. Беспилотные летательные аппараты на войне - итоги 2014 года // IAREX.RU: Информационное агентство REX. 2014. URL: <http://www.iarex/articles/51261/html> (дата обращения 3.02.2015).
4. Гистограмма направленных градиентов // Википедия [Электронный ресурс]. 2014. URL: [http://www.ru.m.wikipedia.org/wiki/Гистограмм\\_направленных\\_градиентов](http://www.ru.m.wikipedia.org/wiki/Гистограмм_направленных_градиентов) (дата обращения 3.02.2015).

## Reference

1. Manual Maintenance of communication and automated control systems of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow, Military Publishing, 1994. 288 p. (In Russia).
2. Girsch V.A., Barinov M.A., Zakharov A.A., Marchenko A.A., Muzyakntov A.N., Chikhachev A.V., Shterenberg I.G. *Tehnicheskoe obespechenie sviazi i avtomatizacii* [Technical support communication and automation]. St-Petersburg, Government University of Professor. M.A. Bonch-Burevich, 2011. 451 p. (In Russia).

3. Gulenko V. UAVs on the outcome of the war in 2014. IAREX.RU: News agency REX, 2014, URL: <http://www.iarex/articles/51261/html> (accessed 03 February 2015) (In Russia).

4. Histogram of oriented gradients. Wikipedia, 2014, URL: [http://www.ru.m.wikipedia.org/wiki/Гистограмм\\_направленных\\_градиентов](http://www.ru.m.wikipedia.org/wiki/Гистограмм_направленных_градиентов) (accessed 03 February 2015) (In Russia).

Статья поступила 17 февраля 2015 г.

### Информация об авторах

*Семенов Сергей Сергеевич* - доктор технических наук, доцент. Профессор кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени Маршала Советского союза С.М. Буденного. Тел.: +7(911) 117-11-08. E-mail: [semsem@yandex.ru](mailto:semsem@yandex.ru)

*Педан Алексей Викторович* – адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени Маршала Советского союза С.М. Буденного. Тел.: +7(929) 101-78-94. E-mail: [muscop14@mail.ru](mailto:muscop14@mail.ru)

*Смолеха Алексей Витальевич* – адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени Маршала Советского союза С.М. Буденного. Тел.: +7(911) 085-07-50. E-mail: [a.1802@yandex.ru](mailto:a.1802@yandex.ru)

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

---

## The use of technology as a tool for recognizing images of solving technical intelligence communication equipment and automated control systems

Semyonov S. S., Pedan A. V., Smoleha A. V.

**Purpose:** the use of new methods of technical intelligence communication equipment and automated control systems to improve its efficiency. Known methods of technical intelligence communication equipment and automated control systems do not allow to promptly and fully to solve its tasks. The aim is to analyze the possibility of increasing the efficiency and effectiveness of conducting technical intelligence communication equipment and automated control systems. Invited to consider the possibility of using pattern recognition technology based on mobile robotic systems to improve the efficiency indicators of technical intelligence communication equipment and automated control systems. **Methods:** the objective to increase the effectiveness of the technical intelligence communication equipment and automated control systems based on the analysis of the possibility of using mobile robotic systems and pattern recognition technology. **Novelty:** the ability to assign to the mobile robotic systems for the solution of the problem of conducting technical intelligence and the use of support vector machine method to search for the damaged equipment. **Result:** the use of mobile robotic systems for gathering information and search image damaged.

**Keywords:** technical intelligence, mobile robotic systems, communication technology, unmanned aerial vehicles, pattern recognition, support vector machine, a histogram of gradient direction.

### Information about Authors

*Semenov Sergey Sergeevich* - Dr. habil. of Engineering Sciences. Associate Professor. Full Professor at the Department of technical equipment and automation Academy of Signal Communication. Tel.: +7 911 117 11 08. E-mail: [semsem@yandex.ru](mailto:semsem@yandex.ru)

*Pedan Alexsey Victorovich* – Doctoral Student. Postgraduate student of Department of technical equipment and automation. Academy of Signal Communication. Tel.: +7 929 101 78 94. E-mail: [mycop14@mail.ru](mailto:mycop14@mail.ru)

*Smoleha Alexsey Vitalevich* – Doctoral Student. Postgraduate student of Department of technical equipment and automation. Academy of Signal Communication. Tel.: +7 911 085 07 50. E-mail: [a.1802@yandex.ru](mailto:a.1802@yandex.ru)

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospekt, 3.

УДК 623.355.6

## Методическое обеспечение формирования комплектов военно-технического имущества связи, как инструмент повышения эффективности функционирования системы восстановления техники связи и автоматизированных систем управления

Воловиков В. С.

**Актуальность.** Важным направлением процесса эксплуатации техники связи и автоматизированных систем управления в военное время является восстановление ее работоспособности. При этом техническое состояние образцов будет характеризоваться как эксплуатационными отказами, так и боевыми повреждениями. Опыт учений показывает несостоятельность системы технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления при решении задач восстановления техники даже с эксплуатационными отказами, не говоря уже о возможных многочисленных боевых повреждениях. Одной из основных причин такого состояния дел является отсутствие в ремонтных органах такой составляющей материального обеспечения процесса восстановления, как комплекты военно-технического имущества связи. **Цель исследования** – совершенствование системы восстановления военной техники связи путем синтеза комплектов военно-технического имущества связи необходимых для ремонта неработоспособной техники. Обоснование рационального номенклатурного и количественного состава рассматриваемых комплектов позволит осуществить своевременное восстановление техники связи и тем самым повысить устойчивость функционирования развертываемой на период ведения военных действий системы связи. **Результат работы** – новая методика обоснования рационального номенклатурного и количественного состава комплектов военно-технического имущества связи. Сформулированная общая постановка задачи на формирование соответствующих запасов и ее формализация позволили определить для ее решения систему необходимых исходных данных, выходной информации, а также накладываемые на элементы системы восстановления и реализуемые ими процессы допущения и ограничения. Установленная зависимость качества функционирования системы восстановления от показателя эффективности комплектов военно-технического имущества связи, выраженного через коэффициент важности закладываемых в них запасных элементов, позволила определить последовательность оценки эффективности восстановления с использованием формируемых комплектов. При этом, в целях оптимизации структуры комплектов военно-технического имущества связи, решается задача целочисленного программирования, а именно задача о загрузке рюкзака. **Новизна** предлагаемой методики заключается в использовании соответствующих коэффициентов важности конструктивных элементов техники связи, которые непосредственно зависят от вероятности их повреждения, а, следовательно, учитывают спрос на запасные элементы. **Практическая значимость:** результаты работы планируется использовать при разработке рекомендаций должностным лицам соответствующих довольствующих органов для осуществления ими планирования на особый период мероприятий технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления в рамках создания материальной основы восстановления техники связи.

**Ключевые слова:** восстановление военной техники связи, комплект военно-технического имущества связи, эксплуатационные отказы, боевые повреждения, методика формирования.

### Введение

В последнее время современные цифровые образцы техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ) приобрели исключительное значение для устойчивого и оперативного управления войсками. Последние учения продемонстрировали, что большинство задач по

предоставлению услуг связи должностным лицам полевых пунктов управления решалось именно ими [1].

Применительно к развертываемым системам связи проблему поддержания ТС и АСУ в готовности к применению во многом усугубляет несоответствие возможностей сил и средств существующей системы восстановления потребностям войск связи, в частности необеспеченность ремонтных органов комплектами военно-технического имущества связи (КВТИС) для ремонта ТС и АСУ с боевыми повреждениями. В ходе боевых действий конструктивные элементы ТС и АСУ в зависимости от внешних воздействующих факторов, и в первую очередь от огневого воздействия противника будут подвержены различной степени разрушениям. При этом степень разрушения существенным образом зависит от элементной базы, входящей в состав тех или иных типов ТС и АСУ.

Известные задачи, посвященные формированию КВТИС, решались путем оценки предполагаемых потерь на основе процентного соотношения выхода ТС и АСУ в определенный вид ремонта и не рассматривали характеристики стойкости конкретных конструктивных элементов к поражающим факторам оружия противника. Существующие методики ориентированы на создание комплектов запасных частей, инструмента и принадлежностей определенного вида в первую очередь ориентированные на восстановление ТС и АСУ с эксплуатационными отказами [2].

Представляется, что для устранения военно-научных и практических противоречий требуется разработка соответствующей методики обоснования рационального номенклатурного и количественного состава КВТИС.

### **Формальная постановка задачи на обоснование рационального состава КВТИС**

Процесс формирования КВТИС зависит от управляющих воздействий соответствующих органов управления на силы и средства восстановления, т.е. является результатом управленческого решения.

Каждый образец ТС и АСУ (в дальнейшем будем называть объект) с течением времени  $t$  принимает два состояния: работоспособное, когда он способен выполнять свои основные функции, и неработоспособное. В неработоспособное состояние объект может переходить в нормальных условиях эксплуатации и в результате воздействий противника. Следовательно, в военное время будут иметь место:

- 1) эксплуатационные отказы – повреждения объект, вызванные воздействием на него эксплуатационных факторов  $\varepsilon(t)$ , не связанных с воздействием оружия противника;
- 2) боевые повреждения – повреждения образца, вызванные воздействием на него оружия противника и (или) сопутствующих поражающих факторов  $\lambda(t)$ .

Процесс последовательного перехода объекта из одного состояния в другое будем называть процессом восстановления. Состояние объекта  $z(t)$  представляет собой множество, включающее состояния его конструктивных

элементов (электронный модуль, измерительные приборы, базовые несущие конструкции, соединительные кабели, антенно-мачтовые устройства и др.) в момент  $t$ , т.е.  $z(t) = \{z_i(t)\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $i \in I$ ,  $I = \{1, 2, \dots, m\}$ , где  $I$  – упорядоченный перечень индексов элементов объекта,  $m$  – число элементов объекта. Принимаем  $z_i(t) = 0$ , если элемент  $i$  повреждён или отказал в момент  $t$ ,  $z_i(t) = 1$  – в противном случае. Тогда процесс изменения состояния объекта будет заключаться в последовательном повреждении и восстановлении элементов.

Интенсивность воздействия противника по элементам системы связи характеризуется ее потерями в ТС и АСУ определенного типа за промежуток времени  $\Delta t$  ведения боевых действий равный одним суткам (среднесуточные потери). Пусть  $t_j$  моменты воздействий противника на объект,  $j = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – общее число воздействий за одни сутки ведения операции, а  $t_{bj}$  – моменты восстановления поврежденных объектов на интервале  $\Delta t$ . Таким образом,  $t_j$  – моменты воздействий, приводящие к отклонению характеристик объекта от требуемых значений, а  $t_{bj}$  – моменты реализации управляющих воздействий на объект, которые обеспечивают восстановление требуемых характеристик.

Процесс изменения состояний объекта осуществляется в результате реализации множества управляющих воздействий (управлений)  $u(t) = \{u_i(t)\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , формируемых органом управления восстановлением объекта.

Успешное решение задач восстановления по восполнению потерь ТС и АСУ на элементах системы связи с началом и в ходе военных действий возможно только при наличии определенных запасов военно-технического имущества (ВТИ), обеспечивающих работу ремонтных органов по компенсации возможных потерь. В соответствии с руководящими документами данные запасы составляют заблаговременно создаваемые КВТИС, обеспечение ремонтных органов которыми должно реализовываться системой снабжения на основе прогноза потерь ТС и АСУ. Рациональный состав КВТИС, напрямую зависящий от качества прогнозной оценки потерь, будет определять качество процесса восстановления ТС и АСУ в ходе боевых действий и эффективность функционирования системы технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления (ТОС и АСУ) в целом.

При описании процесса формирования КВТИС целесообразно использовать не все бинарные переменные  $z_i(t)$ , а только перечень индексов  $r(t) \subset I$  элементов, которые будут находиться в состоянии отказа  $r_{эj}$  или получат повреждения  $r_{пj}$  в момент  $t_j$ , т.е. элементов, для которых  $z_i(t) = 0$ . В этом случае процесс формирования КВТИС можно представить как многошаговый дискретный процесс, задаваемый индексами  $r_j = r(t_j)$  поврежденных элементов. Иначе говоря, в момент времени  $t_1$  первого воздействия противника мы имеем множество поврежденных элементов  $r_1 = I$ .

На момент времени  $t_n$  последнего воздействия противника мы будем иметь множество поврежденных и отказавших элементов с индексами

$$R(\Delta t) = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}. \quad (1)$$

В определенный момент  $t_b$ , не превышающий требуемого времени

восстановления ( $t_B \leq T_{B,TP}$ ), должно завершиться восстановление элементов.

Зная суточные потери элементов после  $n$  воздействий противника, определяемые выражением (1), можно создать необходимые запасы для их восстановления. Необходимо отметить, что под процессом восстановления объекта будем понимать совокупность операций по замене его поврежденных конструктивных элементов работоспособными аналогами из состава КВТИС, т.е. будет иметь место агрегатный метод ремонта.

Таким образом, упрощенная структура процесса формирования КВТИС может быть представлена в виде (рис. 1).

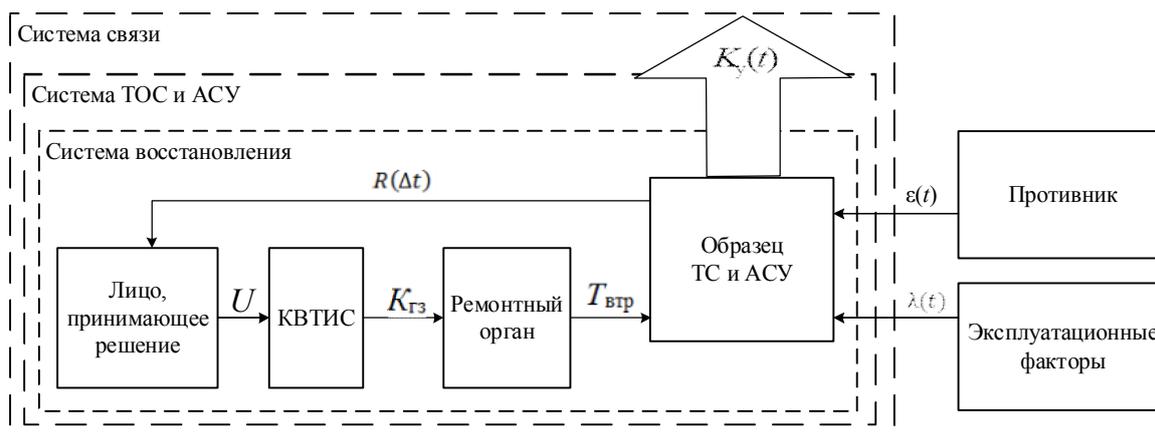


Рис. 1. Структура процесса формирования КВТИС

Процесс формирования КВТИС осуществляется в результате реализации множества управляющих воздействий, формируемых лицом, принимающим решение  $U(t) = \{u_i(t)\}$ .

Каждое управление будем характеризовать подмножеством индексов поврежденных элементов  $r_i$ . Из этого следует, что совокупность  $u_i(t)$  представляет собой результат управленческого решения, сформированный в виде описи КВТИС, включающей перечень запасных частей, требуемых для восстановления поврежденных элементов объекта после воздействия на него противника в моменты времени  $t_i$ .

В соответствии с выбранным управлением  $u_i(t) = r_i$  необходимо, чтобы номенклатурный и количественный состав КВТИС совпадал с перечнем индексов  $R(\Delta t)$  элементов, которые в соответствии с прогнозом будут находиться в поврежденном состоянии, т.е.  $U(t) = R(\Delta t)$ .

Управленческое решение на создание рациональных запасов КВТИС формируется с учетом выбранных показателей и критериев эффективности процесса восстановления, а также на основе информации о поврежденных элементах объекта, степени их повреждения, предполагаемых сроках выполнения ремонтно-восстановительных работ, территориальном размещении образца ТС и АСУ (объекта), состоянии дорог, времени доставки ремонтных органов, наличии сил и средств восстановления.

При выборе показателей эффективности восстановления необходимо ориентироваться на задачи, решаемые объектом ремонта при обеспечении

управления войсками. Для рассматриваемых объектов, представляющих собой сложную техническую структуру, было предложено использовать показатель, характеризующий «реальную» пропускную способность ( $C_p$ ), что тождественно количеству каналов связи ( $N_k$ ), образуемым данным объектом, на заданном интервале времени (ведения военных действий) [3]. Данный показатель непосредственно зависит от работоспособного состояния элементов ТС и АСУ.

В таком случае процесс восстановления сети связи может быть представлен в виде ступенчатой функции  $N_k = N_k(t, u)$ , представляющей собой зависимость от времени и управляющих воздействий, выраженных в том числе и определением рационального состава запаса. Скачки такой функции будут происходить в результате воздействия противника, когда вследствие выхода из строя элементов объекта уменьшается значение соответствующей функции, и в моменты восстановления вышедших из строя элементов, когда ее значение возрастает (рис. 2).

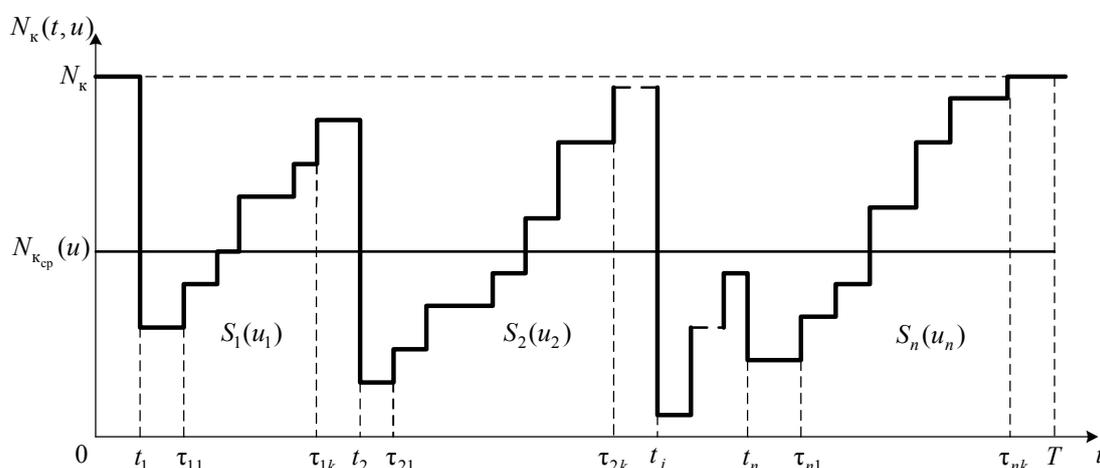


Рис. 2. Модель процесса восстановления в форме ступенчатой функции

В результате показатель эффективности восстановления может быть представлен в виде [6]

$$N_{kcp}(u) = T^{-1} \int_0^T N_k(t, u) dt, \quad (2)$$

где  $(0, T)$  – выбранный интервал усреднения функции  $N_k$ ;

$T$  – момент времени, заведомо больший времени восстановления последней группы элементов в момент  $\tau_{nk}$ .

Для последующего определения управляющих воздействий на интервалах  $(t_j, t_{j+1})$  интеграл (2) целесообразно представить в виде следующей суммы интегралов:

$$N_{kcp}(u) = T^{-1} \left[ \int_0^{t_1} N_k(t) dt + \sum_{j=1}^n \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_k(t, u) dt \right], \quad (3)$$

где  $T = t_{n+1}$ .

Учитывая, что первое слагаемое в квадратных скобках выражения (3) не зависит от управляющих воздействий, а  $T$  является величиной постоянной, то

для оценки эффективности управляемого процесса можно использовать следующий показатель:

$$g(u_1, u_2, \dots, u_n) = \sum_{j=1}^n \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_k(t, u) d(t) = \sum_{j=1}^n S_j(u_j), \quad (4)$$

где  $S_j(u_j)$  – площади фигур, ограниченных сверху кривой  $N_k(t, u_j)$ , слева и справа – прямыми  $t_j$  и  $t_{j+1}$ , снизу – прямой  $N_k(t, u) = 0$ .

Данный показатель существенно отличается от ранее известных показателей [5, 6], используемых при обосновании рационального состава запасов для обеспечения процесса восстановления при воздействии противника на систему связи. Предлагаемый показатель, как и при рассмотрении эффективности управляемого процесса восстановления в целом [4], может быть использован при многократных воздействиях противника в условиях длительного ведения военных действий.

Для формальной постановки задачи, направленной на разрешение данных вопросов, будем использовать адекватную модель процесса восстановления (рис. 2.).

Решаемая задача может быть сформулирована следующим образом.

Определены исходные данные  $d = \{N_{к.п}, M, W_i, Z_0, V\}$ ,

где  $N_{к.п}$  – требуемая пропускная способность;

$M$  – модель объекта;

$W_i$  – значения коэффициентов функциональной значимости восстанавливаемых элементов объекта;

$Z_0$  – исходное состояние объекта, при котором все его элементы выполняют свои функции, т.е.  $Z_0 = \{z_{0i} = 1\}, i = 1, 2, \dots, m$ , где  $z_{0i}$  – состояние элемента  $i$  в исходном состоянии объекта;  $m$  – общее число элементов;  $z_{0i} = 1$ , если элемент  $i$  не поврежден,  $z_{0i} = 0$  – в противном случае;

$V = \{V_j\}, V_j = \{Z_j, X_j, T_{vj}, u_j\}$  – возможности системы восстановления позволяющие:

- 1) производить прогнозную оценку состояния объекта  $Z_j$  после каждого воздействия противника в момент  $t_j$  и определять множество поврежденных элементов  $X_j, j = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – число воздействий;
- 2) определять время выполнения восстановительных работ на поврежденных элементах  $T_{vj} = \{\tau_{vi}\}_j, i \in X_j$ ;
- 3) на основе прогноза количества вышедших из строя элементов, определять состав КВТИС  $u = \{u_j\}, j = 1, 2, \dots, n$ , основанный на частных расчетах  $u_j = \{X_{jr}, \tau_{jr}\}, r = 1, 2, \dots, s_j$ , производимых после каждого  $j$ -го воздействия, где  $X_{jr}$  – упорядоченное множество индексов поврежденных элементов,  $X_{jr} \in X_j$ ;  $\tau_{jr}$  – моменты времени их восстановления;  $s_j$  – число поврежденных элементов после  $j$ -го

воздействия. Следует отметить, что состав КВТИС будет представлять собой перечень запасных элементов, тогда  $u_j$  в дальнейшем будем называть частным перечнем;

- 4) влиять на показатели эффективности функционирования системы восстановления путем реализации управляющих воздействий  $u_j$ .

Требуется определить такой состав КВТИС  $U^* = \{u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*\}$  и реализовать соответствующие прогнозу управляющие воздействия, при которых среднее значение пропускной способности на всем интервале ведения военных действий, определяемое с помощью соотношения (3), будет максимальным. Так как соотношению (3) соответствует выражение (4), то

$$g(u_1, u_2, \dots, u_n) = \max_{u_j \in U} \sum_{j=1}^n S_j(u_j). \quad (5)$$

Таким образом, задача сводится к максимизации соответствующей суммы частных площадей  $S_j(u_j)$ .

Принимаем, что  $t_1 = 0$  и  $t_{n+1} = T$ , а после последнего воздействия в момент  $t_n$  завершается полное восстановление объекта и доступность к ресурсам объекта достигает первоначального значения  $N_k$ .

Для обоснования метода решения поставленной задачи выделим произвольный интервал  $(t_j, t_{j+1})$ , рассмотрим полный процесс восстановления всех поврежденных элементов объекта после воздействия в момент  $t_j$  и определим момент времени  $T_j$ , заведомо больший конечного времени восстановления для любого частного перечня  $u_j$  (рис. 3). При этом момент завершения полного процесса восстановления может превышать момент  $t_{j+1}$  следующего воздействия противника.

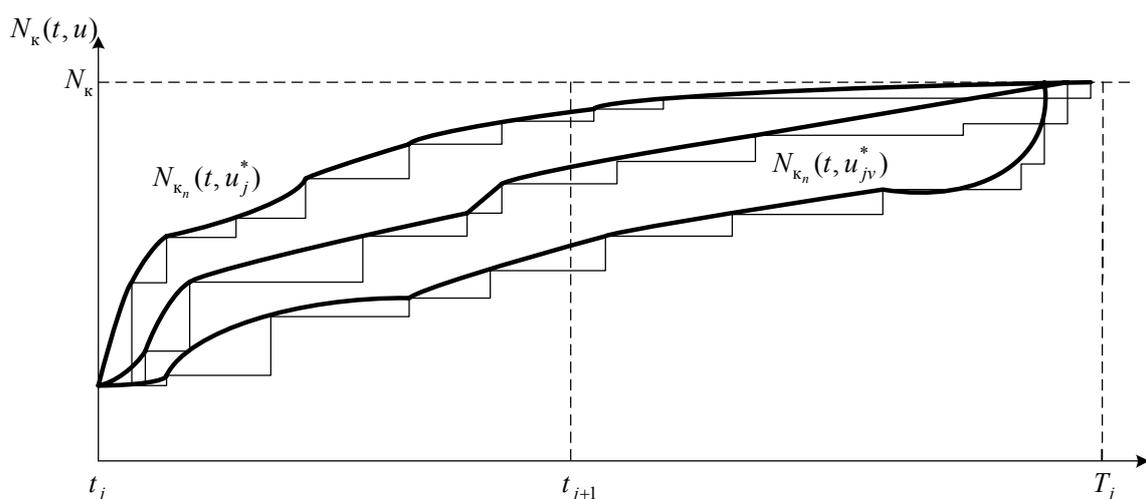


Рис. 3. Процесс восстановления после  $i$ -го воздействия

Примем следующие условия:

1. Существует конечное множество вариантов частного перечня КВТИС

$u_j \subset \{u_{j1}, u_{j2}, \dots, u_{jv}, \dots, u_{jk}\}$  для заданного множества поврежденных элементов  $X_j$  объекта при любом  $j$ -м воздействии противника. Действительно, так как множество поврежденных элементов всегда конечно, то каждый вариант частного состава будет определяться соответствующей перестановкой данных элементов. Число таких перестановок в предельном случае  $k = s_j!$ .

2. Каждый  $v$ -й вариант частного перечня характеризуется ступенчатой функцией  $y = N_{\kappa}(t, u_{jv})$ , определяющей приращение значения  $N_{\kappa}$  после восстановления соответствующего элемента.

3. Существует оптимальный частный перечень  $u_j^*$ , выбираемый из множества вариантов и характеризуемый максимальным значением  $N_{\kappa}$  на интервале  $(t_j, T_j)$ , где  $T_j > \tau_{js}$  для любого  $i$ , т. е.

$$N_{\kappa_{\text{ср}}}(u_j^*) = \max_{u_j} T \left[ 1 / (T_j - t_j) \int_{t_j}^{T_j} N_{\kappa}(t, u_j) d(t) \right]. \quad (6)$$

4. Оптимальному  $u_j^*$  соответствует максимальное значение площади  $S(u_j^*)$ , ограниченной сверху кривой  $N(t, u_j^*)$ . Действительно, т. к. величина  $1 / (T_j - t_j)$  не зависит от  $u_j$ , то оптимальный частный перечень КВТИС может быть получен из условия:

$$S(u_j^*) = \max_{u_j} \int_{t_j}^{T_j} N_{\kappa}(t, u_j) d(t) = \max_{u_j} S(u_j). \quad (7)$$

5. Все ступенчатые функции  $y = v(t, u_{jv})$  аппроксимируются непрерывными монотонно возрастающими функциями  $y_{\text{н}} = N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$ , при этом  $N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_j^*) \geq N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$  для всех  $t \in (t_j, T_j)$  и существуют моменты  $t$ , где неравенство является строгим. Оптимальный частный перечень также удовлетворяет соотношению:

$$S_{\text{н}}(u_j^*) = \max_{u_j} \int_{t_j}^{T_j} N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_j) d(t) = \max_{u_j} S_{\text{н}}(u_j). \quad (8)$$

Данное условие является допущением, однако при формировании оптимального состава КВТИС, с целью максимизации площади  $S_{\text{н}}(u)$ , всегда необходимо добиваться, чтобы для всех точек  $t \in (t_j, T_j)$  значение функции  $y = N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_j^*)$  превышало значения остальных функций  $y_{\text{н}} = N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$ , соответствующих неоптимальным перечням.

Из перечисленных условий вытекает следующее утверждение.

Если для функций  $y_{\text{н}} = N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$ , определяющих формируемые частные перечни запасных элементов  $u_{jv}$  на интервале  $(t_j, T_j)$ , выполняется условие  $N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_j^*) \geq N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$ ,  $t \in (t_j, T_j)$ ,  $u_j^*$  – оптимальный план, и существуют  $t \in (t_j, T_j)$ , где данное неравенство является строгим, то для любых  $t_{i+1} \in (t_j, T_j)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $t_1 = 0$ ,  $t_{n+1} = T$ ,

$$S_i(u_j^*) \geq S_i(u_{jv}), \quad (9)$$

где  $S_i(u_j^*) = \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_k(t, u_j^*) d(t)$ ,  $S_i(u_{jv}) = \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_k(t, u_{jv}) d(t)$ , и хотя бы одно из неравенств является строгим.

Доказательство данного утверждения основано на известном свойстве определенных интегралов: если интегрируемая функция первого интеграла превышает интегрируемую функцию второго интеграла на всем интервале интегрирования, то первый интеграл превышает второй [4].

Таким образом, пусть после любого воздействия противника в момент  $t_j$  сформирован оптимальный частный перечень  $u_j^*$ , учитывающий как поврежденные элементы после этого воздействия, так еще не восстановленные элементы после предыдущих воздействий в моменты  $t_1, t_2, \dots, t_{i-1}$  (возможно с учетом времени их остаточного восстановления). Следующее воздействие в момент  $t_{j+1}$  произведено до окончания времени восстановления поврежденных элементов вследствие предыдущего воздействия (потребления всех элементов частного перечня КВТИС). Однако отрезок графика восстановления с использованием КВТИС  $N_k(t, u_j^*)$  на интервале  $(t_j, t_{j+1})$  также будет соответствовать оптимальному перечню  $u_j^*$ , обеспечивать максимальное значение площади  $S_i(u_j)$  и максимальное среднее значение степени (коэффициента) функционирования объекта на этом интервале.

Таким образом, для решения поставленной задачи (5), исходя из особенностей заблаговременного создания рассматриваемых запасов, ЛПР необходимо спрогнозировать последствия воздействия противника на объект в рассматриваемый интервал ведения военных действий. Результатом прогнозирования количества поврежденных элементов за рассматриваемый период времени, при принятом показателе эффективности функционирования системы восстановления, будет являться рациональный состав КВТИС вида:

$$U^* = \{u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*\}. \quad (10)$$

Мы рассмотрели общую процедуру формирования КВТИС, как средства повышения эффективности процесса восстановления поврежденной и отказавшей ТС и АСУ. Постановка задачи на формирование оптимального по своему составу КВТИС требует более глубокого понимания зависимости выбранного в качестве основного показателя эффективности от величины запаса.

### Оценивание эффективности восстановления с использованием КВТИС

Для оценивания эффективности восстановления сетей связи, представляющих собой многополюсные структуры, в ходе ведения военных действий целесообразно использовать функционал характеризующий среднее значение реализации относительного числа связных двухполюсных структур (ДПС) на заданном интервале времени. Так как в этих условиях необходимо

оценивать эффективность формируемых КВТИС, то данный функционал представим в следующем виде:

$$Q_{cp}(\lambda, u) = T^{-1} \int_0^T G(t, \lambda, u) dt, \quad (11)$$

где:  $\lambda$  – результаты воздействий противника;

$u$  – характеристики мероприятий восстановления.

Результаты воздействий противника характеризуются убыванием ступенчатой кривой  $Q(t, \lambda, u)$  (рис. 4). При этом момент падения ступеньки  $t'_j$  совпадает с моментом воздействия противника и повреждением объекта (элемента СС), а величина ступеньки  $\delta_j$  определяет относительное число поврежденных ДПС в этот момент,  $j = 1, 2, \dots, n$ .

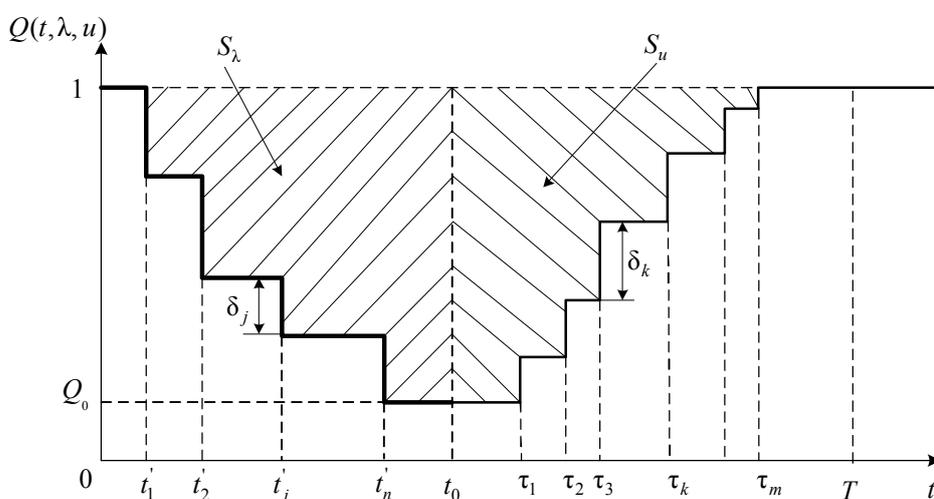


Рис. 4. Реализация процесса поражения и восстановления сети связи

Очередность и сроки восстановления, которые зависят от наличия запасных элементов в составе КВТИС, будут определять возрастание  $Q(t, \lambda, u)$ . За  $t_0$  примем момент времени начала восстановительных работ. Момент возрастания ступеньки  $\tau_{1k}$  совпадает с моментом восстановления элемента, а величина ступеньки  $\delta_k$  определяет относительное число ДПС,  $k = 1, 2, \dots, m$ .

Площадь  $S_\lambda$  в рамках рассматриваемой задачи зависит только от воздействий противника  $\lambda$ , который стремится ее максимизировать, т. е. обеспечить максимальное убывание кривой  $Q(t, \lambda, u)$  на отрезке  $(0, t_0)$  или нанести максимальный ущерб сети связи. Площадь  $S_u$  зависит от характеристик плана восстановления и, выбираемых с целью ее минимизации, т.е. с целью максимального возрастания кривой  $Q(t, \lambda, u)$  на отрезке  $[t_0, T]$  или максимального значения среднего относительного числа связанных ДПС на этом интервале. Поэтому для оценки эффективности восстановления в дальнейшем целесообразно использовать показатель  $g$ , определяемый только площадью  $S(u) = S_u(u)$  при начальном значении  $Q_0$  в момент  $t_0 = 0$ , т.е.  $g_H = S(u)$ .

Значение этого показателя при заданных характеристиках плана восстановления определяется достаточно просто [4]:

$$g_H = \sum_{k=1}^m t_k \delta_k, \quad (12)$$

где:  $t_k \delta_k$  – площадь горизонтального прямоугольника со сторонами  $t_k$  и  $\delta_k$ ;

$\delta_k$  – приращение относительного числа связных ДПС в момент  $t_k$  восстановления элемента  $i_k$ , которое может быть и нулевым.

Очевидно, что в роли  $Q(t, \lambda, u)$  может выступать и выбранный нами показатель эффективности функционирования сети связи – «реальная» пропускная способность.

Показано, что задача нахождения оптимального плана восстановления (7), которой соответствует максимизация значений площадей  $S(u_j)$ , может быть сведена к задаче минимизации вида

$$S(u^*) = \min \sum_{k=1}^m t_k \delta_k, \quad (13)$$

где  $\delta_k$  – приращение  $N_k$  в момент восстановления образца ТС и АСУ  $i_k$ , которое может быть и нулевым. Т.е.  $\delta_k$  выступает в роли коэффициента важности объекта при функционировании сети связи.

Очевидно, что свои коэффициенты важности имеют и конструктивные элементы объекта, которые по-своему влияют на выполнение им задач по предназначению в соответствии с тактико-техническими характеристиками.

Анализ значимости элементов необходим для определения их показателей живучести и надежности в целях оценки их вклада в комплексный показатель устойчивости ТС и АСУ.

При анализе объекта рассматривается его модель в виде структуры без учета особенностей свойств элементов. Это позволяет на первом этапе исследования ограничить объем информации только теми данными, которые характеризуют лишь структуру объекта.

Так как нами было принято допущение о том, что объект выходит из строя при поражении или отказе любого его элемента, то элементы не будут характеризоваться структурной значимостью, определяемой количеством и качеством связей элемента с другими. Кроме того, при определении структурной значимости элементов объекта не учитывается роль каждого элемента в его функционировании. Все элементы считаются одинаково обезличенными с точки зрения структуры объекта, поэтому показатель структурной значимости был бы недостаточной характеристикой.

Наша задача оценить элемент по параметрам, характеризующим его функционирование в объекте и степень ответственности в выполнении целевой функции объекта. Таким показателем является комплексный показатель функционирования элемента, представляющий произведение частных показателей функционирования. Частные показатели функционирования характеризуют элемент с точки зрения доли участия его в выполнении целевой функции объекта.

Представляется, что такими частными показателями функционирования

элементов будут являться вероятности их работоспособного состояния в условиях поражающего действия оружия противника и нормальных условиях эксплуатации, характеризуемые коэффициентами  $K_{ж}(t)$  и  $K_{г}(t)$  соответственно.

Следовательно, элемент должен обладать определенной передаточной функцией. Этот параметр имеет разную размерность, и для того чтобы сравнивать различные элементы по соответствующим показателям, последние должны иметь единую шкалу измерения.

Для параметра элемента определяем его нормированное значение, в качестве которого принимается среднее значение параметра для  $n$  элементов объекта:

$$p_{нi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i. \quad (14)$$

Показатель функционирования определяется как отношение конкретного значения параметра  $p_i$ , к нормированному значению  $p_{нi}$ :

$$k_i = \frac{p_i}{p_{нi}}. \quad (15)$$

Очевидно, что данный показатель будет не единственным. Совокупность показателей функционирования характеризует элемент с разных сторон с точки зрения доли участия в функционировании системы, поэтому комплексный показатель функционирования представляет собой объединение частных показателей и может иметь следующий вид:

$$k_{x_i} = \prod_{i=1}^n k_i. \quad (16)$$

Комплексный показатель, с одной стороны, с точки зрения соответствия целевой функции объекта характеризует внутренние резервы элемента, позволяющие выполнять поставленные элементу задачи. С другой стороны, в соответствии с принципами системного подхода показатель отражает условие целостности. Для выполнения требований связанности и организованности необходимо при анализе элементов учитывать их внешние свойства. Осуществляется это уже с помощью структурно-функционального анализа непосредственно образца ТС и АСУ. Решение этой задачи выходит за рамки данного исследования.

Очевидно, что при решении задачи формирования рационального КВТИС в его структуру необходимо закладывать элементы с большей интенсивностью эксплуатационных отказов и большей вероятностью выхода из строя в результате воздействия ПФ. Следовательно, в соответствии с выбранной системой показателей эффективности процесса восстановления в военное время, в качестве параметров элементов для нахождения их частных показателей функционирования, определяющих их важность в достижении цели функционирования объекта могут выступить:

- 1) вероятность того, что элемент находится в неработоспособном состоянии  $f_i(t)$  по причине отказа или повреждения на интервале времени от 0 до  $t$ .
- 2) количество элементов данной номенклатуры в общей совокупности ТС и АСУ соответствующего типа.

Проведенный анализ значимости элементов определяет:

- 1) взаимосвязь показателей живучести и надежности элемента с важностью образца ТС и АСУ в системе связи, выраженную через его устойчивость;
- 2) зависимость показателей работоспособности объекта и его элементов от времени восстановления.

Тогда, для оптимизации процесса восстановления с использованием КВТИС путем его рационального формирования, с накладываемыми при этом ограничениях на запас в виде требований вышестоящих систем задача (13) может быть сформулирована в виде критерия

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^m k_{x_i} x_i; \\ V \leq V_{\text{тр}}, \end{cases} \quad (17)$$

где:  $m$  – перечень индексов вышедших из строя элементов образца ТС и АСУ;  
 $k_{x_i}$  – комплексный показатель функционирования  $i$ -го элемента (в дальнейшем – весовые коэффициенты запасных элементов  $x_i$ , определяющие их важность по отношению к другим элементам в структуре КВТИС);

$V_{\text{тр}}$  – допустимый объем, измеренный в количестве запасных элементов, включаемых в состав КВТИС. При этом следует отметить, что в качестве ограничения на состав КВТИС могут выступать и другие показатели, например, затраты системы ГОС и АСУ на создание и хранение запасов.

Для решения данной задачи необходимо уточнить ряд составляющих, входящих в состав критериального функционала (17). Прежде всего необходимо определить какие конструктивные элементы  $x_i$  выйдут из строя в рассматриваемый период действий войск.

Нормальные условия эксплуатации образца ТС и АСУ характеризуются его надежностной характеристикой – интенсивностью отказов  $\lambda$ , на основании которой определение отказавших элементов и расчет требуемых запасных частей для их восстановления не представляет трудностей. Сложности возникают с определением элементов, пораженных в результате огневого воздействия противника. Поэтому для их устранения следующим этапом исследований будет разработка методического аппарата оценки боевых повреждений ТС и АСУ, т.е. формализация процесса воздействия поражающих факторов на конструктивные элементы техники, который позволит получить исходные данные для решения задачи формирования КВТИС.

Таким образом, принятие управленческого решения на формирование КВТИС заключается в решении задачи рационального использования выделенного объема под запасные элементы, которая может быть сформулирована следующим образом.

Требуется найти рациональный вектор  $\vec{X}^* = \{X_1^*, X_2^*, \dots, X_m^*\}$  с целыми неотрицательными компонентами, характеризующими количество запасных элементов, помещаемых в  $V$ , максимизирующий линейную функцию:

$$\max \sum_{i=1}^m k_{x_i} x_i \quad (18)$$

и удовлетворяющий условию:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_i \leq V_{\text{тр}}, \quad (19)$$

где  $v_i$  – объем элемента  $x_i$ , задаваемый его геометрическими (масштабными) размерами.

Так как функция (18) является линейной, а каждый элемент решения принимает одно из двух значений

$$x_i = \begin{cases} 0, & \text{если } i\text{-й элемент включаем в состав КВТИС,} \\ 1, & \text{если } i\text{-й элемент не включаем в состав КВТИС,} \end{cases} \quad (20)$$

то решаемая задача относится к классу задач целочисленного линейного программирования и является классической задачей о загрузке рюкзака. Особенностью данной ее постановки является необходимость на каждом шаге решения изменять целевую функцию и вектор  $\bar{X}^*$ , так как сокращается число элементов, которые возможно разместить в  $V$  в силу ограничений (19). Определив удельный вклад в увеличение целевой функции каждым из запасных элементов, в дальнейшем задача решается методом пошаговой оптимизации.

Данная задача, в сравнении с известными постановками и методами решения задач формирования запасов для восстановления ТС и АСУ в военное время, имеет следующие особенности:

- учет при формировании запасов как эксплуатационных отказов элементов ТС и АСУ, так и воздействие на них поражающих факторов оружия противника;
- зависимость целевой функции (18) от структурной важности восстанавливаемых элементов, которая непосредственно влияет на устойчивость образца ТС и АСУ и соответственно сети связи в целом.

### Литература

1. Воловиков В. С., Чихачев А. В. Анализ системы восстановления военной техники связи и направления ее совершенствования. // Труды Военно-морского политехнического института. Рецензируемый сборник. 2014, № 1(14). С. 78–85.
2. Воловиков В. С. Комплекты военно-технического имущества связи: проблемы создания и пути решения. // Сборник военно-научных статей академии. 2013, № 5971. С. 31 – 38.
3. Исаков Е. Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. СПб.: Политехнический университет, 2009. 400 с.
4. Хохлачев Е. Н. Организация и технологии выработки решений при управлении системой и войсками связи. Часть 2. Выработка решений при восстановлении сетей связи. М.: ВА РВСН, 2009. 243 с.

5. Коморников П. М. Обеспечение комплектами запасного имущества и принадлежностей ремонта цифровых систем передачи агрегатным методом. Дис... канд. техн. наук. Л.: ВАС, 1988. 168 с.

6. Кальян Н. Ф. Методика формирования запасов ЗИП для частей связи. Дис... канд. техн. наук. СПб.: ВАС, 1997. 265 с.

### References

1. Volovikov V. S., Chikhachev A. V. *Analiz sistemy vosstanovleniya voennoy tekhniki svyazi i napravleniya ee sovershenstvovaniya* [The military communications equipment repair system analysis and directions for its improvement]. *Trudy voenno-morskogo politekhnicheskogo instituta*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 78-85 (In Russian).

2. Volovikov V. S. *Komplekty voenno-tekhnicheskogo imushchestva svyazi: problemy sozdaniya i puti resheniya* [Repair complete sets: the problem of creating and solutions]. *Sbornik voenno-nauchnykh statey akademii*, 2013, no. 5971, pp. 31-38 (In Russian).

3. Isakov E. E. *Ustoychivost' voennoy svyazi v usloviyakh informatsionnogo protivoborstva* [Stability of military communications in the conditions of information warfare]. St-Petersburg, Polytechnic University Publ., 2009. 400 p. (In Russian).

4. Khokhlachov E. N. *Organizatsiya i tekhnologii vyrabotki resheniy pri upravlenii sistemoy i voyskami svyazi. Chast' 2. Vyrabotka resheniy pri vosstanovlenii setey svyazi* [Organization and technology decision-making in the management system and the Signal Corps. Part 2: Developing solutions for restoring communication networks]. Moscow, Military Academy of Strategic Missile Troops Publ., 2009. 243 p. (In Russian).

5. Komornikov P. M. *Obespechenie komplektami zapasnogo imushchestva i prinadlezhnostey remonta tsifrovyykh sistem peredachi agregatnym metodom*. Diss. kand. tech. nauk [Providing a set of spare equipment and accessories repair of digital transmission systems aggregate method. Ph.D. Thesis]. Leningrad, Military Academy of Communications, 1988. 168 p. (In Russian).

6. Kalian N. F. *Metodika formirovaniya zapasov ZIP dlya chastey svyazi*. Diss. kand. tech. nauk [Technique of formation of stocks of spare parts for the parts of communication. Ph.D. Thesis], St-Petersburg, Military Academy of Communications, 1997. 265 p. (In Russian).

Статья поступила 17 февраля 2015 г.

### Информация об авторе

Воловиков Владимир Сергеевич – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени Маршала Советского союза С.М. Буденного. Тел.: +7 911 914 48 39. E-mail: [bbcvvc@yandex.ru](mailto:bbcvvc@yandex.ru)

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

## The formation methodology of repair complete sets as a tool to improve the efficiency of the recovery system of military communication equipment

Volovikov V. S.

An important area of operation of the process of communication equipment and automated control systems in wartime is to restore her health. In this case, the technical condition of the samples will be characterized as operational failures, and battle damage. Experience shows the inconsistency of the teachings of the technical communications and automated control systems for solving recovery techniques even with operational failures, not to mention the much possible combat damage. One of the main reasons for this state of affairs is the lack of repair organs such component material support the recovery process, as repair complete sets. The urgency of the issue in question allowed to formulate the **purpose of research** - to improve the system restore military communications by synthesis repair complete sets needed to repair the connection unusable equipment. Justification rational nomenclature and quantitative composition of the considered sets will allow for the timely restoration of communications technology and thereby improve the stability of operation deployed for a period of warfare communication system. The **main result** of the study was to study the proposed method of rational nomenclature and quantitative composition repair complete sets. A general statement of the problem on the formation of the stock and its formalization possible to determine to solve a system of necessary input data, output data, and imposed on the elements of recovery and they implement processes assumptions and limitations. The dependence of functioning quality system recovery from performance indicator repair complete sets, expressed as coefficient of importance is laid in their spare elements, possible to determine the sequence of evaluating the effectiveness of recovery using the generated sets. At the same time, in order to optimize the structure of sets of military equipment communication to solve the task of integer programming, namely the task of loading a backpack. The **novelty** of the proposed method is the use of appropriate coefficients important structural elements of communications technology, which are directly dependent on the probability of damage, and thus allow for replacement components demand. **Practical relevance:** the work you plan to use in developing recommendations to officials of the relevant authorities are content for their planning special events during the technical communication and management systems in the framework of creating the material basis for the restoration of communications technology.

*Key words:* recovery system, military communication equipment, battle damage, repair complete sets, formation methodology, task of loading a backpack.

### Information about Author

*Volovikov Vladimir Sergeevich* – Doctoral Student. Postgraduate Student at Department of Technical Maintenance Communication and Automation. Military Academy of Communications. Tel.: +7 911 914 48 39. E-mail: [bbcvvc@yandex.ru](mailto:bbcvvc@yandex.ru)  
Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospect, 3.

УДК 623.355.6

## Методическое обеспечение прогнозирования потребностей системы восстановления техники связи и автоматизированных систем управления в комплектах военно-технического имущества связи

Воловиков В. С.

*Качество процесса восстановления, реализуемого системой технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления, во многом определяется наличием материального обеспечения ремонта, основным элементом которого в условиях военного времени являются создаваемые заблаговременно запасы комплектов военно-технического имущества связи. Данные комплекты предназначены для ремонта военной техники связи, выходящей из строя первую очередь по причине получения множественных боевых повреждений. Цель исследования – прогнозирование спроса системы восстановления военной техники связи на комплекты военно-технического имущества связи посредством синтеза модели огневого воздействия противника на элементы военных сетей связи. Реализация модели, а именно определение характеристик уязвимости конструктивных элементов образцов техники связи, позволит получить исходные данные для решения задачи по формированию рационального состава комплектов военно-технического имущества связи. Новизна: в отличие от существующего методического обеспечения прогноза боевых потерь военной техники связи, основанного на использовании данных по процентному соотношению ее выхода в определенный вид ремонта, предложено поставленную задачу решить на конструктивном уровне построения образца техники связи, и тем самым, в дальнейших исследованиях оперировать непосредственно вероятностными характеристиками повреждения элементов. Проведенный анализ научно-технической литературы в предметной области позволил в работе получить следующий результат: выполнено содержательное описание характеристик уязвимости техники связи и автоматизированных систем управления как объекта поражения и характеристик поражающего действия огневых средств противника, а также выделена система критериальных параметров соответствующих поражающим факторам, исходным данным, выходной информации. Сформулированы допущения и ограничения, накладываемые при моделировании, что в совокупности позволило разработать имитационную модель процесса воздействия средств поражения на военную технику связи. Практическая значимость: результаты работы использованы для получения характеристик уязвимости конструктивных элементов техники связи. Эти характеристик уязвимости являются основными данными для определения спроса на запасные части при осуществлении восстановления техники связи в военное время. Таким образом, решение поставленной частной задачи по моделированию огневого воздействия противника на элементы военных сетей связи позволит решить и основную задачу – разработать и реализовать методику формирования рационального состава комплектов военно-технического имущества связи.*

**Ключевые слова:** моделирование, средство поражения, цель (объект поражения), боевые повреждения, характеристики уязвимости, имитационная модель, комплект военно-технического имущества связи.

### Введение

Неуклонное повышение роли огневого поражения, расширение круга решаемых им задач, значительное увеличение огневой мощи средств поражения (дальности и точности стрельбы, скорострельности, мощности боеприпасов) обусловили возрастание значимости исходных данных, определяемых прогнозом в целях планирования и осуществления мероприятий восстановления поврежденных элементов сетей связи, их доли в общем объеме

задач, выполняемых системой технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления (ТОС и АСУ).

В соответствии с проведенным анализом [1], существующие методы (модели) определения выхода техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ) из строя в условиях военных действий, задачу определения ее поврежденных агрегатов решают не в полной мере. Исходы применения противником средств поражения (СП) остаются за рамками существующей системы исходных данных (СИД) по уязвимости конструктивных элементов ТС и АСУ и практически не используются в моделях оперативно-тактического уровня для проведения оценок степени ее повреждения. Однако такие данные необходимы для обеспечения органами ТОС и АСУ требуемой устойчивости системы связи путем проведения ремонтно-восстановительных мероприятий с использованием комплектов военно-технического имущества связи (КВТИС).

### **Содержательная модель уязвимости ТС и АСУ, как объекта поражения**

Воздействие на систему управления и связи – составная часть любой операции, проводимой противником. Сущность огневого поражения, как основного вида активного воздействия, решаемые им задачи и подверженность элементов системы управления и связи раскрыты в [2].

Решение задачи определения наиболее опасных видов воздействия поражающих факторов (ПФ) для элементов системы связи; очередность поражения элементов системы и вероятность этого события; вероятность поражения конструктивных элементов используемых средств связи позволит реализовать дифференцированный подход к обеспечению устойчивости системы связи, в том числе и путем своевременного восстановления, с учетом места и роли элементов в ней.

Очевидно, что обоснование понятий поражения в общем случае проводится в привязке к оперативно-тактической обстановке, исходя из задач применения СП по системе связи как технической основы системы управления. Для каждой типовой оперативно-тактической ситуации может быть свое множество типов поражения. Однако в этом случае трудно было бы использовать полученные оценки вероятности применительно к каждому типу поражения для сравнительного их анализа. Поэтому при оценках результатов применения противником СП широко используются так называемые «базовые» понятия поражения, связанные со степенью повреждения цели. При этом степень повреждения образца ТС и АСУ отождествляется с видом ремонта, который необходимо провести для восстановления работоспособности ТС и АСУ [3]. Вид ремонта определяется минимально необходимым средним временем восстановления образца ТС и АСУ ( $T_B$ ):

- 1) вид А – текущий ремонт (вывод из строя образца на время не более  $t_A$ );
- 2) вид В – средний ремонт (вывод из строя образца на время не более  $t_B$ );
- 3) вид С – капитальный ремонт (вывод из строя образца на время не более  $t_C$ );
- 4) вид D – безвозвратные потери.

Тогда понятия поражения цели по типу «А», «В», «С» и «D», имеет смысл сформулировать следующим образом:

- 1) тип А – нанесение цели повреждений, которые приводят к необходимости проведения на ней ТР, т.е.  $T_B \leq t_A$ ;
- 2) тип В – нанесение цели повреждений, которые приводят к необходимости проведения на ней СР ( $T_B \leq t_B$ );
- 3) тип С – нанесение цели повреждений, которые приводят к необходимости проведения на ней КР, т.е. ( $T_B \leq t_C$ );
- 4) тип D – нанесение цели повреждений, которые приводят к принятию решения о нецелесообразности ее восстановления.

Данные формулировки понятия «поражения образца ТС и АСУ» могут быть приняты только в случае знания нами времени необходимого на восстановление ТС и АСУ. Очевидно, что время восстановления для каждого отдельного образца ТС и АСУ будет различно в зависимости от целого ряда факторов, и определяться суммой времен восстановления поврежденных элементов  $\tau_{vi}$ . Следовательно, для определения вида ремонта (типа поражения), необходимого для восстановления поврежденной ТС и АСУ нужно определить какие именно элементы образца повреждены. Зная номенклатуру пораженных элементов и время, отводимое на восстановление каждого из них, можно определить тип поражения ТС и АСУ.

Для представления ТС и АСУ, а также средств их поражения в виде моделей воспользуемся их описанием с позиций, приведенных в [4]. Для расчетов характера поражения ТС и АСУ из всего ее многообразия выделяют типовые элементарные цели, данные о которых вместе с необходимыми моделями поражающего действия составляют единую информационную и методическую базу. Элементарной целью (ЭЦ) называется отдельный объект, выполняющий определенные функции и неделимый на составные части, каждая из которых могла бы действовать самостоятельно. При этом объектом таких расчетов становится не реальная типовая ЭЦ, а ее модель уязвимости, в которой структурные элементы цели в результате специальных исследований заменяют на так называемую эквивалентную преграду.

Для описания сложных целей, которыми являются образцы ТС и АСУ, разрабатывается агрегатная модель, состоящая из совокупности уязвимых агрегатов (УА), каждый из которых рассматривается как обобщенная модель. Пространственное расположение УА задается координатами их центров в целевой системе координат (ЦСК). Агрегатная модель бронированной цели содержит также описание внешнего экрана (брони) – ее упрощенную (кусочно-линейную) геометрию, толщину, свойства материала. Этой информации достаточно для решения вопроса о возможности поражения каждого отдельно взятого УА.

Но нанесение физического ущерба, даже приведшее к выводу из строя одного или нескольких УА, не обязательно означает потерю способности цели выполнять задачи по предназначению, т. е. частичную или полную потерю ею одного или совокупности свойств (способность вести радиообмен, образование каналов связи и т. д.). Информация о возможных сочетаниях поврежденных

УА, необходимых для поражения цели по заданному типу, находится в функциональной схеме уязвимости (ФСУ). Понятие ФСУ и выход объекта в тот или иной вид ремонта можно записать выражениями поражения следующего вида:

$$\begin{aligned} A &= A_1 + A_2 + A_3 A_4 + \dots, \\ B &= A_1 + B_1 + B_2 B_3 + B_4 + \dots, \\ C &= B + C_1 + C_2 + \dots, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A_i, B_i, C_i$  – случайные события поражения  $i$ -го УА в структуре агрегатной модели, вывод которых из строя безусловно или в определенных сочетаниях приводит к необходимости осуществления ремонта по виду  $A, B$  или  $C$ .

В связи с тем, что основная задача разработки модели огневого воздействия направлена на формирование КВТИС для реализации агрегатного метода ремонта, то при оценке результатов применения противником СП необходимо перейти непосредственно к рассмотрению понятия поражения УА, определяющее его состояние  $z(t)$  как неработоспособное. То есть принимаем  $z_i(t) = 0$ , если  $i$ -ый УА поражен в момент времени  $t$ .

Таким образом, сформулированные понятия поражения цели и ее агрегатов предполагают наличие соответствующей иерархии критериев их поражения.

Единственная объективная оценка возможности поражения ЭЦ – вероятность этого события. При выборе данных показателей основное значение имеет тип цели.

Вероятность поражения по заданному типу принимают в качестве показателя эффективности действия по цели, состоящей из одной ЭЦ – одиночной цели. Как правило, вероятность поражения ЭЦ является промежуточным результатом в методиках оценки эффективности действия по совокупности ЭЦ, представляемых моделями групповой или площадной цели. В зависимости от типа цели выбирают показатели эффективности действия по ним СП. Выбор модели цели зависит не только от свойств самой цели, но и от принципа действия СП, условий стрельбы, располагаемой информации о координатах цели.

Таким образом, для решения задачи построения модели уязвимости ТС и АСУ, в общих чертах рассмотрены все ее компоненты на качественном уровне: типы поражения; функциональные схемы уязвимости и параметры конструктивных элементов, выступающие в роли УА. Оставшийся не раскрытым еще один компонент модели – критериальные параметры поражения агрегатов целесообразно рассмотреть после исследования характера воздействия на них СП.

### Содержательная модель поражающего действия

При оценке эффективности действия СП учитываются все виды поражающего действия: механическое (пробивное), фугасное, иницирующее, зажигательное. В зависимости от характера поражающего действия по цели различаются СП осколочного, фугасного, кумулятивного, бронебойного,

бетонобойного и зажигательного действия. Большинство СП основного назначения обладают комбинированным поражающим действием. Степень поражающего действия, его достаточность для вывода цели из строя – это предмет физических исследований, которые проводятся в детерминированных условиях и обобщаются в соответствующей нормативно технической документации. При проведении расчетов поражающего воздействия учитывается влияние случайных факторов, разделяемых обычно по группам. Случайные факторы, которые проявляются на этапе непосредственного действия СП по цели, определяют условную вероятность поражения при срабатывании его в фиксированной точке с координатами  $(x, y, z)$  на поверхности цели или в ее окрестности  $P(A|x, y, z)$ . Характеристики случайных факторов, влияющих на положение точки срабатывания (рассеивание траектории полета, ошибки наведения и управления, ошибки срабатывания неконтактного взрывателя), определяют плотность распределения точки срабатывания  $\varphi(x, y, z)$ . Функция  $G(x, y, z) = P(A|x, y, z)$  является КЗП и определяется по интегральной формуле полной вероятности:

$$P_1 = \iint_D G(x, y, z) \varphi(x, y, z) dx dy dz, \quad (2)$$

где  $D$  – максимальная область срабатывания, в которой возможно поражение цели, т. е.  $D = \{(x, y, z): G(x, y, z) > 0\}$ . Это общая схема вычисления основного показателя эффективности действия по ЭЦ. Ее реализация сильно зависит от характера области возможных поражений  $D$ . По этой причине независимо от характера поражающего действия все СП с точки зрения оценки эффективности подразделяются на ударные и дистанционные.

Соответственно, в зависимости от типа СП и цели, эффективность применения СП оценивается по-разному.

Таким образом, поражение образца ТС и АСУ, представляющего собой цель применения противником СП, характеризуется рассеиванием СП и уязвимостью цели. При этом содержательное описание процесса воздействия СП на ТС и АСУ, как объект поражения представлено на рис. 1.

### Система критериев оценки уязвимости

Сущность принятия решения о характере боевых повреждений ТС и АСУ в целом и ее агрегатов в частности заключается в сравнении полученных расчетным путем параметров ПФ огневого воздействия с критериальными параметрами поражения соответствующих агрегатов. Очевидно, что поражение можно считать достоверным только до тех расстояний от центра взрыва, где уровень ПФ превышает критическое значение с некоторым запасом, а дальше вероятность поражения уменьшается до нуля при некоторой величине поражающего фактора, меньшей критической.

Так как в рамках проводимых исследований получить численные значения критериальных параметров поражения экспериментальным путем не представляется возможным, то обратимся к нормативно-технической документации, регламентирующей вопросы рассматриваемой предметной области.

Образцы вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) (их составные части) должны выполнять свои функции и сохранять характеристики в пределах установленных норм во время и после воздействия различных



Рис. 1. Содержательное представление процесса воздействия СП на ТС и АСУ

внешних факторов. Непосредственно поражающими факторами оружия противника рассматриваются:

- 1) воздушная ударная волна (УВ) взрыва;
- 2) осколочное поле.

Способность ТС и АСУ выполнять задачи по предназначению в условиях воздействия данных ПФ характеризуется стойкостью образца. Стойкость образца ВВСТ (его составных частей) к воздействию ПФ – свойство образца ВВСТ (его составных частей) сохранять работоспособность (сохранять значения показателей в пределах заданных норм) во время и после воздействия ПФ [5].

Требования к образцам ВВСТ по стойкости к воздействию ПФ устанавливаются в виде численных значений показателей стойкости. Данные значения зависят от назначения и условий боевого применения ТС и АСУ, которые, в свою очередь, определяют класс применения образца конкретного типа. В нашем случае, – это класс Н, к которому относятся образцы ВВСТ, предназначенные для применения в наземных условиях.

Каждый класс образцов ВВСТ в зависимости от конструкционных и технических особенностей, а также различных условий их эксплуатации и боевого применения подразделяется на группы и подгруппы. Взаимосвязь классификационных групп (подгрупп) образцов ВВСТ, установленных в [5], с классификационными группами (подгруппами) их составных частей (аппаратуры, приборов, устройств и оборудования) [6], позволяет нам определить стойкость ТС и АСУ к поражающему действию оружия противника.

Численные значения показателей стойкости ВВСТ к воздействию ПФ устанавливаются в соответствии с классификационными группами и для образцов ТС и АСУ приводятся в [5]. Очевидно, что критериальными параметрами поражения будут являться данные значения показателей стойкости, превышение которых в результате огневого воздействия противника на ТС и АСУ приведет к поражению ее конструктивных элементов. Исходя из этого, критериями поражения УА будут являться:

а) при оценке поражающего действия воздушной УВ взрыва:

Результаты воздействия взрывных волн на различные объекты определяются в основном избыточным давлением на фронте волны  $\Delta p_{\phi}$  и удельным импульсом фазы сжатия  $I$  в волне [4, 7]. При ударной волне, длина зоны сжатия которой намного больше характерных размеров объекта поражения, нагружение носит «квазистатический» характер (мгновенное приложение постоянного давления), а деформация и смещение объектов определяются максимальным избыточным давлением. При очень короткой волне реакция объектов на нагружение определяется удельным импульсом фазы сжатия («импульсное» нагружение).

Выбор характера нагружения при оценке поражающего действия взрывных волн связан с соотношением длительности фазы сжатия в волне  $\tau_+$  и периода собственных колебаний объекта  $\tau_c$ . Если длительность фазы сжатия  $\tau_+ \leq 0,25\tau_c$ , то нагрузку можно считать импульсной и условие разрушения объекта запишется в виде критерия по удельному импульсу:

$$I \geq I_{кр}. \quad (3)$$

Данный режим характерен для взрывов с малым тротильным эквивалентом, например, при воздействии обычных средств поражения (ОСП).

При  $\tau_+ \geq 10\tau_c$  нагружение становится квазистатическим, и критерий разрушения записывается через избыточное давление

$$\Delta p_{\phi} \geq \Delta p_{кр}. \quad (4)$$

Соотношения (3) и (4) называются частными критериями поражения в результате фугасного действия взрывных волн, а величины  $I_{кр}$ ,  $\Delta p_{кр}$  – критическими значениями удельного импульса и максимального избыточного давления в волне.

В области  $0,25\tau_c < \tau_+ < 10\tau_c$  на поведение объекта оказывают влияние как максимальное избыточное давление, так и удельный импульс в волне. При этом, как показывают эксперименты и теоретические решения модельных

задач, совместное воздействие избыточного давления и удельного импульса в волне может быть учтено с помощью обобщенного критерия поражения, который записывается в виде

$$(\Delta p_{\phi} - \Delta p_{кр})(I - I_{кр}) = K, \quad (5)$$

где  $K$  – некоторая константа;

б) при оценке поражающего действия осколочного поля:

Действие осколков по цели в зависимости от ее типа может быть оценено на основе одной из трех концепций: концепции пробития эквивалентных преград (толщинно-пробивной концепции); критериальной концепции; концепции, представляющей соединение двух предыдущих.

Толщинно-пробивная концепция основана на замене цели стальной или дюралевой преградой (эквивалентом цели), пробитие которой считается эквивалентным поражению цели. В соответствии с указанным подходом критерий поражения можно представить в виде

$$J \geq J_{уб}, \quad (6)$$

где  $J_{уб}$  – убойный интервала осколка – расстояние от места взрыва, на котором осколок еще сохраняет скорость, необходимую для поражения цели (убойную скорость).

Критериальный подход наиболее целесообразно использовать в тех случаях, когда поражение цели нельзя свести к простому пробитию преграды, например, в случаях физически сложных процессов пробития с последующим зажжением, инициированием, запреградным действием и т.д. Важным преимуществом критериального подхода является возможность построения вероятностных моделей поражения цели, задаваемых, как правило, функциями  $p = f(K)$ .

В качестве критериев чаще всего применяются критерии полной кинетической энергии

$$W \geq W_{кр}, \quad (7)$$

удельной энергии

$$E_{уд} \geq E_{удкр}, \quad (8)$$

удельного импульса

$$i \geq i_{кр}. \quad (9)$$

Основным недостатком критерия полной кинетической энергии является то, что он не учитывает форму осколка.

Критерий удельной энергии применяется для оценки поражающего действия по всем классам целей [5]. Характерной и не подтверждаемой экспериментом особенностью критерия удельной энергии является предсказываемая им возможность резкого уменьшения массы ПЭ за счет незначительного повышения скорости.

Критерий удельного импульса в этом смысле занимает промежуточное положение между критериями полной и удельной энергии.

Таким образом, у нас получается полная статистическая модель оценки поражения действия СП по цели с подробно определенными характеристиками. Характеристики, определяющие уязвимость цели по отношению к действию

ПЭ, включают перечень уязвимых агрегатов, материал и толщину эквивалентных преград, коэффициент заполнения агрегата уязвимыми элементами, тип ущерба, наносимый цели, и гипотезы поражения. Задается описание геометрии цели и толщины бронирования в ЦСК плоскими четырехугольниками с заданными координатами вершин, толщиной и материалом, соответствующими физическим характеристикам экрана. Внутреннее оборудование (агрегаты) отображаются в ЦСК элементарными параллелепипедами и находятся в определенной связи, отражающей функциональную схему уязвимости цели по данному типу поражения.

Исходя из содержательного описания процесса огневого воздействия противника на ТС и АСУ, исследования механизмов взаимодействия поражающих факторов с целью, а также рассмотрения качества поражающего действия во взаимосвязях существенных свойств СП и ТС и АСУ, как объекта поражения, оценку степени боевых повреждений предлагается провести по схеме, представленной на рис. 2.

Анализ факторов, определяющих уязвимость сложных технических систем, по аналогии с [8] можно разбить на следующие группы по функциональному признаку (табл. 1). В первую группу входят факторы, характеризующие поражающее действие СП посредством воздействия определенных видов ПФ.

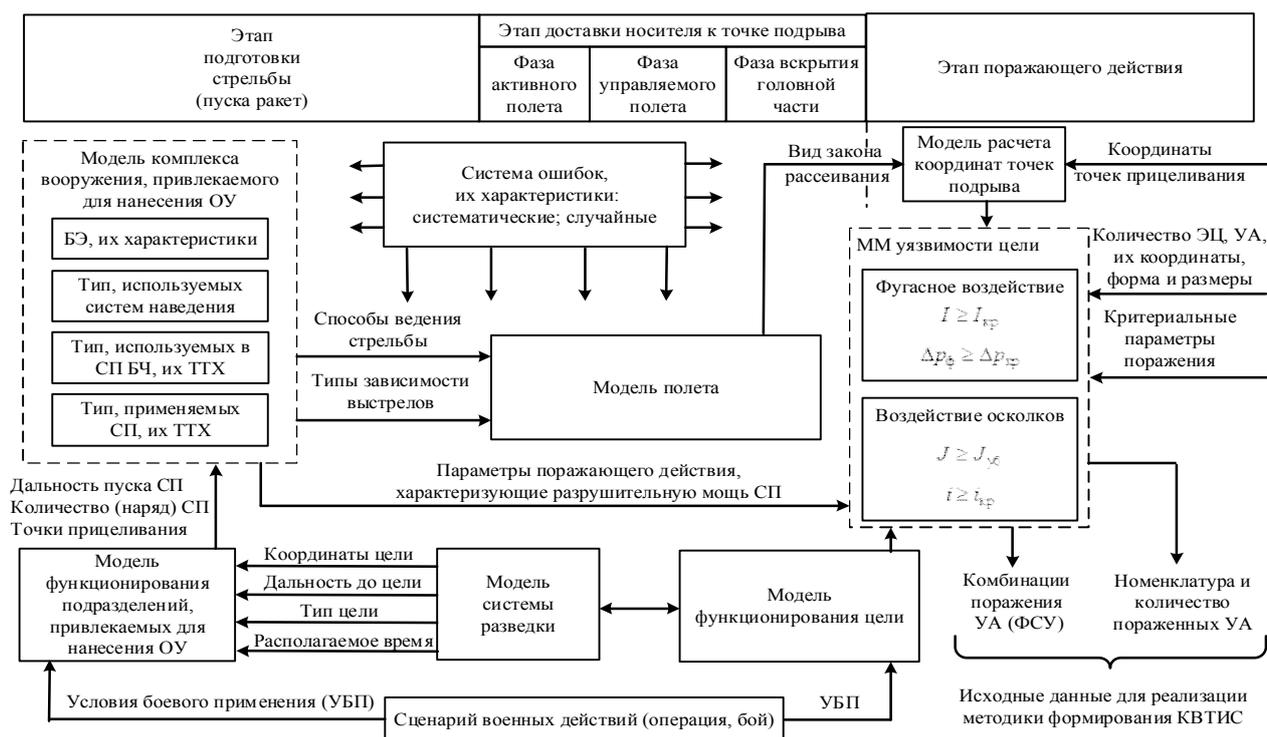


Рис. 2. Схема представления источников исходных данных, их связей и выходной информации

Вторую группу образуют факторы, характеризующие образец ТС и АСУ и отдельные его элементы с точки зрения живучести. Стойкость элементов характеризует способность элементов противостоять неблагоприятным воздействиям, не допуская не только разрушения, но и нарушения

работоспособности или снижения ее уровня. В табл. 1 сокращениям «стох.» и «дет.» соответствует стохастическая и детерминированная природа факторов соответственно.

Таблица 1 - Факторы, определяющие характеристики уязвимости

Наименование фактора	Природа	Наличие ИД	Источник ИД
<b>I. Поражающее действие оружия</b>			
1. Область воздействия (перечень УА, подвергнувшихся воздействию)	стох.	нет	система ОВ
		да	модель
2. Разнообразие ПФ	дет.	да	постановка задачи к анализу уязвимости
3. Интенсивность	стох.	нет	система ОВ
		да	модель
4. Продолжительность действия	стох.	нет	система ОВ
		да	модель
<b>II. Уязвимость цели</b>			
1. Топология системы	дет.	да	НТД
2. Стойкость элементов	дет.	да	НТД
	стох.	да	физический эксперимент

Для оценки роли факторов, возможности и способов их учета в моделях уязвимости важно знать их природу, источник исходных данных об их характеристиках и способы их получения. От того, является ли фактор стохастическим или детерминированным, какие сведения можно получить о характеристиках данного фактора зависит выбор разрабатываемой модели уязвимости. Из табл. 1 видно, что некоторые факторы имеют стохастическую природу, и полный их учет возможен только с помощью вероятностных моделей. Другие же факторы являются детерминированными, и их учет проводится с помощью детерминированных моделей.

Проведенный анализ имеющегося методического обеспечения, позволяющего решить задачу определения характеристик уязвимости ТС и АСУ показал, что в качестве инструмента для моделирования поражающего действия оружия противника целесообразно выбрать объектно-ориентированные методы. Это вызвано следующими неоспоримыми достоинствами данного подхода по сравнению с другими:

наличие большого количества стохастических данных, с которыми данные модели успешно справляются;

модель уязвимости в объектной форме не просто содержит все необходимые сведения о ТС и АСУ и ее УА для расчета поражающего действия, но и активно оперирует ими. В процессе исследований от объектов модели при расчетах воздействия ПФ может потребоваться способность вычислять те или иные характеристики. Создание соответствующих методов и включение их в совместную работу объектов модели не вызывают проблем, так как предусмотрены технологией объектно-ориентированного моделирования.

Таким образом, в качестве инструмента формальной реализации поставленной задачи будет использоваться имитационная модель огневого воздействия противника на основе объектного представления исходных данных и объектных моделей воздействия ПФ, которая является наиболее эффективным способом оценки уязвимости ТС и АСУ для последующего принятия решения о номенклатуре и количестве пораженных УА.

### **Имитационная модель процесса воздействия средств поражения на ТС и АСУ**

Решение задачи определения степени поражения ТС и АСУ (количества УА) в результате огневого воздействия предлагаемым методом статистического моделирования заключается в последовательном накоплении (в результате многократного решения задачи нанесения ударов СП) статистического материала о значениях искомой величины, носящей случайный характер. При этом наиболее приемлемым способом определения степени поражения объектов, имеющих сложную структуру, является моделирование ударов в реальной системе ошибок по повторяемости.

С учетом вышеизложенного, для оценки степени поражения различных объектов огневыми ударами противника принят статистико-аналитический метод моделирования ожидаемой величины степени поражения объектов, имеющих в своём составе УА различной стойкости к воздействию ПФ.

Реализация разработанной математической модели позволит получить следующие выходные данные, необходимые для формирования комплектов военно-технического имущества:

- 1) положение УА в пределах объема поражаемой цели с учётом ее характеристик;
- 2) положение точки подрыва боевой части СП;
- 3) характеристики фугасного воздействия (параметры поражения воздушной УВ взрыва);
- 4) характеристики пробивного воздействия (параметры поражения поля осколков);
- 5) установление события поражения УА цели на основе оценки поражающего действия УВ и ПЭ при подрыве СП осколочно-фугасного действия;
- 6) функциональные схемы уязвимости объекта в соответствии с поражаемыми комбинациями УА;
- 7) степень повреждения объекта по соответствующему типу его поражения.

Для количественного определения параметров указанных характеристик, на основании проведенного анализа научно-технической литературы, исходной для моделирования информацией будут являться сведения о:

- 1) комплексах, применяемых для огневого поражения, и подразделениях (частях, соединениях), привлекаемых к нанесению огневого удара,

типе применяемых СП и их БЧ, ТТХ БЧ, а также характеристиках системы ошибок, сопровождающих нанесение удара СП;

- 2) условиях нанесения удара (дальность пуска, количество СП, привлекаемых к нанесению удара, положение точек прицеливания);
- 3) объекте поражения, (тип цели, количество ЭЦ и входящих в них УА, их координаты, форма и размеры, критериальные параметры поражения (стойкость) УА);
- 4) информации пользователя (уровень доверия  $Q$ , доверительный интервал и число реализаций).

При разработке математического аппарата определения характеристик уязвимости конструктивных элементов ТС и АСУ, а также реализации полученной математической модели, в качестве основных допущений и ограничений приняты следующие:

- 1) объект поражения представляется в виде параллелепипеда, в пределах которого располагаются все УА (также в виде параллелепипедов);
- 2) местоположение, форма и размеры цели в процессе воздействия ПФ не изменяются;
- 3) УА являются конструктивные элементы ТС и АСУ, находящиеся в соответствующем образце ВВСТ.

Для решения сформулированной задачи разработана модель для операционных систем MS Windows, созданная с помощью объектно-ориентированной среды программирования Delphi 7, которая предоставляет наиболее удобный интерфейс пользователя при решении задач имитационного моделирования. В настоящее время осуществляется отладка программы и накопление статистического материала.

В качестве выводов следует отметить, что разработанная модель огневого воздействия является результатом решения научной задачи по формированию рациональных КВТИС. Данная модель позволяет получить необходимые исходные данные, а также может быть применена в качестве инструмента для решения других задач, в целях повышения эффективности функционирования системы связи.

### Литература

1. Воловиков В. С., Чихачев А. В. Анализ системы восстановления военной техники связи и направления ее совершенствования. // Труды Военно-морского политехнического института. Рецензируемый сборник. 2014. № 1(14). С. 78–85.
2. Краснов В. А., Коцыняк М. А. Оценка возможностей противника при планировании связи на операцию (бой). Учебное пособие. Часть 1. СПб.: ВАС, 2011. 128 с.
3. Руководство по техническому обеспечению связи и автоматизированных систем управления Вооружённых сил Российской Федерации. М.: Воениздат, 1994. 288 с.
4. Средства поражения и боеприпасы: Учебник / Под общ. ред. В.В. Селиванова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.

5. Общие требования по стойкости к внешним воздействующим факторам. ОТТ 1.1.6-2000. Часть 1. М.: МО, 2000. 94 с.
6. ГОСТ РВ 20.39.304-98. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам. М.: Издательство стандартов, 1999. 54 с.
7. Балаганский И. А., Мержневский Л. А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. Новосибирск: НГТУ, 2004. 408 с.
8. Черкесов Г. Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. М.: Знание, 1987. 32 с

### References

1. Volovikov V. S., Chikhachev A. V. *Analiz sistemy vosstanovleniya voennoy tekhniki svyazi i napravleniya ee sovershenstvovaniya* [The military communications equipment repair system analysis and directions for its improvement]. *Trudy voennomorskogo politekhnicheskogo instituta*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 78-85. (in Russian).
2. Krasnov V. A., Kotsynyak M. A. *Otsenka vozmozhnostey protivnika pri planirovanii svyazi na operatsiyu (boy)* [Assessment of their opponents in the planning of communication operation (combat). Part 1]. St. Petersburg, Military Academy of Communications Publ., 2011. 128 p. (In Russian).
3. The Manual Maintenance of communication and automated control systems of the Armed Forces of the Russian Federation. Moscow, Military Publ., 1994. 288 p. (In Russian).
4. Selivanov V. V. *Sredstva porazheniya i boepripasy* [Means of destruction and ammunition]. Moscow, Bauman Moscow State University for the Technical Publ., 2008. 984 p. (In Russian).
5. General requirements for resistance to external factors 1.1.6–2000. Part 1. Moscow, Department of Defense Publ, 2000. 94 p. (In Russian).
6. State Standard 20.39.304–98. Machinery, equipment, devices and equipment for military purposes. Requirements of resistance to external factors. Moscow, Standartov Publ., 1999. 54 p. (In Russian).
7. Balaganskii I. A., Merzhnevsky L. A. *Deystvie sredstv porazheniya i boepripasov* [Action means of destruction and ammunition]. Novosibirsk, Novosibirsk State University for the Technical Publ., 2004. 408 p. (In Russian).
8. Cherkesov G. N. *Metody i modeli otsenki zhivuchesti slozhnykh sistem* [Methods and models of assessment of difficult systems survivability]. Moscow, Knowledge Publ., 1987. 32 p. (In Russian).

Статья поступила 17 февраля 2015 г.

### Информация об авторе

Воловиков Владимир Сергеевич – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени Маршала Советского союза С.М. Буденного. Тел.: +7 911 914 48 39. E-mail: [bbcvvc@yandex.ru](mailto:bbcvvc@yandex.ru)  
Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

---

## Methodical maintenance of forecasting needs recovery system communication equipment and automated control systems in repair complete sets

Volovikov V. S.

The quality of the recovery process, implemented a system of technical communication and automated control systems, largely determined by the availability of material support of repair, the main element of which in wartime conditions are created in advance supplies repair complete sets. These kits are designed for the repair of military communications coming out of the system primarily due to receiving multiple combat damage. **The purpose of research** – demand forecasting system restore military equipment communication repair complete sets by synthesizing model enemy fire exposure to the elements of military communication networks. Implementation of the model, namely the characterization of vulnerability of structural elements of the samples of communications technology, will provide basic data for solving the task of the formation of rational repair complete sets. **Novelty**: in contrast to existing methodological support of combat losses forecast military communications, based on the use of data on the percentage of its release at some kind of repair, it is proposed to solve the task of building a constructive level of the sample communication technology, and thus, further studies to operate directly probabilistic characteristics of damage elements. The analysis of scientific literature in the subject area allowed at this stage of the work to get the following **result**: done meaningful characterization of the vulnerability of communications technology and automated control systems as an object of destruction and characteristics of the harmful effect of fire weapons, as well as providing a system of criteria relevant parameters affecting factors raw data, output data, formulate assumptions and constraints in modeling, all of which allowed the development of a simulation model of the impact of weapons on military communications. **Practical relevance**: the work will be used to characterize the vulnerability of structural elements, which are the basic data for determining the demand for spare parts in the implementation of the restoration of communications technology in wartime. Thus, the solution of a particular task in the modeling and will solve the main task – the implementation of a technique of formation of rational repair complete sets.

*Key words*: modeling, mean of destruction, goal (object destruction), combat damage, characteristics of vulnerability, simulation model, repair complete sets.

### Information about Author

*Volovikov Vladimir Sergeevich* – Doctoral Student. Postgraduate Student at Department of Technical Maintenance Communication and Automation. Military Academy of Communications. Tel.: +7 911 914 48 39. E-mail: [bbcvvc@yandex.ru](mailto:bbcvvc@yandex.ru)  
Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospect, 3.

УДК 004.72

## Модель сети воздушной радиосвязи на основе протокола случайного множественного доступа CSMA/CA

Аганесов А. В.

**Постановка задачи.** Создание объединенных воздушно-космических сетей связи актуализирует вопросы решения задач маршрутизации и ретрансляции сообщений в них. При этом необходимо обеспечить заданное качество обслуживания трафика. **Целью работы** является разработка модели сети воздушной радиосвязи, в которой передача данных ведется по протоколу случайного множественного доступа с предотвращением коллизий. В основу данной модели положена известная модель ненастойчивого множественного доступа. На основе данной модели предполагается провести исследование влияния транзитного трафика на эффективную пропускную способность сети и время передачи сообщений в ней. **Используемые методы.** В основу модели сети воздушной радиосвязи положена известная модель ненастойчивого множественного доступа с учетом специфики ретрансляции транзитного трафика. **Новизна.** Элементами новизны представленной модели являются учет нагрузки транзитных соединений. **Результат.** Исследование на основе разработанной модели показало, что транзитный трафик существенно влияет на показатели сети. При возрастании количества транзитных соединений происходит рост эффективной пропускной способности на 10-20%, а время задержки сообщений в сети возрастает в 2-2,5 раза. Такой рост задержки передачи сообщений не позволяет передавать по сети трафик критичный к задержкам и как следствие актуализирует вопросы ретрансляции трафика через космический эшелон связи. **Практическая значимость:** представленную модель в дальнейшем предполагается использовать для обоснования возможностей по ретрансляции транзитных соединений в воздушных сетях связи. Данные результаты в дальнейшем будут использованы для математического обеспечения маршрутизаторов абонентов воздушно-космических сетей связи, построенных с использованием Mesh-технологий. Так же возможна реализация на основе протокола OpenFlow для программно-конфигурируемых сетей SDN.

**Ключевые слова:** сеть связи, ретрансляция, маршрутизация, сеть воздушной радиосвязи, CSMA.

### Актуальность

В настоящее время в соответствии с перспективной концепцией построения систем связи специального назначения предполагается переход к много эшелонированному принципу построения объединенных систем связи Вооруженных сил (ВС). При этом при построении систем связи предполагается в максимальной степени задействовать коммерческие и открытые стандарты и протоколы.

Как показал анализ современных технологических решений по построению систем связи [1-8] в основу современной сети связи будут положены принципы бесшовного взаимодействия отдельных эшелонов объединенной сети связи ВС. Ретрансляция сообщений между отдельными сетями, потребует создания новых технологических решений по обеспечению ретрансляции информационных потоков, и как следствие увеличит информационную нагрузку на сети за счет транзитного трафика. Для обеспечения заданного качества обслуживания пользовательского трафика в объединенной сети связи требуется выработать единые протоколы ретрансляции информационных потоков с учетом дополнительной нагрузки

создаваемой транзитными соединениями. Данная задача особенно актуальна для сетей воздушной радиосвязи (СВРС) в УКВ диапазоне. Так как именно на них, в условиях проведения военной операции, планируется возложить информационное обеспечение авиации и ретрансляцию информационных потоков от подразделений сухопутных войск, и от развертываемых в районе операции разведывательных сетей на основе БПЛА. Кроме того, как показано в работах [9-14] СВРС доступны наземным и авиационным средствам радиоэлектронного подавления, что существенно затрудняет ретрансляцию информационных потоков. Вышеуказанные факторы определяют актуальность разработки модели СВРС, с учетом нагрузки транзитных соединений, как составной части более общей задачи, а именно: разработки научно-методического аппарата решения задачи маршрутизации в воздушно-космических сетях связи с заданным качеством обслуживания.

### **Постановка задачи**

В работе решается задача разработка модели СВРС с учетом нагрузки транзитных соединений. Для разрешения данной задачи необходимо решить следующие частные:

- 1) провести анализ технических и протокольных решений по ретрансляции информационных потоков в СВРС;
- 2) разработать модель СВРС с учетом нагрузки транзитных соединений.

### **Анализ технических и протокольных решений по ретрансляции информационных потоков в СВРС**

Анализ современных и перспективных технических решений на основе работ [6, 7, 15, 16] показал, что в основу воздушного эшелона будут положены системы обмена данными (СОД) в интересах которых, за счет перспективных средств и комплексов связи, будут развернуты отдельные СВРС обеспечивающие высокоскоростной цифровой информационный обмен. СОД будут обладать высокой совместимостью с наземными средствами радиосвязи и обеспечивать бесшовную ретрансляцию информационных потоков. В таблице 1 приведены основные характеристики существующих и разрабатываемых систем обмена данными по материалам из [15]. В настоящее время получила широкое применение СОД на базе ТКС-2 (ТКС-2М), однако наибольшей эффективностью обладает система ОСНОД, которая в настоящее время планируется к использованию в перспективных СВРС.

Технической основой перспективных СОД воздушного эшелона станет, комплекс связи С-111, который не только обеспечит летательные аппараты (ЛА) фронтовой, истребительной и армейской авиации высокоскоростной цифровой связью, но и будет использоваться совместно с наземными подразделениями сухопутных войск. Для этого в радиостанциях комплекса связи предусмотрен режим помехозащищенной связи ППРЧ-Б.

Таблица 1 – Характеристики систем обмена данными

№	Характеристики	ТКС-2 (ТКС-2М)	ОСНОД
1	Назначение	Типовой комплекс связи для обмена телекодовой информацией	Объединенная система связи, обмена данными, навигации и опознавания
2	Виды сетей обмена данных	СОД между самолетами, между ПУ и самолетами	Сеть обмена всеми видами информации между АК, между АК и ПУ, между ПУ
3	Возможность закрытия	Есть	Есть
4	Количество абонентов	20	1800
5	Объем сообщения, бит	1024	1024, 2048
6	Возможность автоматической ретрансляции сообщений	Есть	Есть
7	Диапазон частот	ДКМВ, МВ-ДМВ	ДМВ

\* ТКС-2М отличается от ТКС-2 циклограммой работы и составом передаваемой информации.

ТТХ комплекса связи С-111 значимые для решения задач ретрансляции информационных потоков представлены в таблице 2 по данным работ [7, 15, 17].

Информационный обмен внутри СВРС будет вестись с помощью универсальных кодограмм – УКВС, которые в зависимости от длины сообщения состоят из 1-го, 2-ух, 3-ех или 4-ех блоков по 256 бит в каждом блоке, то есть составляют сообщения объемом 256, 512, 768 и 1024 бит. При этом на максимальное время доставки УКВС накладывается ограничения связанные с режимом реального времени управления авиацией и необходимостью передачи информационного трафика критичного к задержкам (речь, видео). Несмотря на то, что существующие стандарты передачи информационных сообщений военного управления определяют граничные значения времени доведения в несколько секунд, к сообщениям голосового управления, а также к трафику фото и видеоданных поступающего от разведывательных средств на БПЛА в режиме реального времени предъявляются гораздо более жесткие требования, обусловленные используемым кодеком информации (таблицы 3, 4) [18, 19].

Таблица 2 – Некоторые ТТХ перспективного комплекса связи

№	Характеристика	Значение
1	Скорости передачи данных, кбит/с: - ДКМВ - МВ-ДМВ - ОСНОД (эффект.) - СМВ - спутниковая линия связи ЕССС-2 (ЕССС-3) ДМВ-2	до 2,4 до 16 до 40 (100) до 34 400 до 2,4 (до 2048)
2	Количество одновременно обслуживаемых сетей	до 38
4	Направлений связи: - ДКМВ - МВ-ДМВ - ОСНОД (эффект.) - СМВ - спутниковая линия связи ЕССС-2 (ЕССС-3) ДМВ-2	1 2 1 1 1
5	Дальность связи, км: - в направлении «земля-борт» для ДКМВ - в направлении «земля-борт» для МВ-ДМВ, ОСНОД - в направлении «борт-борт» для МВ-ДМВ, ОСНОД	1500 350 500

Таблица 3 - Требования к качеству услуг,  
предоставляемых мультисервисными сетями связи [18, 19]

Тип дан-ных	Название услуги	Требуемая скорость передачи	Параметры качества услуги		
			Задержка, мс	Джиттер	Потери, %
Аудио	Телефония	4-64 кбит/ с	<150 мс (отличное QoS); <400 мс (допустимое QoS)	<1 мс	<3%
	Передача голоса	4-32 кбит /с	<1 с (для воспроизведения); <2 с (для записи)	<1 мс	<3%
	Звуковое вещание	16-128 кбит/ с	<10 с	<<1 мс	<1%
Видео	Видео-конференция	>384 кбит/с	<150 мс (отличное QoS); <400 мс (допустимое QoS)		<1%
Данные	Просмотр WEB-страниц	~ 10 кБ	<2 с/стр. (отличное QoS); <4 с/стр. (допустимое QoS)	-	0
	Передача файлов	10 кБ – 10 МБ	<15с (отличное QoS); <60 с (допустимое QoS)	-	0
	Передача изображений	100 кБ	<15с (отличное QoS); <60 с (допустимое QoS)	-	0
	Доступ к электронной почте	<10 кБ	<2 с (отличное QoS); <4 с (допустимое QoS)	-	0
	Факс	~ 10 кБ	<30с/ стр.	-	< 10 <sup>-6</sup> BER

Таблица 4 - Допустимые значения параметров качества обслуживания при передаче мультимедийного трафика [18, 19]

Тип сервиса	Параметры качества обслуживания				
	Время установления соединения, с	Вероятность разрыва соединения	Задержка, мс	Джиттер, мс	Вероятность потери данных
IP-телефония	0,5-1	$10^{-3}$	25-500	100-150	$10^{-3}$
Видеоконференция	0,5-1	$10^{-3}$	30	30-100	$10^{-3}$
Цифровое видео по запросу	0,5-1	$10^{-3}$	30	30-100	$10^{-3}$
Передача данных	0,5-1	$10^{-6}$	50-1000	-	$10^{-6}$
Телевизионное вещание	0,5-1	$10^{-8}$	1000	-	$10^{-8}$

Порядок ретрансляции сообщений СОД по СВРС определяется алгоритмом многостанционного доступа (АМСД) к разделяемой среде передачи (базовая частота работы радиостанций абонентов СОД). В случае СВРС разделяемой средой является общий канал множественного доступа (КМД). В настоящее время в современных СОД при доступе к КМД используются следующие АМСД [17, 20, 21]:

- 1) АМСД «запрос-ответ», в соответствии с которым передача сообщений абонентам осуществляется только в ответ на полученный запрос;
- 2) АМСД «по расписанию», отличающегося тем, что каждый абонент передает сообщения в назначенное время относительно начала сеанса передачи;
- 3) АМСД «работа по сеансам», по которому каждый абонент сети передает сообщение в заданный расписанием связи момент времени;
- 4) Алгоритм случайного многостанционного доступа (АСМСД), представляет возможность передавать сообщения в любой свободный момент времени на основе случайного обращения абонентов к КМД.

Каждому вышеприведенному АМСД соответствует своя модель на базе которой ведется исследования СВРС, построенной на данном типе АМСД. Однако исследования [20-22] показали, что эффективность различных АМСД по критерию максимизации вероятностно-временных характеристик (ВВХ) доставки сообщения существенно отличается (см. рис. 1-3).

На рис. 1-3 приведены результаты моделирования информационного обеспечения авиационных комплексов (АК) с пункта управления (ПУ) в единой СВРС с различными АМСД. По оси абсцисс отложено время доставки информации, а по оси ординат - вероятность того, что время доставки примет данное или менее значение.

Моделирование проводилось со следующими ограничениями:

- пропускная способность СВРС: 1,2 кбит/с (соответствует АПД ТКС-2), 4,8 кбит/с (соответствует АПД ТКС-2М);
- количество АК в СВРС:  $N_{AK} = 4, 12$ .

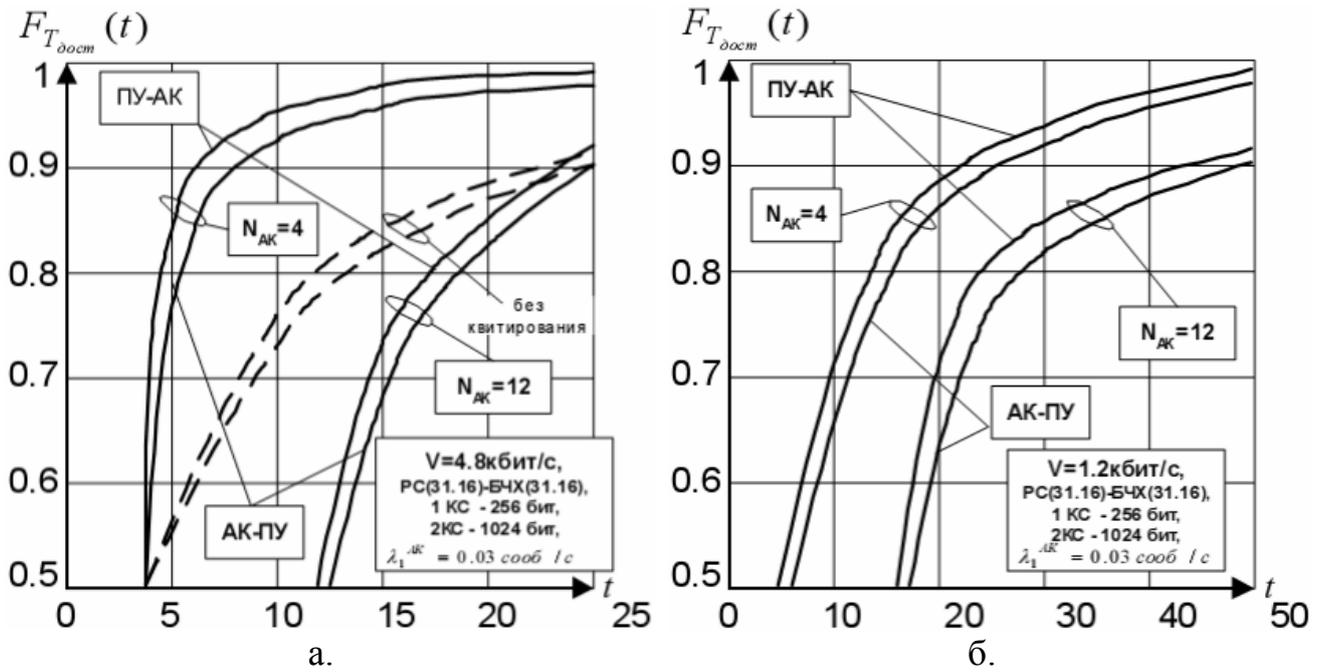


Рис. 1. ВВХ процесса доставки при АМСД «запрос-ответ»

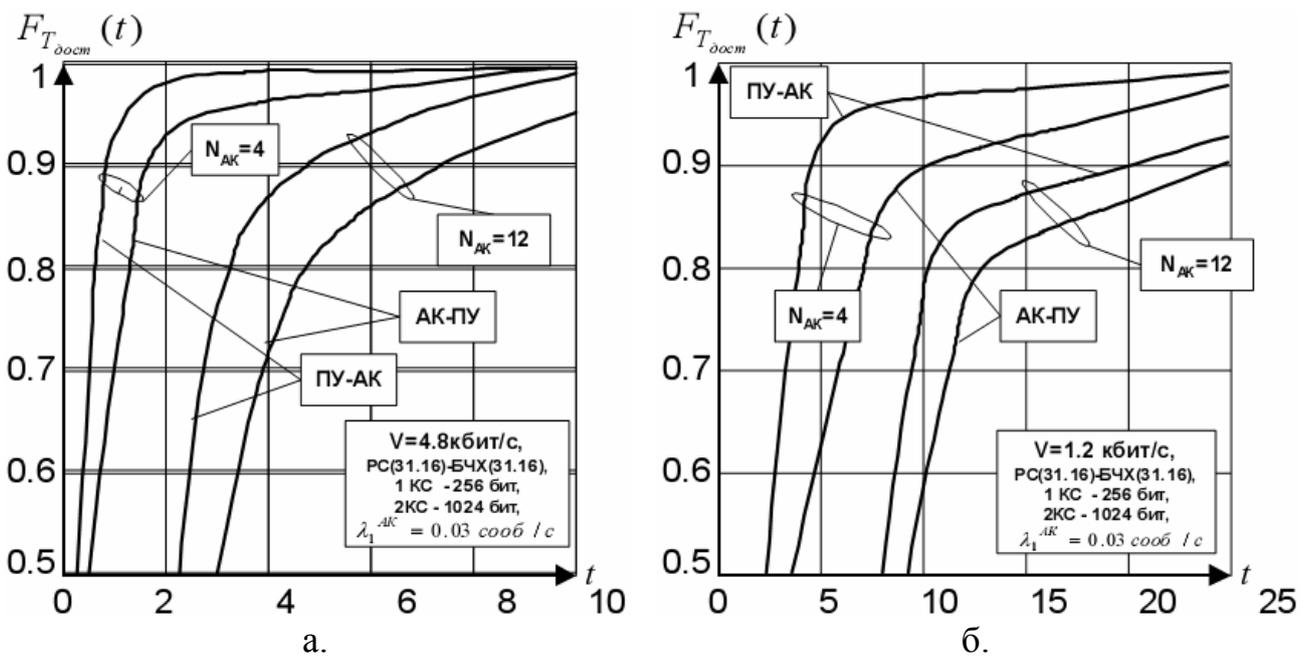


Рис. 2. ВВХ процесса доставки при АМСД с временным разделением КМД (АМСД «по расписанию» и «работа по сеансам»)

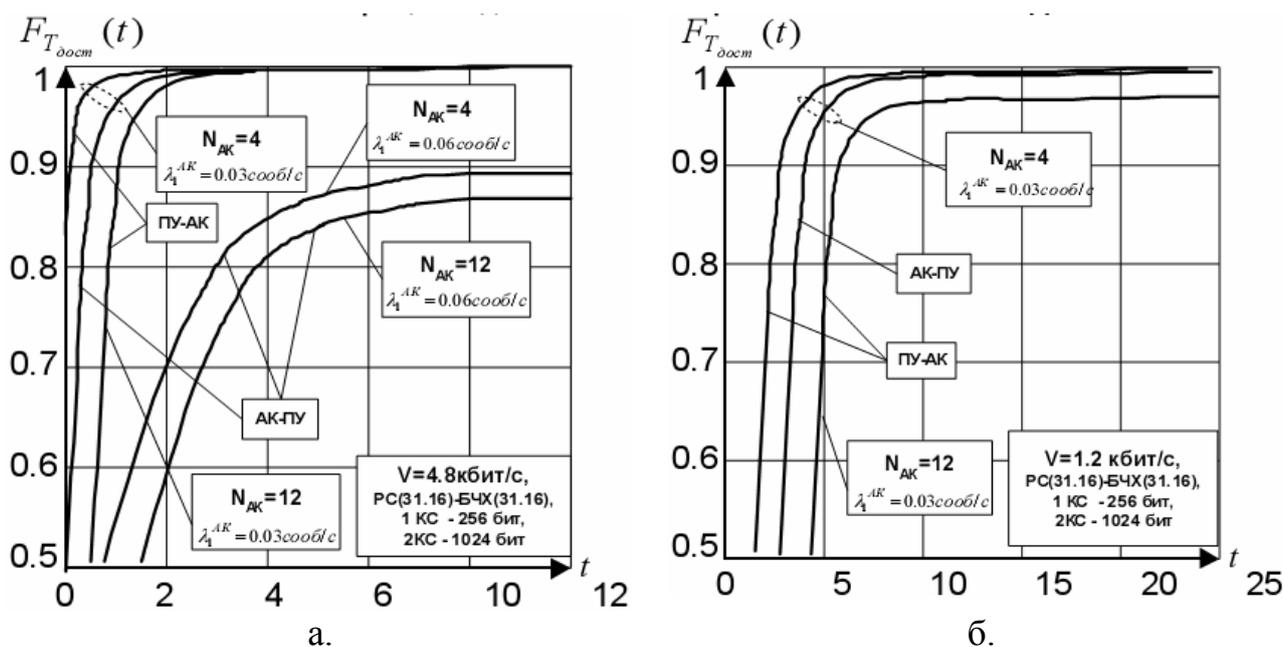


Рис. 3. ВВХ процесса доставки при АСМСД

Анализ результатов моделирования по применению вышеуказанных АМСД в СВРС позволяет сделать следующие выводы:

- Использование АМСД «запрос-ответ» не позволяет в полной мере удовлетворить потребности системы управления по управлению АК. Так при управлении 12 АК и выполнении требований по передаче УКВС объемом 1024 бит длительность цикла сеансов связи может достигать 24 с, при этом потребуется организация 3-ех функционально независимых подсетей ВРС (по 4 АК в каждой) и как следствие дополнительному расходу канальных ресурсов. А требования по передаче коротких сообщений 1-ой категории срочности (объемом 256 бит) не выполняются даже на скорости 4,8 кбит/с (см. рис. 1).
- Использование АМСД с временным разделением (АМСД «по расписанию» и «работа по сеансам») позволяет приблизиться к выполнению ВВХ доставки сообщений в СВРС для сообщений 1-ой категории срочности (объемом 256 бит) при управлении 12 АК (рис. 2). В работе [23] указывается что цикл обмена с 1АК составляет 0,5 с, а с группой из 12 АК – до 12 с, на скорости 4,8 кбит/с. Целесообразное применение данного АМСД связывается с перспективами реализацией в ТКС-2М скорости передачи 16 кбит/с, только в этом случае данный АМСД в некоторой мере будет удовлетворять требованиям по ВВХ передачи сообщений.
- Использование АСМСД (рис. 3) позволяет выполнить требования ВВХ передачи сообщений объемом до 1024 бита на скорости 4,8 кбит/с (стандартная скорость АПД ТКС-2М) при одновременном управлении 12 АК. К достоинствам данного АМСД следует отнести высокую пропускную способность и инвариантность к количеству абонентов. Основным недостатком АСМСД является высокая чувствительность

алгоритма к росту интенсивности входного трафика. Несмотря на указанный недостаток именно АМСД является наиболее перспективным для применения в СВРС.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в перспективе обмен сообщениями в СВРС воздушного эшелона будут базироваться на АСМСД. Применение же других АМСД обусловлено устаревшими АПД находящейся на наземных терминалах и ЛА. То есть, модель СВРС должна соответствовать КМД АСМСД как наиболее перспективному из применяемых в настоящее время (с учетом того, что с развитием СОД он вытеснит применение остальных АМСД). Фактически АСМСД соответствует протоколу случайного множественного доступа с предотвращением коллизий - CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance). Следовательно, СВРС целесообразно будет представить в виде КМД со случайным доступом на основе CSMA/CA, а базовой моделью используемой для оценки можно использовать модель СМО «Ненастойчивого множественного доступа с проверкой несущей» [22].

### **Анализ ранее проведенных исследований в области ретрансляции информационных потоков в СВРС**

Вопросы совершенствования системы связи для управления авиацией являются актуальными. Проблематике совершенствования систем связи управления авиацией посвящены работы: Федосова Е.А. [15], Киткаева С.В. [24], Коновалова О.А., Буслаева А.И., Маликова С.В. [8].

В известной литературе вопросы организации СВРС и управления ее ресурсами в интересах информационного обеспечения действий авиации исследовались в работах: Дмитриева А.Н. [20, 21, 25-27], Мотина О.В. [20, 21, 28], Максимова А.В. [20, 21, 27], Блакитного О.А. [25], Войткевича К.Л. [29], Макаренко С.И. [11, 30-32], Гимбицкого В.А. [33-38], Сныткина И.И. [33, 34, 35], Калинина В.И. [39, 40, 41], Гоцуцова С.Ю. [42], Калимулиной Э.Ю. [43], Морозова А.Н. [44], Прохорова А.В. [45, 46, 47], Колядова Д.В. [45, 46], Бондаря Д.С. [47].

Наиболее фундаментальной работой в области маршрутизации и ретрансляции трафика в авиационных СВРС является работа Войткевича К.Л. [29]. В данной работе фактически описаны основополагающие подходы к ретрансляции трафика в СВРС управления авиацией, рассмотрена применимость различных алгоритмов поиска путей в интересах задачи маршрутизации и ретрансляции трафика в объединенных наземно-воздушных сетях. В работах Гоцуцова С.Ю. [42] Калимулиной Э.Ю. [43] и Морозова А.Н. [44] рассматривались различные аспекты маршрутизации трафика управления воздушным движением (УВД) в СВРС на основе гражданских средств связи, с учетом фактора надежности каналов. В работах Прохорова А.В. [45, 46, 47], Колядова Д.В. [45, 46], Бондаря Д.С. [47] рассмотрены вопросы обслуживания трафика критичного к задержкам в СВРС УВД. Однако данные работы в основном касались принципов УВД гражданской авиации и не учитывали особенностей управления боевой авиацией. В частности в данных работах не

учитывались возможности быстрого возрастания объема передаваемых данных при дополнительном информационном обеспечении АК, на этапах атаки цели и ведении воздушного боя.

Особенности построения СВРС для управления боевой авиацией рассмотрены в работах: Дмитриева А.Н. [20, 21, 25, 26, 27], Мотина О.В. [20, 21, 28], Максимова А.В. [20, 21, 25, 27], Блакитного О.А. [25], Макаренко С.И. [23, 30-32], Гимбицкого В.А. [33-38], Сныткина И.И. [33-35]. В частности в работах Дмитриева А.Н., Мотина О.В., Максимова А.В., Блакитного О.А. [20, 21, 25-28] рассмотрены вопросы оценки организации СВРС на основе различных АМСД, а также эффективности информационного обмена в них. В работах Гимбицкого В.А. и Сныткина И.И. [33-38] рассмотрены вопросы построения эффективной системы связи управления авиацией региона на основе иерархических СВРС, а также порядок ретрансляции информационных потоков в них, при управлении массированными действиями разнородной группировки авиации. В работах Макаренко С.И. [23, 30-32] рассмотрены вопросы эффективного управления ресурсами СВРС для достижения заданной пропускной способности, в интересах информационного обеспечения истребительной авиации.

В работах Скороварова А.С. [49], Борисова В.И., Зинчука В.М., Лимарева А.Е. [14], Семисошенко М.А. [50], Макаренко С.И. [13, 51, 52], Иванова М.С., Попова С.А. [13], Владимирова В.И. [53], Бабусенко С. И. [54, 55] рассмотрены различные аспекты обеспечения помехозащиты СВРС и их функционирования в условиях преднамеренных помех.

В работах Калинина В.И. [39-41], Шорина О.А. [48] рассматриваются особенности управления ресурсами СВРС при обеспечения заданного качества обслуживания для высококомобильных абонентов.

Вместе с тем, в вышеуказанных работах [13, 49-55] не рассматриваются возможности ретрансляции части информационного трафика через космический эшелон, а также не учитываются возможности ретрансляции транзитных потоков через СВРС. В работах по помехозащищенности СВРС Скороварова А.С., Борисова В.И., Зинчука В.М., Лимарева А.Е., Семисошенко М.А., Макаренко С.И., Иванова М.С., Попова С.А. [13, 14, 49, 50] рассматриваются только параметры физического уровня, не рассматриваются эффекты от снижения пропускной способности СВРС как результата воздействия преднамеренных помех. В работах Владимирова В.И., Бабусенко С. И., Макаренко С.И. [9-12, 53-55] подробно рассмотрены эффекты от воздействия преднамеренных помех на сетевом уровне и их влияние на ретрансляцию информационных потоков, но при этом в показателях СВРС не учитывалась связность сети СВРС, а также дополнительная транзитная нагрузка.

Таким образом, новизной данной работы является решение задачи моделирования СВРС с учетом транзитной нагрузки на сеть, а также учет воздействия преднамеренных помех через снижение пропускной способности КМД.

## Модель сети воздушной радиосвязи

### на основе протокола случайного множественного доступа CSMA/CA

Проведем моделирование СВРС на основе АСМСД взяв за основу модель «Ненастойчивого множественного доступа с проверкой несущей (МДПН)» из работы [22] и описание алгоритма CSMA/CA в работе [56].

Алгоритм работы пользователя (терминала) в модели представляет собой следующую последовательность действий:

- 1) если канал свободен, то терминал передает пакет;
- 2) если канал занят, то терминал откладывает свою передачу на более позднее время, в соответствии с распределением задержки повторной передачи. Когда наступает это время, терминал вновь проверяет канал и повторяет описанный алгоритм.

Общий алгоритм функционирования алгоритма CSMA/CA приведен на рис. 4 [56].

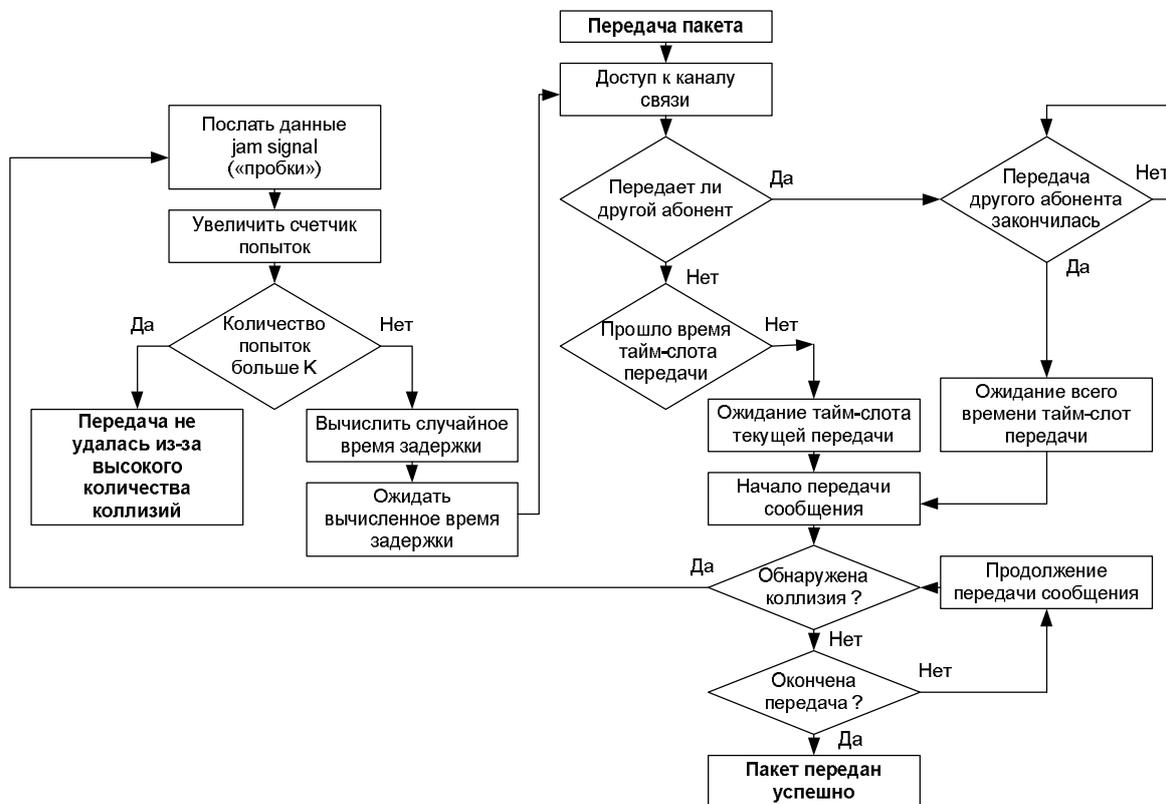


Рис. 4. Общий алгоритм функционирования алгоритма CSMA/CA [56]

Исходными данными для построения модели являются:

$M$  – количество пользователей (терминалов) совместно использующих спутниковый канал.

$P_{win}$  – длина пакета, выраженная через время передачи пакета (длина окна).

$S_m$  – вероятность, что передача  $m$ -го терминала прошла успешно, нормированная к длине окна.

$S = \sum_{m=1}^M S_m$  - среднее количество успешных передач на окно, приходящееся

на все терминалы.

$G_m$  – вероятность, что  $m$ -ый пользователь передает пакет в каком либо окне.

$G = \sum_{m=1}^M G_m = 1$  – средний трафик в канале, определяемый как число попыток

передач пакетов за время окна  $P_{win}$ .

$T$  – среднее время, в числе окон, за которое пакет будет успешно принят.

$S/G$  – вероятность успешной передачи абонента в СВРС.

$G/S$  – среднее число необходимых попыток передач пакета, пока не произойдет его успешная передача.

$a$  – максимальное время распространения в одну сторону, нормированное ко времени окна.

$K$  – задержка повторной передачи в количестве окон, равномерно распределенная со средним значением  $K$  единиц на окно.

$\beta$  – нормированное время до получения квитанции. Предполагается, что заблокированный пакет или потерпевший наложение пакет задерживается на время до получения квитанции.

$D_{mes}$  – длина пакета в битах.

$C$  – пропускная способность канала в бит/с.

$C_e$  – эффективная пропускная способность канала в бит/с.

$T_m$  – ограничение на максимальное время жизни пакета (обязательное условие для систем реального времени) в секундах.

$t$  – время жизни пакета на момент поступления в передающий терминал.

$T_a$  – время задержки пакета в канале в секундах.

$\lambda$  – интенсивность информационного потока в бит/с поступающий в терминал СВРС.

$\Lambda_1$  – общая интенсивность трафика в одной СВРС.

$k_{vn}$  – коэффициент определяющий долю трафика СВРС отправляемого в другие смежные сети.

$k_{kv}$  – коэффициент определяющий долю трафика в СВРС приходящегося на квитанции об успешной доставке информационных пакетов. Фактически значение  $k_{kv}$  показывает, что на каждые  $1/k_{kv}$  пакетов информационного трафика, приходится один пакет квитанции об успешной доставке.

Ограничения модели: канал является бесшумным; все терминалы находятся в пределах прямой видимости; полагается, что квитанции прибывают надежно и; рассматриваемая модель действительна при наличии большого числа равномерно «слабых» пользователей. Результаты модели получены в приближении, что нагрузка сети стремится к нулю.

Допущения модели: все терминалы находятся в зоне видимости друг от друга, скрытые терминалы отсутствуют; все терминалы статистически одинаковы, доминирующие источники отсутствуют; трафик в канале представляет собой независимый процесс; источники образуют суммарный

независимый процесс который является Пуассоновским; нагрузка сети стремится к нулю.

Среднее число успешных передач за окно длиной  $P_{win}$  определяется как [22]:

$$S = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-aG}}, \quad (1)$$

Средняя задержка пакета выраженная в количестве окон [22]:

$$T = \left(\frac{G}{S} - 1\right)(2a + 1 + \beta + K) + 1 + a \quad (2)$$

Выразим параметры модели через абсолютные величины. Параметр  $a$  в (1) и (2) зависит от радиуса радио-сети (максимальное расстояние между самыми удаленными терминалами сети) [22]:

$$a = \frac{d_{max}/c}{P_{win}} = \frac{d_{max}C}{cD_{mes}}, \quad (3)$$

где  $c=300\,000$  км/с – скорость распространения электромагнитных волн;  $d_{max}$  – максимальное расстояние между самыми удаленными терминалами СВРС в км определяется в соответствии с данными таблицы 2.

Получим зависимости для  $C_e$  и  $T_a$  от  $\lambda_m$ ,  $C$ . Длина окна явным образом зависит от длины сообщения и пропускной способности канала:

$$P_{win} = \frac{D_{mes}}{C} \quad (4)$$

Интенсивность поступления пакетов в терминал эквивалентна количеству порождаемых этим терминалом пакетов, длиной  $D_{mes}$  бит, за время длительности окна. То есть:

$$G_m = \frac{\lambda P_{win}}{D_{mes}},$$

откуда следует

$$G = \frac{P_{win}}{D_{mes}} \sum_{m=1}^M \lambda_m = \frac{D_{mes}}{C/D_{mes}} \sum_{m=1}^M \lambda_m = \frac{M\lambda}{C} = \frac{\Lambda_1}{C}. \quad (5)$$

Учтем в составе поступающего в СВРС трафика дополнительный транзитный трафик, доля которого определяется коэффициентом  $k_{vn}$ . В этом случае общий трафик в СВРС будет:

$$\Lambda_1(1+k_{vn}).$$

В случае когда, в СВРС дополнительно используется квитирование успешных передач пакетов, и доля трафика квитанций составляет  $k_{kv}$  ( $k_{kv}=0\dots 1$ ) от информационного трафика, то общий трафик в СВРС будет:

$$\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv}). \quad (6)$$

тогда

$$G = \frac{\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}{C}. \quad (7)$$

Эффективная пропускная способность канала определяется, как количество успешных передач сообщений длиной  $D_{mes}$  бит, за время  $P_{win}$  и равна:

$$C_e = S \frac{D_{mes}}{P_{win}} = S \frac{D_{mes}}{D_{mes} / C} = SC \quad (8)$$

Подставляя (1), (3), (5) в (8), с учетом (6) получим выражение для определения среднего количества успешных передач на окно. Учитывая что  $S$  – нормированная величина и выражая эффективную скорость канала через  $C_e$  получим:

$$\begin{aligned} C_e = SC &= C \frac{\frac{1}{C} \Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv}) e^{-\frac{d_{max}}{cD_{mes}} \Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}}{\frac{\Lambda_1}{C} \left(1 + 2 \frac{d_{max} C}{cD_{mes}}\right) (1+k_{vn})(1+k_{kv}) + e^{-\frac{d_{max} C}{cD_{mes}} \frac{1}{C} \Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}} = \\ &= \frac{\Lambda_1 C (1+k_{vn})(1+k_{kv}) e^{-\frac{d_{max} \Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}{cD_{mes}}}}{\Lambda_1 \left(1 + 2 \frac{d_{max} C}{cD_{mes}}\right) (1+k_{vn})(1+k_{kv}) + C e^{-\frac{d_{max} \Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}{cD_{mes}}}} \end{aligned} \quad (9)$$

Определим время задержки в секундах из выражения (2). Параметр  $\beta$ , отвечающий за доставку квитанции не зависит от параметров канала в модели, рассмотренной в [22], что определяется введенными в модель ограничениями. Если из [22] убрать ограничения, что квитанции доставляются надежно по отдельному каналу и без затрат, получим: квитанции доставляются по тому же каналу. В этом случае из (2) с учетом выражения (6) получим  $\beta$ , как задержку пакета квитанции, который не требует квитанции успешного приема:

$$\beta = \left(\frac{S}{G} - 1\right)(2a + 1 + K) + 1 + a \quad (10)$$

Тогда выражение для времени задержки, выраженной в секундах будет определяться из (2) и (10):

$$\begin{aligned} T_a &= \frac{D_{mes}}{C} \left[ \left(\frac{2G}{S} - 1\right) \left(\frac{2G}{S} (2a + K + 1) + 1 + a\right) \right] = \\ &= \frac{D_{mes}}{C} \left[ \left(\frac{2\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}{SC} - 1\right) \left(\frac{2\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}{SC} (2a + K + 1) + 1 + a\right) + 1 + a \right], \end{aligned} \quad (11)$$

где:  $G$  определяется из выражением (7),  $a$  выражением (3), а  $S$  определяется равенством:

$$S = \frac{\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv}) e^{-\frac{d_{max}}{cD_{mes}} \Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}}{\Lambda_1 \left(1 + 2 \frac{d_{max} C}{cD_{mes}}\right) (1+k_{vn})(1+k_{kv}) + C e^{-\frac{d_{max}}{cD_{mes}} \Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}} \quad (12)$$

В случае если квитирование в СВРС не применяется, то выражение (11), будет иметь вид:

$$T = \left(\frac{\Lambda_1(1+k_{vn})}{S} - 1\right)(2a + 1 + K) + 1 + a,$$

с учетом того, что в выражении (12) для  $S$  значение  $k_{kv}=0$ .

Отметим, что для систем реального времени накладывается ограничение на максимальное время доставки пакета по сети -  $T_m$ . Для выражения (32)  $K$  является варьируемым параметром, однако необходимо наложение условия, при котором передача заявки имеет смысл. При превышении времени нахождения в сети  $t$  максимально допустимого порога  $T_m$  передача заявки теряет смысл. Поэтому на  $K$  накладывается ограничение:

$$K \leq \frac{T_m - t}{P_{win}}$$

Учитывая (4) получим критерий соответствия доставки пакетов трафика условиям представленным в таблицах 2 и 3:

$$K \leq \frac{C(T_m - t)}{D_{mes}} \quad (13)$$

Таким образом, получим выражения для эффективной пропускной способности и задержки передачи трафика в СВРС со АСМСД по протоколу CSMA/CA.

$$\left\{ \begin{array}{l} S = \frac{\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})e^{-\frac{d_{max}\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}{cD_{mes}}}}{\Lambda_1\left(1+2\frac{d_{max}C}{cD_{mes}}\right)(1+k_{vn})(1+k_{kv})+Ce^{-\frac{d_{max}\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}{cD_{mes}}}} \\ C_e = CS \\ T_a = \frac{D_{mes}}{C} \left[ \left( \frac{2G}{S} - 1 \right) \left( \frac{2G}{S} (2a + K + 1) + 1 + a \right) \right] \\ a = \frac{d_{max}C}{cD_{mes}} \\ K \leq \frac{C(T_m - t)}{D_{mes}} \end{array} \right. \quad (14)$$

Система (14) описывает поведение СВРС образованной КМД с АСМСД по протоколу CSMA/CA, в котором надежность передачи пакетов обеспечивается квитанциями об успешном приеме, передающимися по этому же каналу.

### Моделирование процесса функционирования сети

Проведем моделирование функционирования сети исходя из следующих базовых исходных данных:

- скорость КМД:  $C=48000$  бит/с;
- объем пакета:  $D_{mes}=256$  бит;
- количество попыток повторной передачи  $K=16$ ;
- максимальное время передачи  $T_m=10$  с;
- расстояние между наиболее удаленными абонентами в сети  $d_{sot}=250$  км;
- коэффициент внешнего трафика  $k_{vn}=0,2$ ;

– коэффициент трафика квитанций об успешной доставке  $k_{kv}=0,1$ .

Скорость базового канала взята в 9600 бит/с, что соответствует упаковке речи кодеками стандартов:

- MELP (2400 бит/с, MOS – 3,5);
- G.723.1 /ACELP (5300 бит/с, MOS-3,7);
- TETRA/ACELP (4567бит/с, MOS – 3,4);
- AMR/ACELP (4750бит/с, MOS- 3.847).

Результаты моделирования представлены на рис. 5-10.

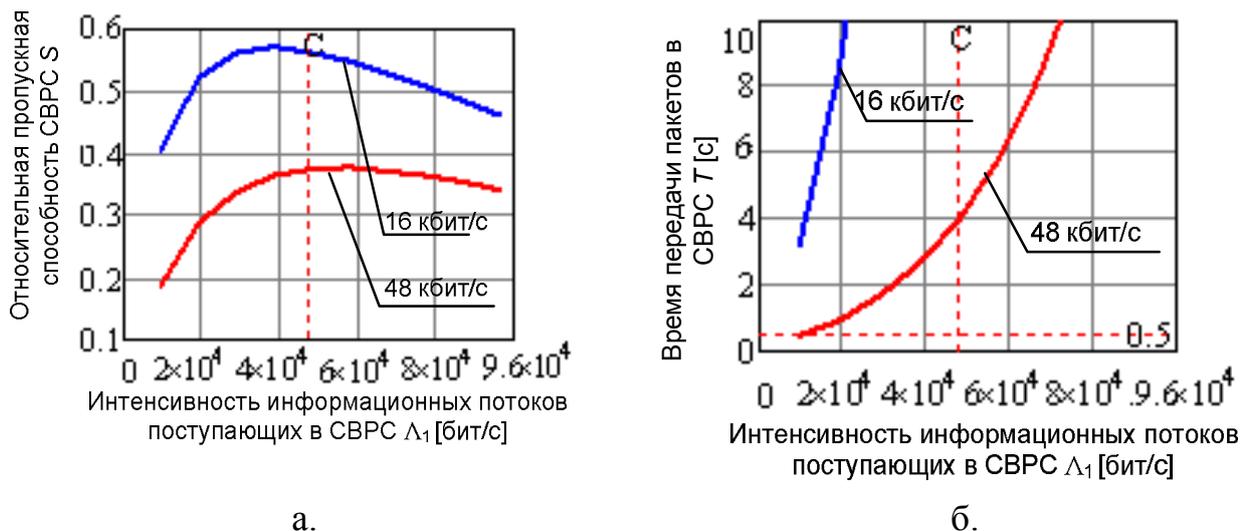


Рис. 5. Моделирование относительной пропускной способности S (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от загрузки для КМД с различной пропускной способностью

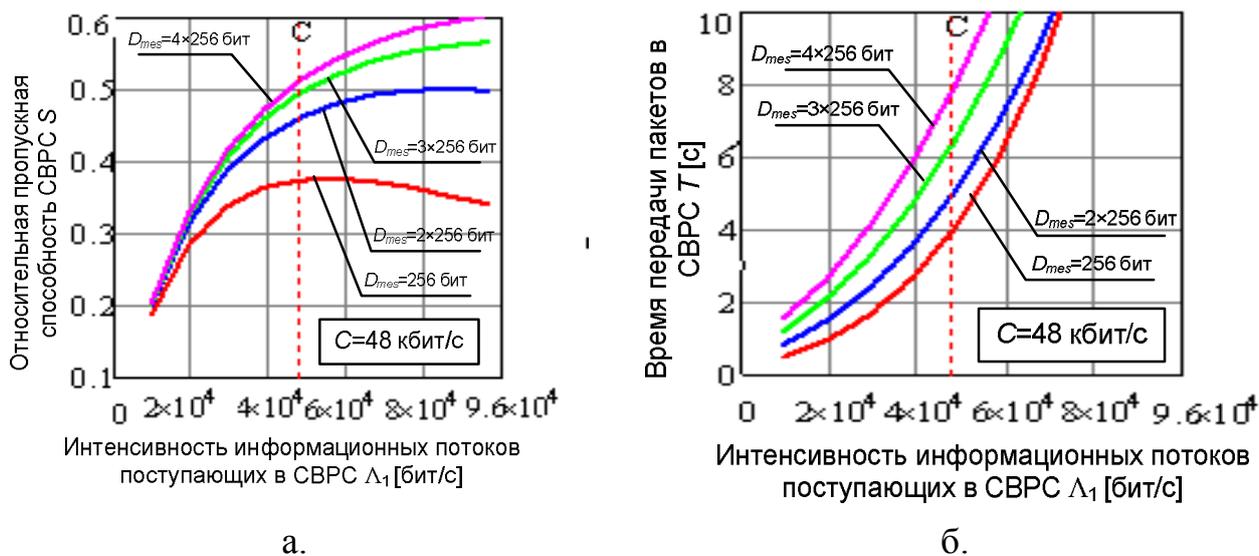
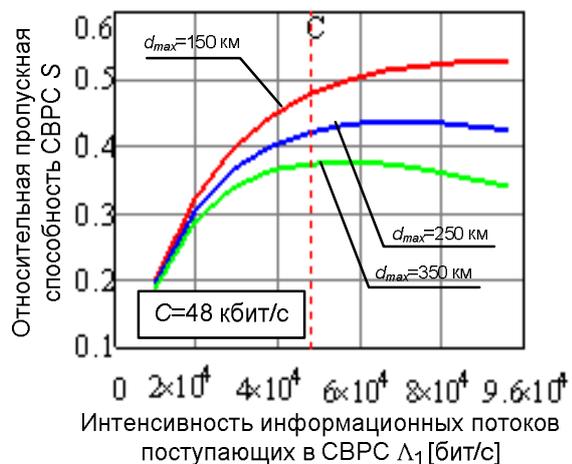
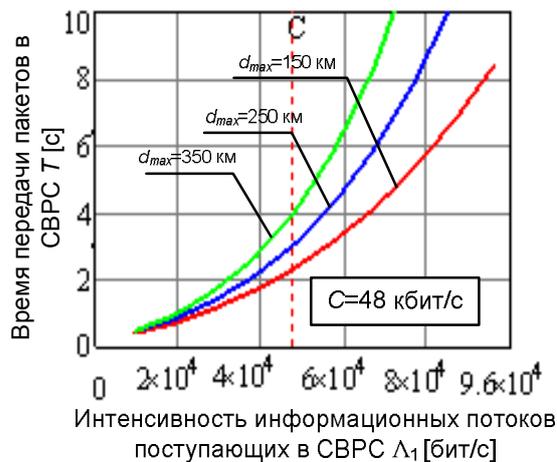


Рис. 6. Моделирование относительной пропускной способности S (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от загрузки для различного объема передаваемых пакетов

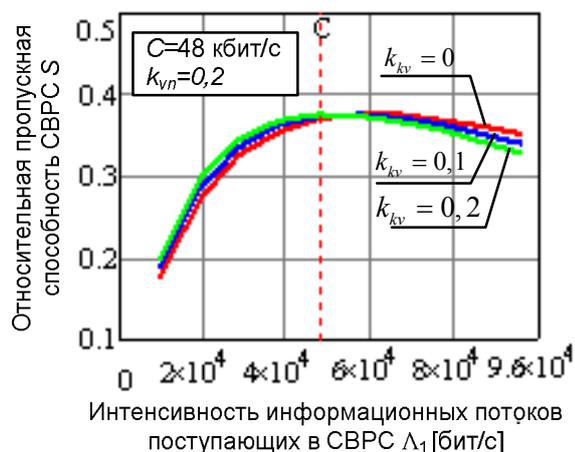


а.



б.

Рис. 7. Моделирование относительной пропускной способности  $S$  (а) и времени задержки передачи (б) в зависимости от загрузки для СВРС различного радиуса



а.



б.

Рис. 8. Моделирование относительной пропускной способности  $S$  (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от загрузки для различных значений коэффициента трафика квитанций

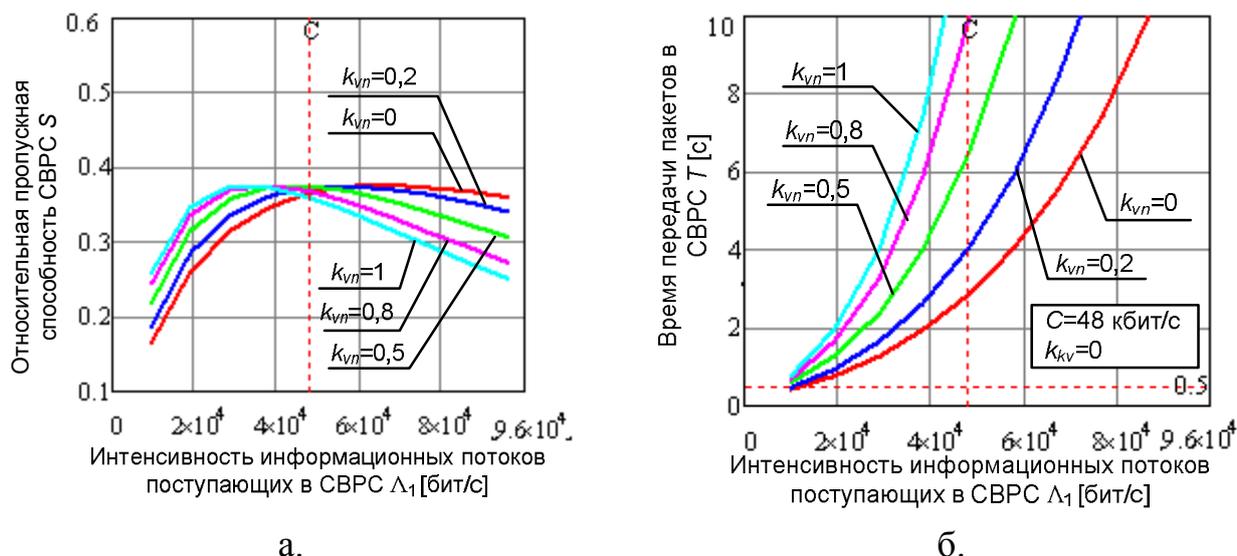


Рис. 9. Моделирование относительной пропускной способности  $S$  (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от загрузки для различных значений коэффициента внешнего трафика

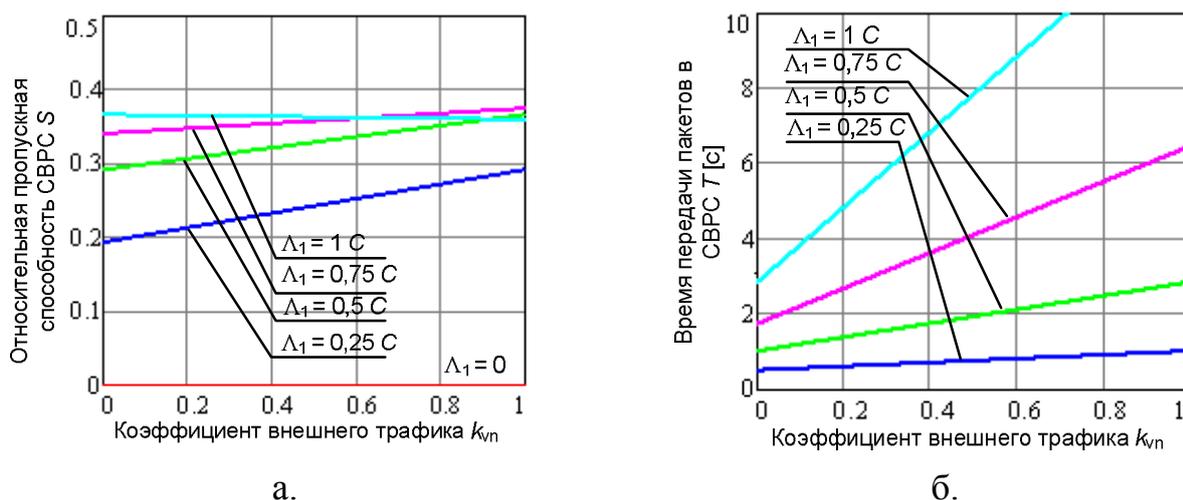


Рис. 10. Моделирование относительной пропускной способности  $S$  (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от коэффициента внешнего трафика, при различных значениях нагрузки

### Выводы

Проведенное моделирование показало, что транзитный трафик существенно влияет на сеть: при росте эффективной пропускной способности на 10-20%, время задержки сообщений возрастает в СВРС в 2-2,5 раза. Такой рост задержки передачи сообщений не позволяет передавать по СВРС трафик критичный к задержкам и как следствие актуализирует вопросы ретрансляции трафика через другие эшелоны связи.

Данные результаты в дальнейшем будут использованы для математического обеспечения маршрутизаторов абонентов воздушно-космических сетей связи, построенных с использованием Mesh-технологий. Так

же возможна реализация на основе протокола OpenFlow для программно-конфигурируемых сетей SDN.

### Литература

1. Денисов Б. Б. Проблемы наращивания телекоммуникационного ресурса в интересах функционирования информационно-управляющих систем специального назначения [Доклад] // Мат. Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Под ред. Ю.В. Бородакия. М.: АО «Концерн «Созвездие», 2012.

2. Кобозев Ю. Н. Перспективы развития систем связи и телекоммуникаций в информационно-управляющих системах специального назначения [Доклад] // Мат. Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Том 4 «Телекоммуникации и связь в информационно-управляющих системах». Под ред. Ю.В. Бородакия. М.: ОАО «Концерн «Созвездие», 2013. С. 7-9.

3. Шептура В.Н. Архитектура перспективной системы связи группировки войск (сил) для обеспечения управления адаптивными действиями войск (сил) [Доклад] // Мат. Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Том 4 «Телекоммуникации и связь в информационно-управляющих системах». Под ред. Ю.В. Бородакия. М.: ОАО «Концерн «Созвездие», 2013. С. 16-20.

4. Легков К.Е., Ледянкин И.А. Основные подходы к предоставлению услуг в инфокоммуникационных системах специального назначения [Доклад] // Мат. Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Том 4 «Телекоммуникации и связь в информационно-управляющих системах». Под ред. Ю.В. Бородакия. М.: ОАО «Концерн «Созвездие», 2013. С. 38-41.

5. Информационные технологии, связь и защита информации в МВД России - 2012 / По ред. М.Л. Тюркина, М.И. Шадаева, А.С. Аджемова, И.П. Иванова, С.В. Дворянкина, А.В. Куц, А.В. Квитко, П.А. Важева, Ю.А. Быстрова. М.: ООО «Компания «Информационный мост», 2013. 156 с. URL: [www.informost.ru](http://www.informost.ru) (дата доступа 03.02.2015).

6. Связь в Вооруженных силах Российской Федерации – 2013: тематический сборник. / По ред. А.В. Абрамовича, А.В. Герасимова, С.В. Цибина, К.С. Ометова, Ю.А. Быстрова. М.: ООО «Компания «Информационный мост», 2013. 216 с. URL: [www.informost.ru](http://www.informost.ru) (дата доступа 03.02.2015).

7. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы / Под общ. ред. С. Иванова. М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2006. 695 с.

8. Коновалов О. А., Буслаев А. И., Маликов С. В. Актуальные направления развития перспективной системы связи вооруженных сил // III

научные чтения имени А.С. Попова. Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией: сб. ст. по материалам Всероссийской НТК слушателей, курсантов и молодых ученых, посвященной 95-летию со Дня образования войск связи (10 октября 2014 г.). Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. С. 42-44.

9. Макаренко С. И. Анализ воздействия преднамеренных помех на сетевой уровень модели взаимодействия открытых систем и функционирование протокола маршрутизации оценки состояния канала (OSPF) // Информационные технологии моделирования и управления. 2009. №7 (59). С. 956-961.

10. Макаренко С. И. Анализ воздействия преднамеренных помех на функционирование расширенного протокола маршрутизации внутреннего шлюза (EIGRP) // Информационные технологии моделирования и управления. 2010. №2 (61). С. 223-229.

11. Макаренко С. И. Исследование влияния преднамеренных помех на возможности по ретрансляции сообщения и показатели качества обслуживания канального уровня модели OSI для системы связи со случайным множественным доступом абонентов // Информационные технологии моделирования и управления, 2010, №6 (65). С. 807-815.

12. Антонович П. И., Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Ушанев К. В. Перспективные способы деструктивного воздействия на системы военного управления в едином информационном пространстве // Вестник Академии военных наук. 2014. № 3(48). С. 93-101.

13. Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. СПб.: – Свое издательство, 2013. – 166 с.

14. Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты // под ред. В.И. Борисова; изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: РадиоСофт, 2008. – 512 с.

15. Авиация ПВО России и научно технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: монография / под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 815 с.

16. Системы связи: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов / С. И. Макаренко, В. И. Сапожников, Г. И. Захаренко, В. Е. Федосеев; под общ. ред. С. И. Макаренко. – Воронеж: ВАИУ, 2011. – 285 с.

17. Научно-производственное предприятие «Полет». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. 2015. URL: <http://www.polyot.atnn.ru> (дата доступа 03.02.2015).

18. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчёта показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. - Красноярск: изд. ООО "Поликом", 2010.— 389 с.

19. Макаренко С. И., Бородинов Р.В. Анализ технологий обеспечения качества обслуживания в мультисервисных АТМ сетях // Информационные технологии моделирования и управления. 2012. №1 (73). С. 65-79.

20. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Мотин О. В. Оценка эффективности сетей воздушной радиосвязи при использовании различных алгоритмов многостанционного доступа // Тезисы докл. науч. техн. конференции. – Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.

21. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Мотин О. В. Модели сетей радиосвязи, использующие различные алгоритмы множественного доступа // Тезисы докл. юбилейной науч. техн. конференции. – Калуга: ОАО «КНИИТМУ», 2002.

22. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями. Пер с англ. – М.: Мир. 1979. – 600 с.

23. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.

24. Киткаев С. В. Концепция технической модернизации средств авиационной электросвязи России // Электросвязь. 2009. № 5. С. 29-33.

25. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Блакитный О. А. Проблема построения единой автоматизированной системы радиосвязи региона и пути ее решения // Сб. трудов X юбилейной научно-технической конференции «Проблемы радиосвязи». – Н. Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.

26. Дмитриев А. Н., Мотин О. В. Модель авиационного УКВ канала обмена данными // Тезисы докл. науч. техн. конференции. – Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.

27. Дмитриев А. Н., Максимов А. В. Оптимизация авиационных сетей обмена данными // Сборник трудов X НТК «Проблемы радиосвязи». Н.Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.

28. Мотин О. В. Модель функционирования авиационного УКВ канала обмена данными // XXIV военно-научная конференция молодых ученых. Щелково: 30 ЦНИИ МО РФ, 2001.

29. Войткевич К. Л. Методы управления трафиком в наземно-воздушных сетях связи. Дис. ... д.т.н. по спец. 05.13.01. Н.Новгород: НПП «Полет», 1998.. 375 с.

30. Макаренко С. И. Особенности распределения ресурсов радио сети управления авиационными комплексами перехвата в условиях варьирования интенсивности информационного обмена // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «VIII научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского». Часть 2. – М.: изд. ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2007. – С. 118.

31. Макаренко С. И. Задача адаптивного управления пропускной способностью каналов сети воздушной радиосвязи в условиях квазистационарности потоков данных // Сборник докладов юбилейной Всероссийской научно-технической школы-семинара «Проблемы совершенствования боевых авиационных комплексов, повышение

эффективности их эксплуатации и ремонта» - Ставрополь: СВВАИУ, 2007. – С. 25-28.

32. Макаренко С. И. Расчет параметров алгоритма адаптивного распределения пропускной способности каналов наведения в сети воздушной радиосвязи // Сборник докладов юбилейной Всероссийской научно-технической школы-семинара «Проблемы совершенствования боевых авиационных комплексов, повышение эффективности их эксплуатации и ремонта» - Ставрополь: СВВАИУ, 2007. – С. 28-33.

33. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Организация управления силами и средствами авиации региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры №100. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003.

34. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Задачи боевого управления единой системы воздушной радиосвязи в комплексе пунктов управления авиационной группировкой региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры №100. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003.

35. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Функциональная модель процесса управления авиацией региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры №100. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003.

36. Гимбицкий В. А. Анализ системы воздушной радиосвязи в частях истребительной авиации // Тематический научно-технический сборник филиала ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (г. Ставрополь). 2005. № 26.

37. Гимбицкий В. А., Бакум А. Н. Совершенствования боевого управления авиацией ПВО // Тезисы докладов 18 НТК курсантов СВВАИУ. – Ставрополь: СВВАИУ, 1996.

38. Гимбицкий В. А. Анализ системы воздушной радиосвязи в частях дальней авиации и ВТА // Тематический научно-технический сборник филиала ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (г. Ставрополь). 2005. № 26.

39. Калинин В. И. Методика оценки вероятности обслуживания абонентов с требуемой достоверностью в зоне обслуживания станции радиодоступа [Доклад] // 66 НТК СпбНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

40. Калинин В. И. Пространственные модели зон обслуживания систем связи с подвижными объектами [Доклад] // 66 НТК СпбНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

41. Калинин В. И. Поточные сетевые модели в системах связи с подвижными объектами [Доклад] // 66 НТК СпбНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

42. Гоцуцов С. Ю. Совершенствование автоматизированных систем управления воздушным движением на основе технологий коммутации пакетов. Дис. ... к.т.н. по спец. 05.22.13. М.: МИИГА, 2007, 211 с.

43. Калимулина Э.Ю. Разработка и исследование аналитических моделей надёжности и их применение для оптимизации территориально-распределённых сетей. Дис. ... к.т.н. по спец. 05.13.13. М.: МТУСИ, 2009. 222 с.

44. Морозов А. Н. Моделирование авиационных наземных фиксированных сетей передачи данных для организации воздушного движения в условиях дефицита исходных данных. Дис. ... к.ф.-м.н. по спец. 05.13.18. М.: МФТИ (ТУ), 211 с.

45. Колядов Д. В., Прохоров А. В. Влияние явления одновременной передачи вызовов на работу систем управления воздушным движением // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 204. С. 82-87.

46. Колядов Д. В., Прохоров А. В. Реализация перспективной системы коммутации речевой связи для управления воздушным движением // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2013. № 193. С. 55-58.

47. Прохоров А. В., Бондарь Д. С. Применение аппаратуры широкополосного радиодоступа в локальных сетях связи и передачи данных систем управления воздушным движением // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2012. № 176. С. 93-100.

48. Шорин О. А. Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи. Дис. .... д. техн. наук по спец. 05.12.13. – М.: МТУСИ, 2005. – 351 с.

49. Скороваров А. С. Пути повышения эффективности функционирования авиационных средств обмена информацией с ППРЧ в условиях помех // Сборник трудов X НТК «Проблемы радиосвязи». Н.Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.

50. Семисошенко М. А. Управление автоматизированными сетями декаметровый связи в условиях сложной радиоэлектронной обстановки – СПб.: ВАС, 1997. 364 с.

51. Макаренко С. И. Подавление пакетных радиосетей со случайным множественным доступом за счет дестабилизации их состояния // Журнал радиоэлектроники. 2011. № 9. С. 2-2. - URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf> (дата доступа 03.02.2015).

52. Макаренко С. И. Оценка качества обслуживания пакетной радиосети в нестационарном режиме в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов / Журнал радиоэлектроники. 2012. № 6. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun12/9/text.pdf> (дата доступа 03.02.2015).

53. Владимиров В. И. Информационные основы радиоподавления линий радиосвязи в динамике радиоэлектронного конфликта. Воронеж: ВИРЭ. 2003. – 276 с.

54. Бабусенко С. И., Исаев В. В. Статистическое моделирование многопролетных сетей пакетной радиосвязи. – Мат. 18 НТК Техника средств связи – Воронеж: НИИС, 1992.

55. Бабусенко С. И., Исаев В. В. Аналитическая модель маршрутизации в пакетной радиосети. – Мат. 18 НТК Техника средств связи – Воронеж: НИИС, 1992.

56. Макаренко С. И. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебное пособие. – Ставрополь: СФ МГГУ им. М. А. Шолохова, 2008. – 352 с.

### References

1. Denisov B. B. Problemy narashchivaniia telekommunikatsionnogo resursa v interesakh funktsionirovaniia informatsionno-upravliaiushchikh sistem spetsial'nogo naznacheniiia [The Problems of Up Capacity Telecommunication Resource in the Interests of a Functioning Management Information Systems Special Purpose]. *Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia «Sovremennye tendentsii razvitiia teorii i praktiki upravleniia v sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia»* [Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Modern trends in the theory and practice of control systems for special purposes"]. Moscow, JSC "Concern "Sozvezdie", 2012 (in Russian).

2. Kobozev Iu. N. Perspektivy razvitiia sistem sviazi i telekommunikatsii v informatsionno-upravliaiushchikh sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia [Prospects for the Development of Communication and Telecommunication Systems in Management Information Systems, Special Purpose]. *Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia «Sovremennye tendentsii razvitiia teorii i praktiki upravleniia v sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia»* [Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Telecommunications and Communication in Management Information Systems"], vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sozvezdie", 2013, pp. 7-9 (in Russian).

3. Sheptura V. N. Arkhitektura perspektivnoi sistemy sviazi gruppirovki voisk (sil) dlia obespecheniia upravleniia adaptivnymi deistviiami voisk (sil) [Architecture of Advanced Communication Systems Forces to Ensure Adaptive Management Actions of the Troops]. *Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia «Sovremennye tendentsii razvitiia teorii i praktiki upravleniia v sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia»* [Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Modern Trends in the Theory and Practice of Control Systems for Special Purposes"], vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sozvezdie", 2013, pp. 16-20 (in Russian).

4. Legkov K. E., Lediankin I. A. Osnovnye podkhody k predostavleniiu uslug v infokommunikatsionnykh sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia [Basic Approaches to the Provision of Services in Information and Communication Systems for Special Purposes]. *Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia «Sovremennye tendentsii razvitiia teorii i praktiki upravleniia v sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia»* [Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Telecommunications and Communication in Management Information Systems"], vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sozvezdie", 2013, pp. 38-41 (in Russian).

5. Tiurkin M. L., Shadaev M. I., Adzhemov A. S., Ivanov I. P., Dvoriankin S. V., Kuts A. V., Kvitko A. V., Vazhev P. A., Bystrov Iu. A. *Informatsionnye tekhnologii, sviaz' i zashchita informatsii v MVD Rossii* [Information Technology, Communication and Information Protection in the Ministry of Internal Affairs of Russia]. Moscow, "Company "Information Bridge", 2013, 156 p. Available at: [www.informost.ru](http://www.informost.ru) (accessed 03 February 2015) (In Russian).

6. Abramovich A. V., Gerasimov A. V., Tsibin S. V., Ometov K. S., Bystrov Iu. A. *Sviaz' v Vooruzhennykh silakh Rossiiskoi Federatsii - 2013: tematicheskii sbornik* [Communication in the Armed Forces of the Russian Federation - 2013: Thematic Collection]. Moscow, "Company "Information Bridge" Publ., 2013, 216 p. Available at: [www.informost.ru](http://www.informost.ru) (accessed 03 February 2015) (in Russian).

7. Ivanov S. *Oruzhie i tekhnologii Rossii. Entsiklopediia. XXI vek. Sistemy upravleniia, sviazi i radioelektronnoi bor'by* [Weapons and Technology of Russia. The Encyclopedia. XXI Century. Control Systems, Communications and Electronic Warfare]. Moscow, "Weapons and Technology" Publ., 2006, 695 p. (In Russian).

8. Konovalov O. A., Buslaev A. I., Malikov S. V. Aktual'nye napravleniia razvitiia perspektivnoi sistemy sviazi vooruzhennykh sil [Current Trends in the Development of Advanced Communication Systems of the Armed Forces]. *Proceedings of III readings behalf of the A. S. Popov*, Voronezh, Military Training and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy Named after Professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", 2014, pp. 42-44 (in Russian).

9. Makarenko S. I. Analiz vozdeistviia prednamerennykh pomekh na setevoi uroven' modeli vzaimodeistviia otkrytykh sistem i funktsionirovanie protokola marshrutizatsii otsenki sostoianiia kanala (OSPF) [Analysis of the Impact of Intentional Interference at the Network Level Model of Open Systems Interaction and Functioning of the Routing Protocol Assessment Channel (OSPF)]. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2009, vol. 59, no. 7, pp. 956-961 (in Russian).

10. Makarenko S. I. Analiz vozdeistviia prednamerennykh pomekh na funktsionirovanie rasshirenogo protokola marshrutizatsii vnutrennego shliuza (EIGRP) [Analysis of Affecting Intended Interferences on the Operation of the Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)]. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2010, vol. 61, no. 2, pp. 223-229 (in Russian).

11. Makarenko S. I. Issledovanie vliianiia prednamerennykh pomekh na vozmozhnosti po retransliatsii soobshcheniia i pokazateli kachestva obsluzhivaniia kanal'nogo urovnia modeli OSI dlia sistemy sviazi so sluchainym mnozhestvennym dostupom abonentov [The Study of the Influence of Intentional Interference at the Relay Capabilities of the Message and the Quality of Service Link Layer of the OSI Reference Model for Communication Systems with Random Multiple Access Subscribers] *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2010, vol. 65, no. 6, pp. 807-815 (in Russian).

12. Antonovich P. I., Makarenko S. I., Mihaylov R. L., Ushanev K. V. New means of destructive effects on network centric military command, control and communication systems in the information space. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2014, vol. 48, no. 3, pp. 93-101 (in Russian).

13. Makarenko S. I., Ivanov M. S., Popov S. A. *Pomekhozashchishchennost' sistem svyazi s psevdosluchainoi perestroikoi rabochei chastoty*. Monografiya [Interference Resistance Communication Systems with Frequency-Hopping Spread Spectrum. Treatise]. St-Petersburg, Svoe Izdatel'stvo Publ., 2013, 166 p. (in Russian).

14. Borisov V. I., Zinchuk V. M., Limarev A. E. *Pomekhozashchishchennost' sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov metodom psevdosluchainoi perestroiki rabochei chastoty* [Interference Resistance Radio Systems with Method of the Frequency-Hopping Spread Spectrum], second edition. Moscow, RadioSoft Publ., 2008, 512 p. (in Russian).

15. Fedosov E. A. *Aviatsiia PVO Rossii i nauchno tekhnicheskii progress: boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnia, zavtra*. Monografiya [Air Defence of Russia and Scientific Technical Progress: Combat Systems and Systems Yesterday, Today, Tomorrow. Treatise]. Moscow, Drofav Publ., 2005, 815 p. (in Russian).

16. Makarenko S. I., Sapozhnikov V. I., Zakharenko G. I., Fedoseev V. E. *Sistemy svyazi* [Radio Communications System]. Voronezh, Military Aviation Engineering University, 2011, 285 p. (in Russian).

17. Nauchno-proizvodstvennoe predpriiatie "Polet". Available at: <http://www.polyot.atnn.ru> (accessed 03 February 2015) (in Russian).

18. Nazarov A. N., Sychev K. I. *Modeli i metody rascheta pokazatelei kachestva funktsionirovaniia uzlovogo oborudovaniia i strukturno-setevykh parametrov setei svyazi sleduiushchego pokoleniia* [Models and methods of calculation of quality performance of the nodal equipment and structural network parameters of the networks to the next generation]. Krasnoyarsk, Polikom Publ., 2010, 389 p. (in Russian).

19. Makarenko S. I., Borodinov R. V. *Analiz tekhnologii obespecheniia kachestva obsluzhivaniia v mul'tiservisnykh ATM setiakh* [The Analysis of Technologies to Ensure Quality of Service in Multiservice ATM Networks], *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2012, vol. 73, no. 1, pp. 65-79. (in Russian).

20. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. *Otsenka effektivnosti setei vozdushnoi radiosvyazi pri ispol'zovanii razlichnykh algoritmov mnogostantsionnogo dostupa* [Evaluation of the Effectiveness of the Networks to Air Radio Communications Using Different Algorithms for Multiple Access]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii (Proceedings of the Conference)*, Kaluga, JSC «Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv», 2002 (in Russian).

21. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Modeli setei radiosviasi, ispol'zuiushchie razlichnye algoritmy mnozhestvennogo dostupa [Model Radio Communications Networks that use Different Algorithms for Multiple Access Telecommunications]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii* (Proceedings of the Conference), Kaluga, JSC “Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv”, 2002 (in Russian).

22. Kleinrock L. *Queueing Systems: Volume II – Computer Applications*. New York: Wiley Interscience. p. 576.

23. Makarenko S. I. Adaptivnoe upravlenie skorostiami logicheskikh soedinenii v kanale radiosviasi mnozhestvennogo dostupa [Adaptive Control Speed Logical Connections in the Radio Multiaccess Channel]. *Information and Control Systems*, 2008, no. 6, pp. 54-58 (in Russian).

24. Kitkaev S. V. Kontseptsiiia tekhnicheskoi modernizatsii sredstv aviatsionnoi elektrosviasi Rossii [The Concept of Technical Modernization of Aviation's Telecommunication Russia]. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2009, no. 5, pp. 29-33 (in Russian).

25. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Blakitnyi O. A. Problema postroeniia edinoi avtomatizirovannoi sistemy radiosviasi regiona i puti ee resheniia [The Problem of Constructing a Unified Automated Communication Systems of the Region and the Ways of its Solution]. Konferentsiia “*Problemy radiosviasi*” [Proceedings of the Conference “Problems of radio communication”]. Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie «Polet», 1999 (in Russian).

26. Dmitriev A. N., Motin O. V. Model' aviatsionnogo UKV kanala obmena dannymi [Model aviation ultrashort-waves communication channel]. *Tezisy dokladov nauchno tekhnicheskoi konferentsii* [Proceedings of the Conference], Kaluga, JSC “Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv”, 2002 (in Russian).

27. Dmitriev A. N., Maksimov A. V. Optimizatsiia aviatsionnykh setei obmena dannymi [Optimization of aviation networks data communication]. *Sbornik trudov X nauchno tekhnicheskoi konferentsii “Problemy radiosviasi”* [Proceedings of the Conference Title «Problems of radio communication»], Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie “Polet”, 1999 (in Russian).

28. Motin O. V. Model' funktsionirovaniia aviatsionngo UKV kanala obmena dannymi [The Model of Functioning Aviation Ultrashort-waves Communication channel]. *XXIV voenno-nauchnaia konferentsiia molodykh uchenykh* [Proceedings of the Conference Title XXIV military-scientific conference of young scientists], Shchyolkovo, 30 tsentral'nyi nauchno-issledovatel'skii institut Ministerstva oborony Rossiiskoi Federatsii, 2001 (in Russian).

29. Voitkevich K. L. *Metody upravleniia trafikom v nazemno-vozdushnykh setiakh sviasi* [Methods of traffic management in ground-air communication networks. Extended Abstract of Dr. habil. Thesis]. Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie “Polet”, 1998, 375 p. (in Russian).

30. Makarenko S. I. Osobennosti raspredeleniia resursov radio seti upravleniia aviatsionnymi kompleksami perekhvata v usloviakh var'irovaniia intensivnosti informatsionnogo obmena [Features of resource allocation radio network control aircraft interception complexes in terms of the variation of the intensity of data exchange]. *Materialy nauchno-tekhnicheckoi konferentsii "VIII nauchnye chteniia po aviatsii, posviashchennye pamiati N.E. Zhukovskogo"* [Proceedings of the 8th All-Russian Scientific Conference on Aviation, Dedicated to the Memory of N. E. Zhukovsky]. Part 2, Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2007, 118 p. (in Russian).

31. Makarenko S. I. Zadacha adaptivnogo upravleniia propusknoi sposobnost'iu kanalov seti vozdushnoi radiosvazi v usloviakh kvazistatsionarnosti potokov dannykh [The task of the adaptive bandwidth control channel network air radio in conditions of quasi-stationarity of data streams]. *Sbornik dokladov konferentsii «Problemy sovershenstvovaniia boevykh aviatsionnykh kompleksov, povyshenie effektivnosti ikh ekspluatatsii i remonta»* [Proceedings of All-Russian Scientific and Technical Conference "Problems of improving combat airplane, increasing the efficiency of their operation and repair"], Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 2007, pp. 25-28 (in Russian).

32. Makarenko S. I. Raschet parametrov algoritma adaptivnogo raspredeleniia propusknoi sposobnosti kanalov navedeniia v seti vozdushnoi radiosvazi. [Calculation of parameters of the algorithm adaptive bandwidth channel capacity of guidance channel in the air network radio channel] *Sbornik dokladov iubileinoi Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheckoi shkoly-seminara «Problemy sovershenstvovaniia boevykh aviatsionnykh kompleksov, povyshenie effektivnosti ikh ekspluatatsii i remonta»* (Proceedings of All-Russian Scientific and Technical Conference "Problems of Improving Combat Airplane, Increasing the Efficiency of Their Operation and Repair"), Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 2007, pp. 28-33 (in Russian).

33. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Organizatsiia upravleniia silami i sredstvami aviatsii regiona [Organization Management of Forces and Means of Air in the Region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

34. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Zadachi boevogo upravleniia edinoi sistemy vozdushnoi radiosvazi v komplekse punktov upravleniia aviatsionnoi gruppirovkoi regiona [The tasks of command and control of a unified system of air communication in the complex control of the aviation group of the region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

35. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Funktsional'naiia model' protsessa upravleniia aviatsii regiona [Functional model of the process control aviation in the region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

36. Gimbitskii V. A. Analiz sistemy vozdukhnoi radiosvazi v chastiakh istrebitel'noi aviatsii [Analysis of the air communication system in parts of fighter aircraft]. *Tematicheskii nauchno-tekhnicheskii sbornik filiala Voennovo-zudushnai inzhenernai akademii imeni N. E. Zhukovskogo*, Stavropol, 2005, no. 26 (in Russian).

37. Gimbitskii V. A., Bakum A. N. Sovershenstvovaniia boevogo upravleniia aviatsiei PVO [Improvement of Command and Control Air Anti-Aircraft Defence]. *Abstracts of Papers 18 Scientific Technical Conference of Cadet of Stavropol Higher Military Aviation Engineering College*, Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 1996 (in Russian).

38. Gimbitskii V. A. Analiz sistemy vozdukhnoi radiosvazi v chastiakh dal'nei aviatsii i VTA [Analysis of the air communication system in parts of long-range aviation and military transport aircraft]. *Tematicheskii nauchno-tekhnicheskii sbornik filiala Voennovo-zudushnai inzhenernai akademii im. N.E. Zhukovskogo*, Stavropol, 2005, no. 26 (in Russian).

39. Kalinin V. I. Metodika otsenki veroiatnosti obsluzhivaniia abonentov s trebuemoi dostovernost'iu v zone obsluzhivaniia stantsii radiodostupa [The method of estimating the probability of customer service with the required accuracy in the service area of the radio access station]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg's Scientific-Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

40. Kalinin V. I. Prostranstvennye modeli zon obsluzhivaniia sistem svazi s podvizhnymi ob"ektami [Spatial models of service areas of communication systems with mobile objects]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg's Scientific-Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

41. Kalinin V. I. Potokovye setevye modeli v sistemakh svazi s podvizhnymi ob"ektami [Streaming network models in communication systems with mobile objects]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg's Scientific-Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

42. Gotsutsov S. Iu. Sovershenstvovanie avtomatizirovannykh sistem upravleniia vozdukhnykh dvizheniem na osnove tekhnologii kommutatsii paketov. Diss. kand. tehn. nauk [Improvement of Automated Systems of Air Traffic Control Based on the Technology of Packet Switching. Ph.D. Tesis]. Moscow, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2007, 211 p. (in Russian).

43. Kalimulina E. Iu. *Razrabotka i issledovanie analiticheskikh modelei nadezhnosti i ikh primenenie dlia optimizatsii territorial'no-raspredelennykh setei*. Diss. kand. tehn. nauk [Research and development of analytical reliability models and their application to optimization of geographically distributed networks. Ph.D. Tesis], Moscow, Moscow Technical University of Communications and Informatics, 2009, 222 p. (in Russian).

44. Morozov A. N. *Modelirovanie aviatsionnykh nazemnykh fiksirovannykh setei peredachi dannykh dlia organizatsii vozdushnogo dvizheniia v usloviakh defitsita iskhodnykh dannykh. Diss. kand. fiz.-mat. nauk* [Modeling aviation ground fixed data networks for air traffic management in conditions of deficiency of the original data. Ph.D. Tesis]. Moscow, Moscow Institute of Physics and Technology, 211 p. (in Russian).

45. Koliadov D. V., Prokhorov A. V. Vliianie iavleniia odnovremennoi peredachi vyzovov na rabotu sistem upravleniia vozdushnym dvizheniem [Effect of Simultaneous Transmissions Phenomenon on Air Traffic Control Systems Functionality]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2014, no. 204, pp. 82-87 (in Russian).

46. Koliadov D. V., Prokhorov A. V. Realizatsiia perspektivnoi sistemy kommutatsii rechevoi sviazi dlia upravleniia vozdushnym dvizheniem [Implementation of Next-Generation Voice Communication System for Civil Aviation]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2013, no. 193, pp. 55-58 (in Russian).

47. Prokhorov A. V., Bondar' D. S. Primenenie apparatury shirokopolosnogo radiodostupa v lokal'nykh setiakh sviazi i peredachi dannykh sistem upravleniia vozdushnym dvizheniem [Application of Means of Broadband Radio Access in Local Communication Networks and Data Transmission for Systems of Air Traffic Management]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2012, no. 176, pp. 93-100 (in Russian).

48. Shorin O. A. *Metody optimal'nogo raspredeleniia chastotno-vremennogo resursa v sistemakh podvizhnoi radiosviasi. diss. doktora tekhn. nauk* [Methods the Optimal Allocation of Time-Frequency Resource in Mobile Radio Systems. Dr. habil. thesis]. Moscow, Moscow Technical University of Communications and Informatics, 2005, 351 p. (in Russian).

49. Skorovarov A. S. Puti povysheniia effektivnosti funktsionirovaniia aviatsionnykh sredstv obmena informatsiei s PPRCh v usloviakh pomekh [Method of pseudorandom reorganization of working frequency]. *Sbornik trudov X Nauch. Tekhn. Konferentsii "Problemy radiosviasi"* (Proceedings of the Conference «Problems of Radio Communication»). Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriiatie «Polet», 1999 (in Russian).

50. Semisoshenko M. A. *Upravlenie avtomatizirovannymi setiami dekametrovoi sviasi v usloviakh slozhnoi radioelektronnoi obstanovki* [The Management of the Automated Networks Decameter Communication in Complex Electronic Environment], St. Petersburg, Military Academy of Communications, 1997, 364 p. (in Russian).

51. Makarenko S. I. The Countermeasures of the Radio Networks with the Random Multiple Access by Changing the Radionet State to Non-Stable. *Radio electronics journal*, 2011, no. 9. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf> (accessed 03 February 2015) (in Russian).

52. Makarenko S. I. Estimation of quality of service in radio network with package transmitting in unstationary mode under influence of external destructive factors. *Radio Electronics Journal*, 2012, no. 6. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/jun12/9/text.pdf> (accessed 03 February 2015) (in Russian).

53. Vladimirov V. I. *Informatsionnye osnovy radiopodavleniia linii radiosviazi v dinamike radioelektronnogo konflikta* [Information basis of the countermeasure of radio communications in the dynamics of electronic conflict]. Voronezh, Voronezh Institute of Radioelectronics, 2003, 276 p. (in Russian).

54. Babusenko S. I., Isaev V. V. Statisticheskoe modelirovanie mnogoproletnykh setei paketnoi radiosviazi [Statistical modeling of multi-span of packet radio networks]. *Proceedings of the Scientific Conference "Technique of communication"*, Voronezh, Scientific Research Institute of Communications, 1992 (in Russian).

55. Babusenko S. I., Isaev V. V. Analiticheskaya model' marshrutizatsii v paketnoi radioseti [Analytical model of routing in packet radio networks], *18 Konferentsiia "Tekhnika sredstv svyazi"* (Proceedings of the Scientific Conference «Technique of communication»), Voronezh, Scientific Research Institute of Communications, 1992 (in Russian).

56. Makarenko S. I. *Vychislitel'nye sistemy, seti i telekommunikatsii* [Computer systems, networks and telecommunication]. Stavropol, Sholokhov Moscow State University for the Humanities (Stavropol Branch) Publ., 2008, 352 p. (in Russian).

Статья поступила 20 марта 2015 г.

### Информация об авторе

Аганесов Артур Валерьевич – соискатель ученой степени кандидата наук. Помощник начальника учебного отдела ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: маршрутизация информационных потоков и ретрансляция сообщений в воздушно-космических сетях связи; Mesh-технологии. Тел.: +7 919 233 98 86. E-mail: [aganesov.artur@yandex.ru](mailto:aganesov.artur@yandex.ru)

Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а.

---

## Model of Radio Network with CSMA/CA Protocol

Aganesov A. V.

**Statement of the problem:** in the united aerospace communication networks routing and relaying of messages required with a given quality of service traffic. **Purpose:** research and development of the network model radio communication with the data transmission by Protocol CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). In radio communication model-based non-persistent multiple access to investigate the effect of transit traffic on the effective network bandwidth and transmission time of messages in it. **Methods used:** model non-persistent multiple access in relay backhaul traffic in a network model radio communication. **Novelty:** model with considering transit connections in the load network. **The results** of the study - transit traffic will significantly affect the performance of the network. The increase in the number of transit connections makes the growth of the effective bandwidth of 10-20%, and the time delay of messages

in the network increases in 2-2,5 times. The increase in the transmission delay of messages not allows you to send network traffic to sensitive delay. It is recommended to relay traffic through the space echelon. **Practical relevance:** the author proposes to use paper results for relay backhaul traffic in a radio network on based Mesh-technology.

**Keywords:** communications network, relay traffic, routing, radio networks, CSMA.

### Information about Author

*Aganesov Artur Valer'evich* - Doctoral Student. Assistant of head of training department. Military Training and Research Center of the Air Force “Military Air Academy Named After Professor N. E. Zhukovsky and Ju. A. Gagarin”. Field of research: traffic routing and message relay in aerospace communication networks; Mesh-networks. Tel.: +7 919 233 98 86. E-mail: [aganesov.artur@yandex.ru](mailto:aganesov.artur@yandex.ru)

Address: Russia, 355000, Voronezh, Street of Old Bolsheviks, 54a.

УДК 004.738

## Адаптация параметров сигнализации в протоколе маршрутизации с установлением соединений при воздействии на сеть дестабилизирующих факторов

Макаренко С. И., Михайлов Р. Л.

**Постановка задачи:** увеличение структурной сложности сетей связи актуализирует вопросы обеспечения их устойчивости к воздействиям дестабилизирующих факторов. Известные способы повышения устойчивости направлений связи, основываются на маршрутизации информационных потоков по основному и нескольким резервным путям, и не учитывают потери времени на процессы реконфигурации соединений. **Целью работы** является обеспечение заданного уровня устойчивости соединения по показателю коэффициента готовности соединения с учетом его структуры и за счет адаптации временных параметров диагностики состояния работоспособности соединения к надежностным показателям элементов соединения. Предлагается при обеспечении устойчивости учитывать не только структуру соединения, но и временные затраты на восстановление связи. В работе показано, что эти временные затраты определяются временными параметрами отказов элементов соединений и периодом диагностики работоспособности элементов. Адаптивное изменение периода диагностики работоспособности элементов соединения в соответствии с измеряемым средним временем отказа элементов позволит обеспечить заданный уровень устойчивости соединения. **Используемые методы:** решение задачи адаптации параметров сигнализации в протоколе маршрутизации с установлением соединений основано на использовании методов теории надежности и теории Марковских процессов. В качестве критерия достижения заданного уровня устойчивости соединения предложено использовать значение коэффициента готовности соединения с учетом его структуры и процессов его реконфигурации. **Новизна:** элементами новизны представленного решения являются учет воздействия деструктивных факторов через переходные вероятности оригинальной Марковской модели. Также к элементам новизны стоит отнести новый подход к оценке коэффициента готовности соединения основанный на дополнительной оценке процессов реконфигурации соединения. **Результат:** использование представленного решения по адаптации параметров сигнализации в протоколе маршрутизации с установлением соединений позволяет обеспечить заданный уровень устойчивости (по показателю коэффициент готовности соединения) при отказе его отдельных элементов из-за воздействия дестабилизирующих факторов. **Практическая значимость:** представленное решение предлагается реализовать в виде математического обеспечения протоколов маршрутизации с установлением соединения: Hello, PNNI, MPLS функционирующих в сетях подвергающихся воздействию дестабилизирующих факторов. Такая реализация позволит осуществлять адаптивное динамическое изменение параметров сигнализации в области периода диагностики состояния соединения (из конца в конец) в зависимости от уровня воздействия дестабилизирующих факторов на элементы сети.

**Ключевые слова:** соединение, кластеризация, маршрутизация, протокол связи, дестабилизирующий фактор, преднамеренные помехи, PNNI, MPLS.

### Актуальность

На современном этапе развития систем спутниковой связи (ССС) пристальное внимание уделяется возможностям применения в них технологий пакетной передачи данных. В рамках направлений модернизации транспортной сети на основе СССР рассматривается, возможности внедрения технологии АТМ (Asynchronous Transfer Mode), которая позволит на начальном этапе реализовать поддержку цифровых пакетных потоков, а в дальнейшем осуществить переход к полноценной системе поддержки мультисервисного

обслуживания пакетного трафика в ССС [1, 2]. Вместе с тем, специфика физической среды передачи в ССС (наличие быстрых и медленных замираний сигнала, зависимость условий распространения сигналов от состояния ионосферы и др.), а также то, что в отечественной практике впервые реализуется ССС с АТМ актуализирует необходимость глубокого изучения вопросов устойчивости ССС с применением этой технологии.

Таким образом, в качестве базового объекта исследования в статье рассматривается соединение АТМ. Однако в связи с выделением технологических решений PNNI и MPLS из технологии АТМ в самостоятельные протоколы, данный материал актуален и для других сетей (например IP/MPLS или ASON/ASTN) основанных на протоколах маршрутизации с установлением соединения и коммутацией по меткам.

Для маршрутизации в АТМ сетях используются следующие протоколы [3, 4, 5]:

- PNNI (Private Network-to-Network Interface) – для установления и управления соединениями;
- MPLS (Multi Protocol Label Switching) – для передачи информационных потоков;
- Hello – для контроля связей с соседними логическими узлами на обоих концах соединения и выявления отказов каналов связи.

В рамках данной работы рассмотрен процесс функционирования протокола Hello, одной из задач которого является своевременное определение отказов каналов и узлов связи в соединении. Также разработаны предложения по модификации протокола Hello. Разработанные предложения позволяют повысить устойчивости связи (по показателю коэффициента готовности соединения) за счет адаптивного выбора периода обмена сообщениями Hello между абонентами соединения, для диагностики фактов отказа каналов или узлов связи в сети, подверженной воздействию дестабилизирующих факторов (ДФ).

Под устойчивостью связи, согласно ГОСТ 5311-2008 [6], понимается способность системы связи (СС) выполнять свои функции при выходе из строя части ее элементов в результате воздействия ДФ. Под ДФ понимаются воздействия на СС, источником которых является физический или технологический процесс внутреннего или внешнего характера, приводящие к выходу из строя элементов СС. В соответствии с этим различают [6, 7]:

- внутренние ДФ;
- внешние ДФ.

При этом способность СС противостоять внутренним ДФ определяет свойство надежности, а способность противостоять внешним ДФ - свойство живучести. При рассмотрении структурной устойчивости учитываются топология сети, межэлементные связи и надежность характеристики элементов

в, вследствие чего задачи, связанные с анализом структурной устойчивости, можно свести к задачам надежности и устойчивости топологических структур в зависимости от конкретизации понятия

«воздействие ДФ». В общем случае в качестве внешних ДФ выступают естественные и искусственные помехи: быстрые и медленные замирания сигналов, многолучевое распространение радиоволн, воздействие средств радиоэлектронного подавления на каналы связи, воздействие оружия на узлы связи и т.д.

Известно большое количество работ посвященных вопросам исследования структурной устойчивости сетевых топологических структур и сетей связи. Среди работ в области структурной устойчивости сетевых топологий стоит выделить исследования: Глухова А.Д. [8], Батуриной Л.Н., Лепешинского Н.А. [9], Полесского В.П. [10], Птицына Г.А. [11, 12], Попкова В.К. [13, 14], Громова Ю.Ю. [15, 39], Драчева В.О., Набатова К.А., Иванова О.Г. [15], Грызунова В.В. [16], Егунова М.М. Шувалова В.П. [17], Додонова А.Г., Ландэ Д.В. [18], Долгова А.А., Хорохорина М.А. [39], Минина Ю.В. [39, 40], Елисеева А.И. [40]. В данных работах приводятся показатели структурной связности графов в условиях потери реберной или вершинной связности, а также методы повышения устойчивости топологических структур. К исследованиям в области повышения структурной устойчивости и живучести сетей связи стоит отнести работы: Стельченка В.Ф., Шостак А.В. [19], Зеленцова В.А. Гагина А.А. [20], Новикова С.Н., Бутова А.А., Киселева А.А., Сафонова Е.В., Солонской О.И. [21], Кораблина М.А. Хамитовой Л.А. [22], Рудь Д.Е. [23], Милованова Д.С., Тухтамирзаева А.Ю., Шамина П.Ю. [24], Батаева Р.А., Голубева А.С. [25], Дмитриева В.Н., Сорокина А.А., Пищина О.Н. [26], Нижарадзе Т. З. [27, 28]. В этих работах рассмотрены вопросы повышения надежности сетей связи за счет резервных соединений, повышения функциональности протоколов маршрутизации в направлении увеличения их быстродействия, более оперативной реакции протоколов маршрутизации на отказы сети. Однако решения в вышеприведенных работах не выходят за рамки топологических параметров сетей. В них не рассмотрены вероятностно-временные показатели процессов реконфигурации сетей в условиях отказов элементов, а также отсутствуют модели позволяющие связать процессы функционирования сетевых соединений с их топологической структурой.

Данная работа направлена на устранения недостатка в имеющемся научно-методическом аппарате оценки устойчивости сетей связи. Основной упор сделан на учет в составе показателя устойчивости сетевого соединения вероятностно-временных показателей его реконфигурации при отказе его элементов. Данная работа является логичным продолжением ранее опубликованных работ авторов в области исследования устойчивости систем связи в условиях воздействия дестабилизирующих факторов [7, 29, 30]. В основу используемой в статье модели положено развитие абстрактной модели объекта связи ранее опубликованной в работе [29], с учетом подходов к моделированию представленных в работе [5].

### Постановка задачи

Введем следующие обозначения для формализации процесса функционирования соединения (при допущении о пуассоновском характере процесса отказов/восстановления отдельных элементов соединения):

$S_0, S_1, S_2, S_3$  – состояния, в которых находится соединение в процессе своего функционирования;

$\lambda_{отк\ v}$  – интенсивность отказов  $v$ -го элемента в соединении;

$\mu_{вос\ v}$  – интенсивность восстановления  $v$ -го элемента в соединении;

$T_{отк\ v} = 1/\lambda_{отк\ v}$  – средняя наработка на отказ  $v$ -го элемента в соединении;

$T_{вос\ v} = 1/\mu_{вос\ v}$  – среднее время восстановления  $v$ -го элемента соединения;

$K_{Г\ v} = T_{отк\ v} / (T_{отк\ v} + T_{вос\ v})$  – коэффициент готовности  $v$ -го элемента в соединении;

$z_j$  – количество элементов в  $j$ -ом пути соединения;

$j = 1 \dots J$  – номер пути в соединении;

$J$  – общее количество путей в соединении;

$d$  – количество доменов в соединении;

$K_{Г\ стр}$  – коэффициент готовности структуры соединения, с учетом коэффициентов готовности ее отдельных элементов  $K_{Г\ v}$ ;

$T_{диагн}$  – период диагностики состояния работоспособности элементов соединения;

$T_{ож}$  – временной интервал ожидания восстановления связи в соединении при отказе любого из элементов;

$T_{рек}$  – время реконфигурации соединения в интересах восстановления связи.

$K_{Г\ функ}$  – коэффициент готовности соединения, с учетом процесса его реконфигурации при отказе элементов;

$K_{Г\ соед}$  – итоговый коэффициент готовности соединения, с учетом структуры его построения и процесса реконфигурации при отказах элементов.

Задачей работы является нахождение такого значения периода  $T_{диагн}$  для отправки пакетов Hello с целью диагностики состояния работоспособности соединения, которое бы обеспечило заданный уровень коэффициента готовности соединения  $K_{Г\ соед}$ , с учетом параметров процесса его реконфигурации ( $T_{ож}$ ;  $T_{рек}$ ;  $T_{диагн}$ ), при заданных показателях ( $\lambda_{отк\ v}$ ;  $\mu_{вос\ v}$ ;  $K_{Г\ v}$ ) процесса отказов/восстановлений элементов соединений.

В формальном виде задачу можно представить в следующем виде. Требуется найти множество допустимых значений показателей процесса функционирования соединения  $D\{T_{диагн}; T_{ож}; T_{рек}\}$  которое бы обеспечивало заданное значение коэффициента готовности соединения  $K_{Г\ соед}$ , в условиях заданных значений параметров процесса отказов/восстановлений составных элементов соединения  $\{\lambda_{отк\ v}; \mu_{вос\ v}; K_{Г\ v}\}$ :

$$D(T_{диагн}; T_{ож}) = \arg K_{Г\ соед}(\lambda_{отк\ v}; \mu_{вос\ v}; T_{ож}; T_{рек}; T_{диагн}) \left\{ \begin{array}{l} K_{Г\ соед} \geq K_{Г\ соед}^{зад} \\ \lambda_{отк\ v} = \text{var} \\ \mu_{вос\ v} = \text{var} \\ T_{рек} = \text{const} \end{array} \right.$$

Процесс решения данной задачи может быть декомпозирован на частные подзадачи:

- 1) оценка суммарного коэффициент готовности для структуры соединения  $K_{Г\text{стр}}$ , с учетом коэффициентов готовности ее отдельных элементов  $K_{Гv}$ ;
- 2) формализация процесса функционирования соединения с учетом его реконфигурации при отказе ее отдельных элементов в виде модели;
- 3) вывод аналитической зависимости для коэффициента готовности соединения  $K_{Г\text{функ}}$ , с учетом значений периода диагностики состояния работоспособности соединения  $T_{\text{диагн}}$ ;
- 4) формирование области допустимых значений диагностики состояния работоспособности соединения  $T_{\text{диагн}}$ , а также времени ожидания восстановления связи  $T_{\text{ож}}$ , обеспечивающих заданное значение коэффициента готовности соединения  $K_{Г\text{соед}}$ , с учетом процесса его реконфигурации.

### Оценка коэффициента готовности с учетом структуры соединения

Рассмотрим структуру соединения на информационном направлении связи (ИНС).

Как показал анализ протоколов маршрутизации с установлением соединения [32, 33, 34] в настоящее время среди них преобладают однопутевые соединения (в частности к ним относится протокол PNNI) которые строятся на основе алгоритмов поиска кратчайших путей, преимущественно алгоритмов Дейкстры или Беллмана-Форда [34]. В этом случае соединение может быть представлено последовательным соединением элементов (рис. 1).

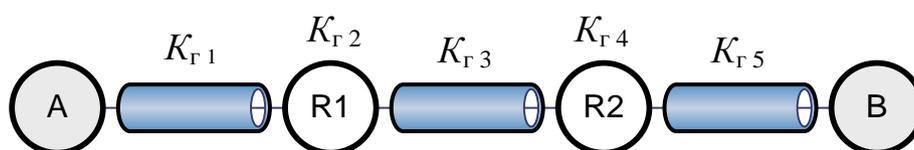


Рис. 1. Соединение с последовательным соединением элементов

Под элементом соединения понимается канал или узел связи, имеющий собственные значения устойчивости к воздействию внешних ДФ, определяемых показателем коэффициента готовности в соответствии с методикой [7].

В случае последовательного соединения элементов, применяя известные выражения из теории надежности, получим суммарный коэффициент готовности для структуры соединения  $K_{Г\text{стр}}$ , с учетом коэффициентов готовности ее отдельных элементов  $K_{Гv} = T_{\text{отк } v} / (T_{\text{отк } v} + T_{\text{вост } v}) = \mu_{\text{вост } v} / (\mu_{\text{вост } v} + \lambda_{\text{отк } v})$  [35]:

$$K_{Г\text{стр}} = \prod_{v=1}^{z_1} K_{Гv}, \quad (1)$$

Вместе с однопутевыми соединениями в практике связи применяются многопутевые соединения, основанные на алгоритмах поиска нескольких путей

к узлу назначения, например алгоритм Йена [28, 41], или алгоритм, предложенный в работе [36]. В случае независимости элементов путей (отсутствие пересечений) такое соединение имеет вид представленный на рис. 2.

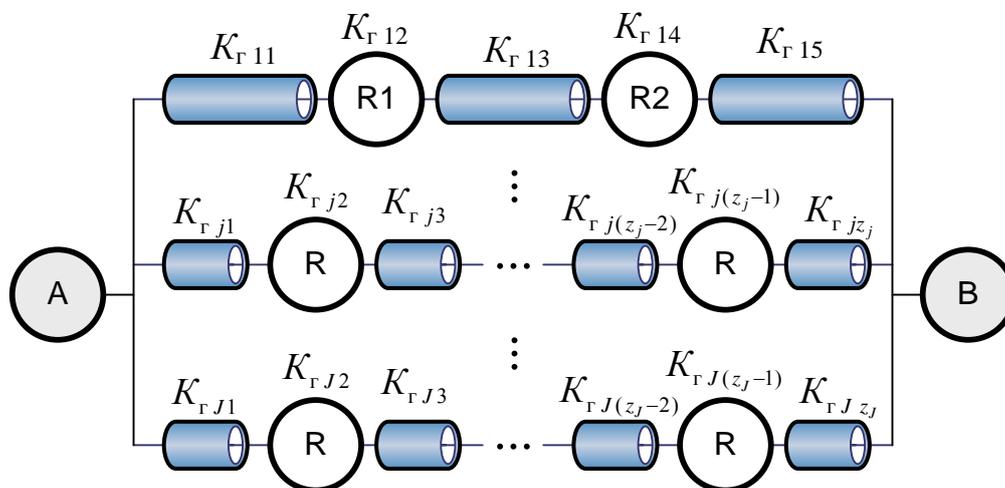


Рис. 2. Соединение с параллельно-последовательным соединением элементов

В случае независимости элементов путей в соединениях и отсутствии пересечений, применяя известные выражения из теории надежности, получим суммарный коэффициент готовности для такой структуры соединения  $K_{Г\text{стр}}$  [35]:

$$K_{Г\text{стр}} = 1 - \prod_{j=1}^J \left( 1 - \prod_{v=1}^{z_j} K_{Гv} \right), \quad (2)$$

В случае смешанной структуры путей, в том числе при наличии их пересечений, получим структуру, представленную на рис. 3. Для такой структуры путей в составе соединения применяется его разбиение на отдельные последовательно объединенные области с последующим вычислением коэффициента готовности сначала внутри такой области, затем в целом за соединение.

На практике вид, представленный на рис. 3, имеют соединения, устанавливаемые протоколами PNNI в сетях MPLS (ATM, ASON, IP-MPLS), разбитых на множество доменов маршрутизации. При этом каждая область соответствует отдельному домену, а маршрутизаторы, в которых пересекаются пути – граничным маршрутизаторам. Дополнительные пути в каждом домене для схем соединений на рис. 2 и 3 соответствуют принципу резервирования соединений 1+1 или 1:1 [37].

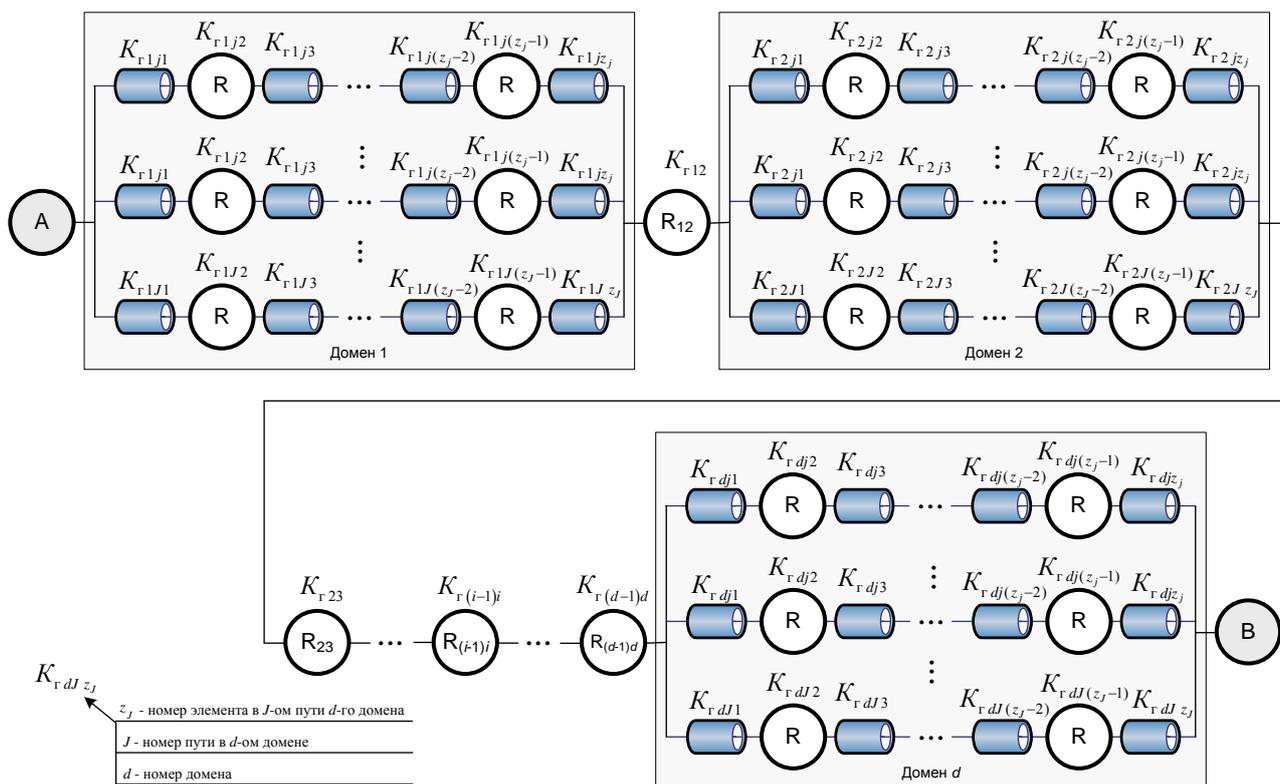


Рис. 3. Соединение со смешанной структурой

На основе известных выражений из теории надежности с учетом выражений (1) и (2), получим суммарный коэффициент готовности для такой структуры соединения  $K_{Г\text{стр}}$ :

$$K_{Г\text{стр}} = \prod_{i=1}^d \left( 1 - \prod_{j=1}^{J_i} \left( 1 - \prod_{v=1}^{z_j} K_{Гv} \right) \right) \cdot \prod_{i=1}^{d-1} K_{Гi(i+1)}, \quad (3)$$

где первая часть произведения определяет коэффициенты готовности доменов, а вторая – коэффициенты готовности граничных маршрутизаторов.

Выражения (1-3) определяют коэффициенты готовности соединения, обусловленные его структурным построением. Однако существенную роль в определении коэффициента готовности соединения играют временные параметры его функционирования и его реакции на отказ, которые не учитываются в выражениях (1-3). Выражения для структурного построения соединения определяют долю времени работоспособного состояния соединения, при отказе ее отдельных элементов с учетом времени на восстановление элементов. Однако необходимо также учесть время реакции протокола сигнализации на диагностику отказа и восстановление связи (или реконфигурацию). Такой учет предлагается провести через введение в итоговый показатель готовности соединения дополнительного множителя определяющего временные параметры реакции протокола сигнализации, на отказ элемента соединения:

$$K_{Г\text{соед}} = K_{Г\text{стр}} \cdot K_{Г\text{функ}} \cdot \quad (4)$$

### Формализация процесса функционирования соединения с учетом его реконфигурации при отказе отдельных элементов

Определим коэффициент готовности соединения  $K_{Г\text{ функ}}$ , с учетом параметров его функционирования. За основу формализации процесса функционирования соединения примем модель представленную в работе [29].

В этом случае отказ любого элемента (канала связи или узла маршрутизации/коммутации) соединения проходит через следующую последовательность смены состояний: работоспособен – отказ элемента – ожидание восстановления связи – изменение (реконфигурация/коррекция) собственных параметров в интересах восстановления работоспособности – работоспособен.

Введем допущения:

- поток отказов элементов обладает свойством ординарности;
- за цикл функционирования соединения, обусловленный отказом его элемента, отказы других элементов не происходят;
- отказом соединения считается отказ элемента с минимальным коэффициентом готовности  $\min\{K_{Г\text{ в}}\}$ ;
- моменты отказов/восстановлений элементов соответствуют простейшему потоку событий и имеют экспоненциальное распределение длительностей  $T_{\text{отк в}}$  и  $T_{\text{вост в}}$ ;
- время отказа элемента  $T_{\text{отк}}$  и время восстановления элемента  $T_{\text{вост}}$  соответствуют временным параметрам надежности элемента с минимальным коэффициентом готовности  $\min\{K_{Г\text{ в}}\}$ .

В отдельных случаях, как например, в случаях рассматриваемых в работе [31], при рассмотрении процесса функционирования соединений с протоколами маршрутизации, адаптивными к изменению метрики каналов связи, отказом может считаться изменение метрики канала достаточное для запуска процесса реконфигурации соединения. В этом случае, целесообразно использовать временные параметры  $T_{\text{отк}}$  и  $T_{\text{вост}}$  соответствующие временным параметрам надежности элемента с максимальной интенсивностью изменения метрики  $\max\{\lambda_{М\text{ в}}\}$  [31].

Данные допущения позволяют получить результаты соответствующие наихудшим (по временным параметрам) показателям надежности элементов, и получить граничные оценки коэффициента готовности соединения  $K_{Г\text{ функ}}$  в процессе его функционирования.

Формализуем, рассматриваемый процесс функционирования соединения в виде марковского процесса смены состояний (рис. 4).

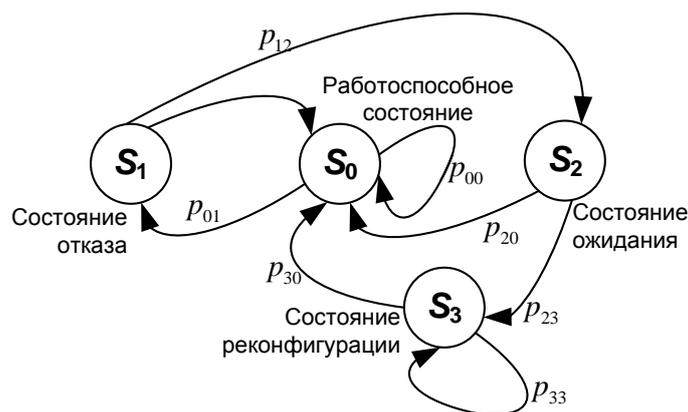


Рис. 4. Формализованный марковский процесс функционирования соединения в условиях отказов его элементов

В представленной модели процесс функционирования соединения представлен в виде последовательности перехода между различными состояниями:

- $S_0$  – «работоспособное состояние» соединения;
- $S_1$  – «состояние отказа», когда в соединении отказ элемента еще не определен и соединение продолжает использовать свой элемент как работоспособный;
- $S_2$  – «состояние ожидания», когда соединение диагностировало отказ элемента, но ожидает восстановления связи (в связи с восстановлением элемента);
- $S_3$  – «состояние реконфигурации», когда соединение диагностировало, что восстановление отказавшего элемента не произошло, и запущен процесс изменения собственных параметров в интересах восстановления работоспособности.

В начальный момент времени соединение находится в «работоспособном состоянии». В случае отказа элемента оно переходит в состояние «состояние отказа»  $S_0 \rightarrow S_1$ . Если за период диагностики  $T_{\text{диагн}}$  элемент успел отказать и восстановиться ( $T_{\text{диагн}} > T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}$ ), то система возвращается в «работоспособное состояние»  $S_1 \rightarrow S_0$ . Если за время  $T_{\text{диагн}}$  элемент не успел восстановиться ( $T_{\text{диагн}} < T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}$ ), то соединение диагностирует отказ элемента и переходит  $S_1 \rightarrow S_2$  в «состояние ожидания». Если за время ожидания элемент восстановится ( $T_{\text{диагн}} + T_{\text{ож}} > T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}$ ), то соединение переходит  $S_2 \rightarrow S_0$  в «работоспособное состояние», в противном случае ( $T_{\text{диагн}} + T_{\text{ож}} < T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}$ ) оно переходит  $S_2 \rightarrow S_3$  в «состояние реконфигурации», после чего восстанавливает свое «работоспособное состояние»  $S_3 \rightarrow S_0$ .

Параметры переходов  $S_i \rightarrow S_j$  определяются вероятностями  $p_{ij}$  зависящих от вероятности отказа  $P_{\text{отк}}(t)$  и вероятности восстановления  $P_{\text{вост}}(t)$  отдельных элементов за время  $t$ , а также от временных параметров соединения: времени диагностики отказа элемента  $T_{\text{диагн}}$ , времени ожидания восстановления связи  $T_{\text{ож}}$ , времени изменения (реконфигурация/коррекция) собственных параметров в интересах восстановления работоспособности  $T_{\text{рек}}$ .

Для перехода от временных параметров  $T_{отк}=1/\lambda_{отк}$ ,  $T_{вост}=1/\mu_{вост}$  к безразмерному показателю – коэффициенту готовности  $K_{г}=T_{отк}/(T_{отк}+T_{вост})$ , через заранее определенное значение  $T_{отк}$  используем систему:

$$\begin{cases} T_{отк} = const \\ K_{г} = const \\ T_{вост} = \frac{T_{отк}}{K_{г}} - T_{отк} \end{cases} . \quad (5)$$

Фактически значение  $K_{г}$  в выражении (5) соответствует коэффициенту готовности элемента с минимальным коэффициентом готовности  $\min\{K_{г.v}\}$ . С учетом допущения (5) введем следующие функции для переходных вероятностей  $p_{ij}$  в зависимости от параметров отказа/восстановления соединения  $T_{отк}$ ,  $T_{вост}$  ( $K_{г}$ ).

Вероятность  $p_{00}$  того, что интервал диагностики  $T_{диагн}$  меньше времени наработки до отказа  $T_{отк}$ , то есть элемент соединения за время диагностики не отказал и продолжает работать (рис. 5):

$$p_{00} = P(T_{диагн} < T_{отк}) = e^{-\frac{1}{T_{отк}}T_{диагн}} . \quad (6)$$

Вероятность  $p_{01}$  того, что интервал диагностики  $T_{диагн}$  больше времени наработки до отказа  $T_{отк}$ , то есть элемент за время диагностики  $T_{диагн}$  отказал и во время проведения диагностики соединение определило этот отказ - система перешла в «состояние отказа»:

$$p_{01} = P(T_{диагн} \geq T_{отк}) = 1 - e^{-\frac{1}{T_{отк}}T_{диагн}} . \quad (7)$$

Вероятность  $p_{10}$  того, что за интервал диагностики  $T_{диагн}$  элемент успел и отказать, и восстановиться, в результате система вновь перешла в «работоспособное состояние»:

$$p_{10} = P(T_{диагн} > T_{отк} + T_{вост}) = 1 - e^{-\frac{1}{T_{отк}+T_{вост}}T_{диагн}} . \quad (8)$$

Вероятность  $p_{12}$  того, что за интервал диагностики  $T_{диагн}$  элемент успел отказать, но не успел восстановиться и система перешла в «состояние ожидания» восстановления связи:

$$p_{12} = P(T_{диагн} \leq T_{отк} + T_{вост}) = e^{-\frac{1}{T_{отк}+T_{вост}}T_{диагн}} . \quad (9)$$

Вероятность  $p_{20}$  того, что за время интервала диагностики  $T_{диагн}$  и время ожидания  $T_{ож}$  элемент успел и отказать, и успел восстановиться, в результате система вернулась в «работоспособное состояние»:

$$p_{20} = P(T_{диагн} + T_{ож} > T_{отк} + T_{вост}) = 1 - e^{-\frac{1}{T_{отк}+T_{вост}}(T_{диагн}+T_{ож})} . \quad (10)$$

Вероятность  $p_{23}$  того, что за время интервала диагностики  $T_{диагн}$  и время ожидания  $T_{ож}$  элемент успел отказать, но не успел восстановиться и система перешла в «состояние реконфигурации»:

$$p_{23} = P(T_{диагн} + T_{ож} \leq T_{отк} + T_{вост}) = e^{-\frac{1}{T_{отк}+T_{вост}}(T_{диагн}+T_{ож})} . \quad (11)$$

Время реконфигурации принято распределенным по экспоненциальному закону с математическим ожиданием  $T_{рек}$ . В этом случае вероятность  $p_{33}$  того, что за время  $T_{рек}$  соединение успело изменить свои параметры и система перешла в «работоспособное состояние»:

$$p_{30} = P(t > T_{рек}) = e^{-1}, \quad (12)$$

а вероятность того, что за то же время  $T_{рек}$  продолжается реконфигурация:

$$p_{33} = P(t < T_{рек}) = 1 - e^{-1}. \quad (13)$$

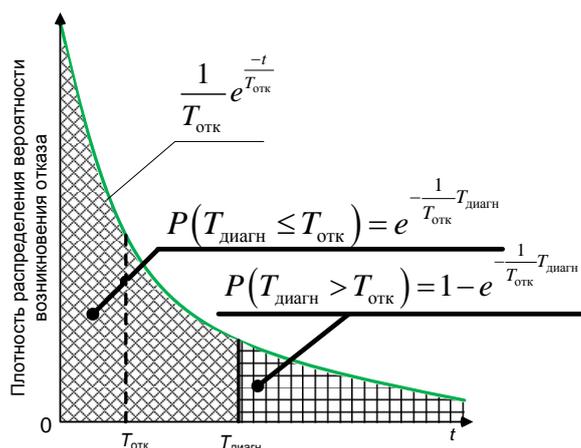


Рис. 5. Пояснение к определению переходных вероятностей на основе экспоненциального распределения  $T_{отк}$  и  $T_{вост}$

Формализация функционирования соединения в виде марковского процесса с данными переходными вероятностями  $p_{ij}$  позволяет составить уравнения для состояний системы, при допущении о стационарности процесса ее функционирования:

$$\begin{cases} P(S_1)p_{10} + P(S_2)p_{20} + P(S_3)p_{30} - P(S_0)p_{01} - P(S_0)p_{00} + P(S_0)p_{00} = 0 \\ P(S_0)p_{01} - P(S_1)p_{12} - P(S_1)p_{10} = 0 \\ P(S_1)p_{12} - P(S_2)p_{20} - P(S_2)p_{23} = 0 \\ P(S_2)p_{23} - P(S_3)p_{30} - P(S_3)p_{33} + P(S_3)p_{33} = 0 \\ P(S_0) + P(S_1) + P(S_2) + P(S_3) = 1 \end{cases} .$$

Решение данной системы уравнений позволит получить вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях, в зависимости от переходных вероятностей:

$$\left\{ \begin{array}{l} P(S_0) = \frac{P_{30}}{P_{01}P_{30} + P_{01}P_{12}P_{30} + P_{30} + P_{01}P_{12}P_{23}} \\ P(S_1) = \frac{P_{01}P_{30}}{P_{01}P_{30} + P_{01}P_{12}P_{30} + P_{30} + P_{01}P_{12}P_{23}} \\ P(S_2) = \frac{P_{01}P_{12}P_{30}}{P_{01}P_{30} + P_{01}P_{12}P_{30} + P_{30} + P_{01}P_{12}P_{23}} \\ P(S_3) = \frac{P_{01}P_{12}P_{23}}{P_{01}P_{30} + P_{01}P_{12}P_{30} + P_{30} + P_{01}P_{12}P_{23}} \\ P(S_0) + P(S_1) + P(S_2) + P(S_3) = 1 \end{array} \right. \quad (14)$$

Проведем исследование изменения переходных вероятностей  $p_{ij}$  в системе формализующей соединение в следующих типовых ситуациях.

1. Период диагностики отказа в соединении  $T_{\text{диагн}}$  намного меньше наработки на отказ  $T_{\text{отк}}$  и времени восстановления  $T_{\text{вост}}$  элемента, например  $T_{\text{диагн}}=0,01$ ;  $T_{\text{отк}}=1$ ;  $T_{\text{вост}}=0,25$  ( $K_{\Gamma}=0,8$ ). В этом случае вероятность того, что за время  $T_{\text{диагн}}$  элемент откажет, очень низка, что обуславливает значение  $p_{00} \rightarrow 1$  и соответственно значение  $P(S_0) \rightarrow 1$ . Однако если же отказ элемента наступает, то происходит своевременная его диагностика и система из работоспособного состояния  $S_0$  переходит в состояние отказа  $S_1$  из которого без потерь времени на ожидание восстановления связи переходит в состояние реконфигурации системы  $S_3$  с последующим возвращением в работоспособное состояние  $S_0$  (рис. 6а).

2. Период диагностики отказа в соединении  $T_{\text{диагн}}$  сопоставим с наработкой на отказ элемента  $T_{\text{отк}}$ , его временем восстановления  $T_{\text{вост}}$ , а также с временем ожидания восстановления связи  $T_{\text{ож}}$   $T_{\text{диагн}} \approx (1/\lambda_{\text{отк}}) + (1/\mu_{\text{вост}}) \approx T_{\text{ож}}$ . Например (рис. 6б):  $T_{\text{диагн}}=0,8$ ;  $T_{\text{ож}}=1,25$ ;  $T_{\text{отк}}=1$ ;  $T_{\text{вост}}=0,25$  ( $K_{\Gamma}=0,8$ ). В этом случае при отказе элемента соединения происходит своевременная его диагностика, и система из работоспособного состояния  $S_0$  переходит в состояние отказа  $S_1$ . Из состояния отказа  $S_1$  после ожидания восстановления связи в течении  $T_{\text{ож}}$  система переходит в состояние реконфигурации  $S_3$  с последующим возвращением в работоспособное состояние  $S_0$  (в случае если система не успела восстановиться за время ожидания  $T_{\text{ож}}$ ). В случае если на время ожидания  $T_{\text{ож}}$  элемент соединения успел восстановиться, система сразу же переходит в состояние  $S_0$ .

3. Период диагностики отказа в соединении  $T_{\text{диагн}}$  намного больше наработки на отказ  $T_{\text{отк}}$  и времени восстановления элемента  $T_{\text{вост}}$ . Например:  $T_{\text{диагн}}=5$ ,  $T_{\text{ож}}=5$ ,  $T_{\text{отк}}=1$ ,  $T_{\text{вост}}=0,25$  ( $K_{\Gamma}=0,8$ ). В этом случае при отказе элемента не происходит своевременная его диагностика и система из работоспособного состояния  $S_0$  переходит в состояние отказа  $S_1$  из которого не может перейти в состояние реконфигурации  $S_3$  (через состояние  $S_2$ ), а, следовательно, и в работоспособное состояние  $S_0$ , ожидая пока истечет очередной период

диагностики. При этом существенно повышается вероятность  $p_{10}$ , что система за время  $T_{\text{диагн}}$  успеет самостоятельно восстановиться. Фактически такое состояние соответствует «необнаруженному отказу», так как при наступлении отказа элемента до истечения периода очередного периода диагностики  $T_{\text{диагн}}$  система находится как бы в работоспособном состоянии и продолжает использовать отказавший элемент (рис. 6в).

Переходные вероятности  $p_{ij}$  и конечные вероятности  $P(S_i)$  нахождения в состояниях  $S_i$  для вышерассмотренных типовых ситуаций и при указанных ограничениях приведены на рис. 6.

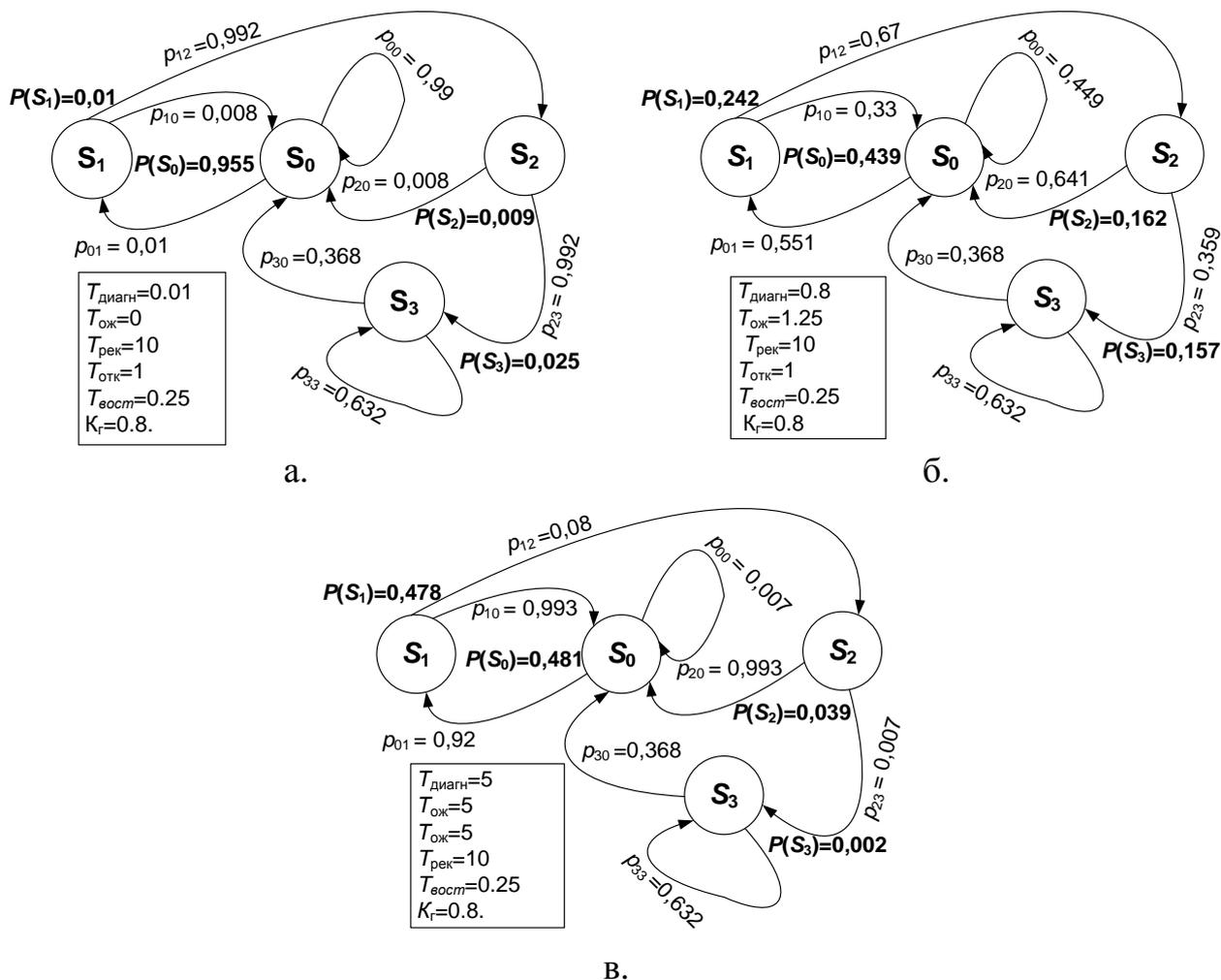


Рис. 6. Переходные вероятности  $p_{ij}$  и конечные вероятности  $P(S_i)$  нахождения в состояниях  $S_i$  для вышерассмотренных типовых ситуаций

Исследуем поведение конечных вероятностей состояний системы  $P(S_i)$ , определяемых в соответствии с выражениями (6-14). Результаты исследования зависимости  $P(S_i)$  от значений  $T_{\text{диагн}}$  и  $T_{\text{ож}}$ , нормированных к наработке элемента на отказ  $T_{\text{отк}}=1/\lambda_{\text{отк}}$ , при различных значениях  $K_r$  с учетом следующих ограничений:  $T_{\text{отк}}=1$ ;  $T_{\text{диагн}}=1T_{\text{отк}}\dots 3T_{\text{отк}}$ ;  $T_{\text{ож}}=1T_{\text{диагн}}\dots 5T_{\text{диагн}}$ ;  $T_{\text{рек}}=10T_{\text{отк}}$ ;  $K_r=0,5, 0,8, 0,99$  приведены на рис. 7.

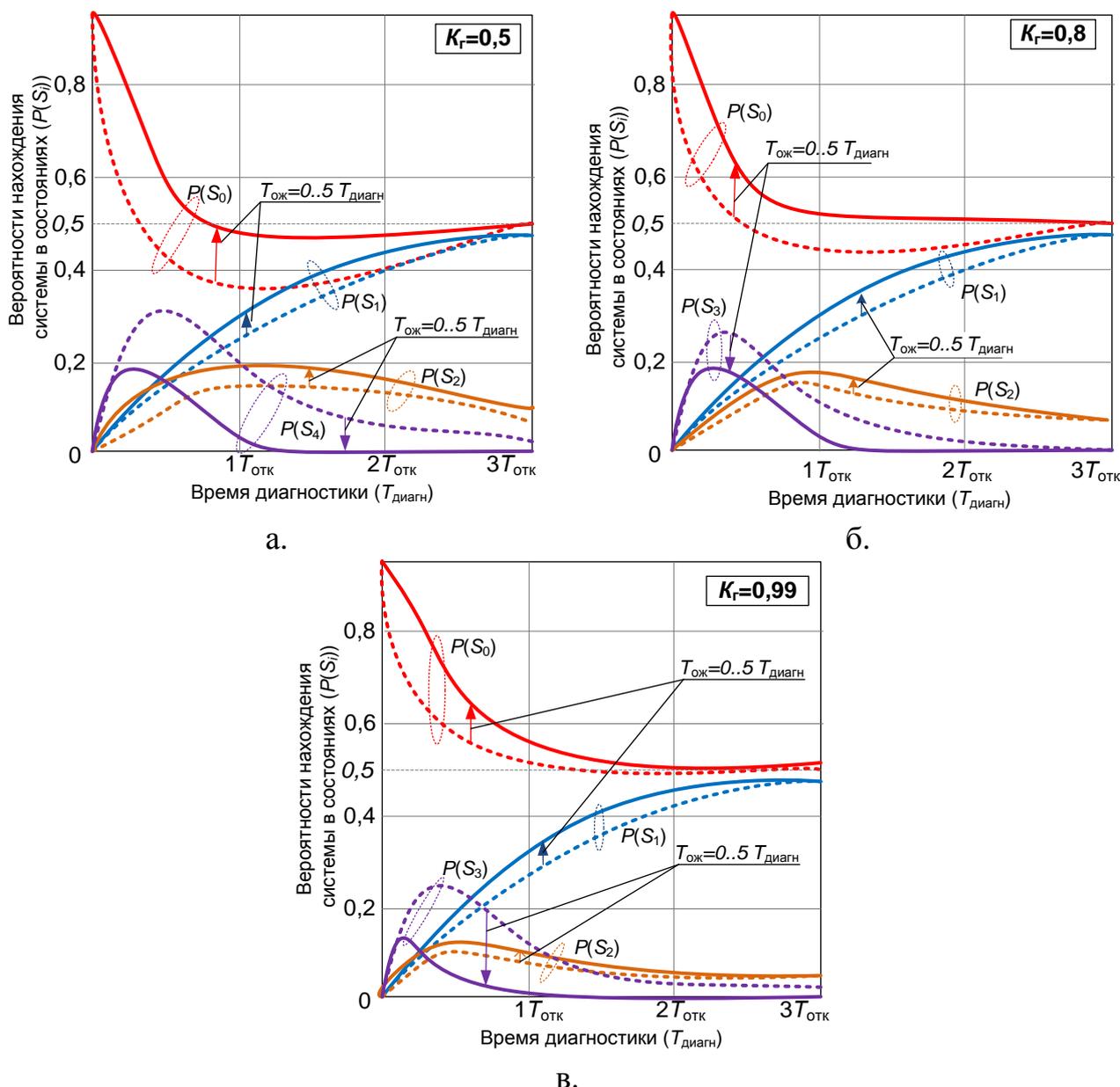


Рис. 7. Зависимости конечных вероятностей состояний системы  $P(S_i)$  от  $T_{\text{диагн}}$ ,  $T_{\text{ож}}$ ,  $K_r$

Анализ графических зависимостей, приведенных на рис. 7, позволяет сделать следующие выводы.

1. Отношение  $T_{\text{ож}}/T_{\text{диагн}}$  влияет на быстроту схождения  $P(S_i)$  к предельному значению. При  $T_{\text{ож}} = 0T_{\text{диагн}}$ , значения  $P(S_0)$ ,  $P(S_1)$ ,  $P(S_2)$  достигают своего минимального значения, а  $P(S_3)$  – максимального. Увеличение значения  $T_{\text{ож}}$  соответствует снижению «уровня чувствительности» системы к отказам (что выражается в повышенном значении  $P(S_0)$ ), однако при  $T_{\text{диагн}} \geq 2T_{\text{отк}}$  данный «уровень чувствительности» становится инвариантным к изменению  $T_{\text{ож}}/T_{\text{диагн}}$ .

2. При увеличении значений  $T_{\text{диагн}}$  вероятность работоспособного состояния  $P(S_0)$  снижается и стремится к своему предельному значению  $P(S_0) \rightarrow 0,5$ . При этом значения  $K_r$  определяют наличие и значение минимума функции  $P(S_0)$ .

3. При увеличении значений  $T_{\text{диагн}}$  вероятность нахождения в состоянии отказа  $P(S_1)$  повышается и стремится к предельному значению  $P(S_1) \rightarrow 0,5$ . При этом изменение значения  $K_r$  практически не оказывают влияния на вероятность нахождения системы в состоянии отказа  $P(S_1)$ .

4. График вероятности нахождения в состоянии ожидания восстановления связи  $P(S_2)$  является выпуклым и стремится к своему предельному значению  $P(S_2) \rightarrow 0$  при увеличении  $T_{\text{диагн}}$ , при этом в зависимости от значения  $K_r$  меняется расположение и значение максимума функции  $P(S_2)$ .

5. График вероятности нахождения системы в состоянии реконфигурации ( $P(S_3)$ ) также является выпуклым и стремится к предельному значению  $P(S_3) \rightarrow 0$  при увеличении  $T_{\text{диагн}}$ . Аналогично  $P(S_2)$ , в зависимости от значения  $K_r$  меняется максимально достигаемое значение  $P(S_3)$ .

6. Уже при значениях  $T_{\text{диагн}} = 0,3T_{\text{отк}}$  ( $T_{\text{ож}} = 5T_{\text{диагн}}$ ) значение вероятности нахождения в работоспособном состоянии  $P(S_0)$  принимает критическое значение  $P(S_0) = 0,8$ , а при меньшем значении  $T_{\text{ож}} < 5T_{\text{диагн}}$  происходит снижение значений вероятности до  $P(S_0) < 0,8$ , что является неприемлемым показателем для функционирования соединения.

Исследование поведения конечных вероятностей состояний системы  $P(S_i)$  при ограничениях на  $T_{\text{диагн}}$  и  $T_{\text{ож}}$  в зависимости от значений  $K_r$  и отношения  $T_{\text{диагн}}/T_{\text{отк}}$  с учетом следующих ограничений:  $T_{\text{отк}} = 1$ ;  $T_{\text{диагн}} = 0,01T_{\text{отк}}, 0,1T_{\text{отк}}, 0,3T_{\text{отк}}, 1T_{\text{отк}}$ ;  $T_{\text{ож}} = 0T_{\text{диагн}} \dots 5T_{\text{диагн}}$ ;  $T_{\text{рек}} = 10T_{\text{отк}}$ ;  $K_r = 0 \dots 1$  приведены на рис. 8.

Анализ графических зависимостей, приведенных на рис. 8, показывает, что при уменьшении  $T_{\text{диагн}}/T_{\text{отк}}$  снижается влияние значения коэффициента готовности элемента  $K_r$  на значение вероятности работоспособного состояния  $P(S_i)$ . А при  $T_{\text{диагн}} \leq 0,01T_{\text{отк}}$  вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии  $P(S_0)$  практически от  $K_r$  не зависит и составляет приемлемые значения  $P(S_0) \geq 0,9$ . Таким образом, повышение коэффициента готовности  $K_r$  путем сокращения времени восстановления элемента  $T_{\text{вос}}$  для повышения  $P(S_0)$  целесообразно лишь при значениях периода диагностики  $T_{\text{диагн}} \geq 0,08T_{\text{отк}}$ .

С ростом периода ожидания восстановления связи  $T_{\text{ож}}$ , растет вероятность работоспособного состояния  $P(S_0)$ , так как в этом случае возрастает переходная вероятность  $p_{20}$ , то есть увеличивается вероятность того, что система успеет перейти из состояния ожидания  $S_2$  в работоспособное состояние  $S_0$  минуя состояние реконфигурации  $S_3$ . В отдельных случаях повышение значения  $T_{\text{ож}}$  от 0 до  $5T_{\text{диагн}}$  позволяет повысить вероятность работоспособного состояния на 15-20%.

Основным параметром, определяющим наиболее сложные условия функционирования соединения, являются значения наработки на отказ элемента удовлетворяющие условию  $T_{\text{отк}} \leq 10T_{\text{диагн}}$ . При этом значения  $T_{\text{отк}}$ , не превышающие значения времени восстановления элемента соединения  $T_{\text{отк}} \leq T_{\text{вос}}$ , снижают коэффициент готовности элемента  $K_r$ . Условия функционирования, соответствующие значениям  $T_{\text{отк}} \leq 10T_{\text{диагн}}$ ,  $T_{\text{отк}} \leq T_{\text{вос}}$  еще более усугубляет деструктивное воздействие отказов элемента на соединение, и минимизирует значение вероятности нахождения системы в работоспособном состоянии  $P(S_0) \rightarrow \min$ .

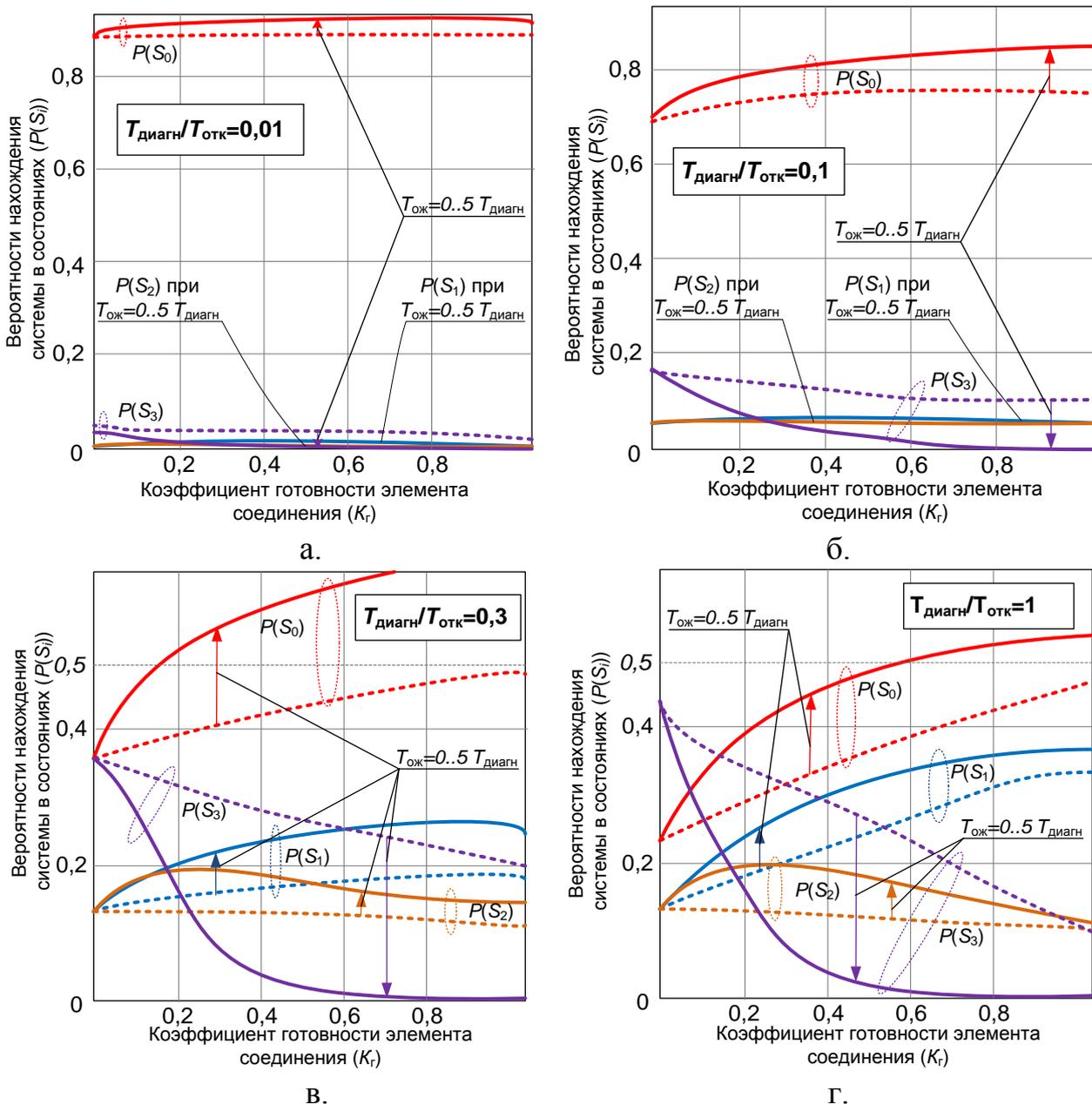


Рис. 8. Зависимость конечных вероятностей состояний от  $K_r$  при фиксированных значениях отношения  $T_{\text{диагн}}/T_{\text{отк}}$

Для решения задачи обоснования временных параметров функционирования соединения из (14), с учетом (6-13), сокращая и приводя подобные, получим выражение для обеспечения заданного уровня вероятности  $P_{\text{зад}}(S_0)$ , который по своему физическому смыслу является коэффициентом готовности соединения  $K_{r \text{ функ}}$ :

$$K_{r \text{ функ}} = P_{\text{зад}}(S_0) = \frac{1}{1 + e \left( 1 - e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} \right) \left( e^{-1} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{восст}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{восст}}}} + e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{восст}}}} \right)}. \quad (15)$$

Таким образом, общий коэффициент готовности соединения с учетом выражений (4) и (15) будет иметь вид:

$$K_{Г\text{соед}} = \frac{K_{Г\text{стр}}}{1 + e \left( 1 - e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} \right) \left( e^{-1} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} \right)}. \quad (16)$$

Уравнение (16) относительно  $T_{\text{диагн}}$  при заданном значении  $K_{Г\text{функ}}$  является трансцендентным и его аналитическое решение невозможно. Для нахождения значений  $T_{\text{диагн}}$ ,  $T_{\text{ож}}$ , обеспечивающих требуемый уровень  $K_{Г\text{соед}}$ , при заданных значениях: коэффициента готовности структуры соединения  $K_{Г\text{стр}}$ ; времени отказа  $T_{\text{отк}}$  и восстановления  $T_{\text{вост}}$  наименее готового элемента соединения; предлагается воспользоваться численным решением уравнения (16) за счет использования метода Ньютона (метода касательных) [38].

Для применения метода Ньютона представим выражение (16) в виде:

$$f(T_{\text{диагн}}) = \frac{K_{Г\text{стр}}}{1 + e \left( 1 - e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} \right) \left( e^{-1} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} \right)} - K_{Г\text{соед}}^{\text{зад}} = 0 \quad (17)$$

Найдем первую производную от функции  $f(T_{\text{диагн}})$ :

$$f'(T_{\text{диагн}}) = -K_{Г\text{стр}} \left[ \frac{\left( e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} \right) \left( e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) + T_{\text{отк}} \cdot e^{-\left( e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right)} \right)}{\left( (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) T_{\text{вост}} \left( e^{-\left( e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right)} \right) \left( e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-1} \right) - 1 \right)^2} + \frac{e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) + T_{\text{отк}} \cdot e^{-\frac{2T_{\text{диагн}} + T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} \left( e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right)}{\left( (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) T_{\text{вост}} \left( e^{-\left( e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right)} \right) \left( e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-1} \right) - 1 \right)^2} \right]. \quad (18)$$

Найдем вторую производную функции  $f(T_{\text{диагн}})$ :

$$f''(T_{\text{диагн}}) = K_{Г\text{стр}} \left[ \frac{e^{-\frac{T_{\text{ож}} T_{\text{отк}} - T_{\text{отк}}^2 + 3T_{\text{диагн}} T_{\text{отк}} + T_{\text{диагн}} T_{\text{вост}} - T_{\text{отк}} T_{\text{вост}}}{(T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) T_{\text{вост}}}}}{\left( (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) T_{\text{вост}} \left( e^{-\left( e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right)} \right) \left( e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-1} \right) - 1 \right)^2} + \frac{\left( 2e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} \right) \left( 2T_{\text{отк}} e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - e T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}} e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} \right)}{\left( (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) T_{\text{вост}}^2 \left( e^{-\left( e^{-\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right)} \right) \left( e^{-\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} + e^{-1} \right) - 1 \right)^2} \right]$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}}}{e^{\frac{T_{\text{отк}}}{T_{\text{отк}}}}} + \\
 & T_{\text{вост}}^2 \left( e \left( e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right) \left( e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{-1}} \right) - 1 \right)^2 + \\
 & e^{1 - \frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} (2T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) \left( e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} \right) \\
 & + \frac{(T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) T_{\text{вост}}^2 \left( e \left( e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right) \left( e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{-1}} \right) - 1 \right)^2 + \\
 & \left. 2e^{\frac{-T_{\text{ож}} + 2T_{\text{диагн}} + T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} \left( e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right) \right] + \\
 & (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}})^2 \left( e \left( e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right) \left( e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{-1}} \right) - 1 \right)^2 - \\
 & - 2K_{\text{гстр}} \left[ e^{1 - \frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} \left( e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{-1}} \right) (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) + \right. \\
 & \left. + e \left( 2e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{-1}} \right) \left( e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right) T_{\text{отк}} \right] \times \\
 & \times \left[ \frac{\left( e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} \right) \left( 2T_{\text{отк}} e^{1 - \frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - e T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}} e^{1 - \frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} \right)}{\left( (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}})^2 T_{\text{вост}}^2 \left( e \left( e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right) \left( e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{-1}} \right) - 1 \right)^3 + \right.} \right. \\
 & \left. \left. + \frac{e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}) + T_{\text{отк}} e^{\frac{-T_{\text{ож}} + 2T_{\text{диагн}} + T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}}} \left( e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right) \right)}{\left( (T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}})^2 T_{\text{вост}}^2 \left( e \left( e^{\frac{T_{\text{диагн}}}{T_{\text{отк}}}} - 1 \right) \left( e^{\frac{-2T_{\text{диагн}} - T_{\text{ож}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{\frac{-T_{\text{диагн}} - T_{\text{отк}} - T_{\text{вост}}}{T_{\text{отк}} + T_{\text{вост}}} + e^{-1}} \right) - 1 \right)^3 \right)} \right] \cdot (18)
 \end{aligned}$$

В соответствии с методом Ньютона [38] выбор начальной точки и направления приближения при построении касательных определяется путем определения произведения производных (18) и (19). В случае если произведение отрицательно:

$$f'(T_{\text{диагн}}) f''(T_{\text{диагн}}) < 0,$$

то приближение осуществляется слева, если положительно:

$$f'(T_{\text{диагн}}) f''(T_{\text{диагн}}) > 0,$$

– то справа.

Задается искомая точность поиска корня  $\varepsilon$ . Итерационная процедура поиска численного решения заключается в последовательном нахождении значений  $T_{\text{диагн } n+1}$ :

$$T_{\text{диагн } n+1} = T_{\text{диагн } n} - \frac{f(T_{\text{диагн } n})}{f'(T_{\text{диагн } n})}, \quad (19)$$

пока не будет выполнен критерий достижения заданной точности:

$$|T_{\text{диагн } n+1} - T_{\text{диагн } n}| \leq \varepsilon,$$

или

$$\left| \frac{f(T_{\text{диагн } n})}{f'(T_{\text{диагн } n})} \right| \leq \varepsilon.$$

В соответствии с физическим смыслом выражения  $T_{\text{диагн}}$  начальное приближение для поиска решения  $f(T_{\text{диагн}})=0$ , выбирается  $T_{\text{диагн } 0}=0$ . Программная реализация итерационной процедуры численного поиска решения для Mathcad представлена в приложении 1.

Значение  $T_{\text{диагн}}$  являющееся решением уравнения  $f(T_{\text{диагн}})=0$  задаваемого выражением (17) определяет необходимую периодичность отправки пакетов сигнализации для контроля соединения «из конца в конец» с учетом структуры соединения (которое учитывается через коэффициент  $K_{\text{Г стр}}$ ) и с учетом процесса его реконфигурации при отказах (учитывается через коэффициент  $K_{\text{Г функ}}$ ). При этом параметры реконфигурации соответствуют наиболее пессимистической оценки надежности элементов соединения. Адаптивное изменение значения  $T_{\text{диагн}}$  позволит обеспечить заданный коэффициент готовности  $K_{\text{Г соед}}$  соединения в целом, как при изменении структуры соединения, так и при изменении надежностных оценок его элементов  $K_{\text{Г}}$ .

### Выводы

Проведенная формализация процесса функционирования соединения показало, что устойчивость соединения к отказам ее отдельных элементов определяется его структурой и периодичностью диагностики связи «из конца в конец» между абонентами, ведущими информационный обмен.

Анализ результатов моделирования показал, что основным параметром, определяющим наиболее сложные условия функционирования соединения при его заданной структуре, являются значения наработки на отказ элемента соединения  $T_{\text{отк}} \leq 10T_{\text{диагн}}$ . При этом значения  $T_{\text{отк}}$ , не превышающие значения времени восстановления элемента соединения  $T_{\text{отк}} \leq T_{\text{вост}}$ , снижают коэффициент готовности элемента  $K_{\text{Г}}$ . Условия функционирования элемента соединения, соответствующие значениям  $T_{\text{отк}} \leq 10T_{\text{диагн}}$ ,  $T_{\text{отк}} \leq T_{\text{вост}}$  существенно усугубляют деструктивное воздействие отказов элемента на устойчивость соединения, и минимизирует значение вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии  $P(S_0) \rightarrow \min$ .

Для обеспечения заданного уровня устойчивости соединения при неизменности его структуры необходимо адаптивно изменять значение

периодичности диагностики связи «из конца в конец»  $T_{\text{диагн}}$ . Это позволит обеспечить заданный коэффициент готовности  $K_{\text{Гсоед}}$  соединения в целом, как при изменении структуры соединения, так и при изменении надежных оценок его элементов. Проведенное моделирование показало, что при обеспечении значений  $T_{\text{диагн}} \leq 0,01 T_{\text{отк}}$  вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии  $K_{\text{Гфунк}}$  практически не зависит от готовности  $K_{\text{Г}}$  элемента и составляет приемлемые значения  $K_{\text{Гфунк}} \geq 0,9$ . При значениях  $T_{\text{диагн}} \geq 0,08 T_{\text{отк}}$  также возможно дополнительно обеспечить повышение коэффициента готовности элемента  $K_{\text{Г}}$  путем сокращения времени восстановления элемента  $T_{\text{вост}}$  при его отказе.

Представленное решение, прежде всего, ориентированно на соединение ATM, однако оно же применимо и для других сетей (например, IP/MPLS или ASON/ASTN) основанных на протоколах маршрутизации с установлением соединения и коммутацией по меткам.

Исследования функционирования протоколов маршрутизации при воздействии на сеть дестабилизирующих факторов выполнены при государственной поддержке РФФИ инициативного научного проекта № 13-07-97518 и поддержке Департаментом приоритетных направлений науки и технологий Минобрнауки РФ – грантом Президента РФ № МК-755.2012.10.

## Приложение 1

### Программная реализация в Mathcad процедуры численного решения методом Ньютона (методом касательных) уравнения (17)

В связи с особенностями программирования в среде MathCad приняты следующие условные обозначения:

1.  $T_{\text{hello}}$  – время диагностики  $T_{\text{диагн}}$ .
2.  $T_{\text{ma}}(T_{\text{hello}})$  – временной интервал ожидания восстановления связи  $T_{\text{ож}}$ .
3.  $r$  – отношение  $T_{\text{ож}}/T_{\text{диагн}}$ .
4.  $t_o$  – среднее время работы между отказами  $T_{\text{отк}}$ .
5.  $t_v$  – среднее время восстановления  $T_{\text{вост}}$ .
6.  $p_{00}(T_{\text{hello}}) \dots p_{33}(T_{\text{hello}})$  – переходные вероятности согласно рис. 4.
7.  $s_{\text{зад}}$  – заданное значение коэффициента готовности.
8.  $K_{\text{СТР}}$  – коэффициент готовности структурный ( $K_{\text{ГСТР}}$ ).
9.  $s_0(T_{\text{hello}})$  – значение коэффициента готовности.

Исходные данные:

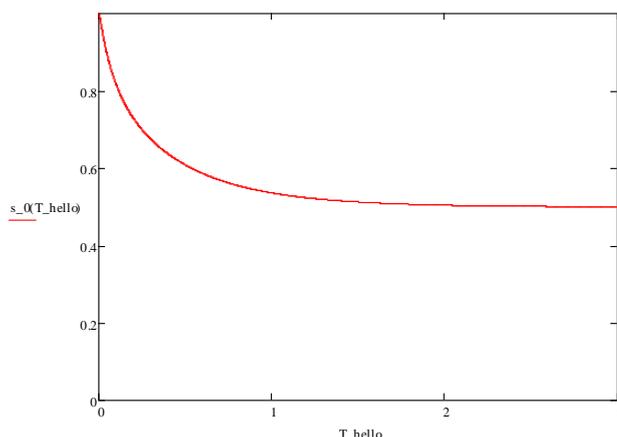
$T_{\text{hello}} := 0, 10^{-3} \dots 3$	$t_v := 0,25$
$t_o := 1$	$s_{\text{зад}} := 0,5$
$r := 5$	$T_{\text{ma}}(T_{\text{hello}}) := r \cdot T_{\text{hello}}$
$K_v := 0,9$	

Определение переходных вероятностей:

$$\begin{aligned}
 p_{00}(T_{hello}) &:= e^{-\frac{T_{hello}}{t_o}} & p_{20}(T_{hello}) &:= 1 - e^{-\frac{(T_{hello}+T_{ma}(T_{hello}))}{(t_o+t_v)}} \\
 p_{01}(T_{hello}) &:= 1 - e^{-\frac{T_{hello}}{t_o}} & p_{23}(T_{hello}) &:= e^{-\frac{(T_{hello}+T_{ma}(T_{hello}))}{(t_o+t_v)}} \\
 p_{10}(T_{hello}) &:= 1 - e^{-\frac{T_{hello}}{t_o+t_v}} & p_{33}(T_{kon}, m_b) &:= 1 - e^{-1} \\
 p_{12}(T_{hello}) &:= e^{-\frac{T_{hello}}{t_o+t_v}} & p_{30}(T_{kon}, m_b) &:= e^{-1}
 \end{aligned}$$

Выражение для коэффициента готовности:

$$s_0(T_{hello}) := \frac{p_{30}(T_{kon}, m_b)}{p_{01}(T_{hello})p_{30}(T_{kon}, m_b) + p_{30}(T_{kon}, m_b) + p_{01}(T_{hello})p_{12}(T_{hello})p_{23}(T_{hello}) + p_{01}(T_{hello})p_{30}(T_{kon}, m_b) - p_{12}(T_{hello})}$$



Функция для определения временных параметров методом Ньютона

$$s_{01}(T_{hello}) := K_{CTP}s_0(T_{hello}) - s_{zad}$$

Определение первой ( $p1(T_{hello})$ ) и второй ( $p2(T_{hello})$ ) производной от функции  $s_0(T_{hello})$  по  $T_{hello}$

$$p1(T_{hello}) := \frac{d}{dT_{hello}} s_{01}(T_{hello}) \qquad p2(T_{hello}) := \frac{d^2}{dT_{hello}^2} s_{01}(T_{hello})$$

Решение уравнения методом Ньютона:

Задание условий решения

$$A := 0$$

$$B := 10$$

$$\varepsilon := 1 \times 10^{-5}$$

- порог поиска слева
- порог поиска справа
- точность определения

### Решение

$\text{casat2}(s_{01}, A, B, \varepsilon) := \left\{ \begin{array}{l} T\_hello\_1 \leftarrow A \text{ if } p1(A) \cdot p2(A) < 0 \\ T\_hello\_1 \leftarrow B \text{ otherwise} \\ \text{while } \left  \frac{s_{01}(T\_hello\_1)}{p1(T\_hello\_1)} \right  \geq \varepsilon \\ \left\{ \begin{array}{l} T\_hello\_2 \leftarrow T\_hello\_1 - \frac{s_{01}(T\_hello\_1)}{p1(T\_hello\_1)} \\ T\_hello\_1 \leftarrow T\_hello\_2 \end{array} \right. \\ T\_hello\_1 \end{array} \right.$	<p>– определение направления поиска;</p> <p>– условие продолжения поиска;</p> <p>– построение касательных;</p>
$\text{casat2}(s_{01}, A, B, \varepsilon) \rightarrow 0.01947009907450450079124267173'$	<p>– вывод результата расчетов.</p>

### Литература

1. Кузенков А. Состояние и перспективы развития отечественных ретрансляторов // *Аэрокосмический курьер*. 2013. № 2. С. 42-45.
2. Назаров А. Н., Симонов М. В. *АТМ: технология высокоскоростных сетей*. М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997. 232 с.
3. Новиков С. Н. *Методы маршрутизации на цифровых широкополосных сетях связи: Учебное пособие. Ч. 1*. Новосибирск: СибГУТИ, 2008. 84 с.
4. Новиков С. Н. *Методы маршрутизации на цифровых широкополосных сетях связи: Учебное пособие. Ч. 2*. Новосибирск: СибГУТИ, 2008. 59 с.
5. Пороцкий С. М. Моделирование алгоритма маршрутизации транспортной АТМ-сети // *Электросвязь*. 2000. № 10. С. 16-19.
6. ГОСТ 5311–2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. М.: СтандартИнформ, 2008. 15 с.
7. Михайлов Р. Л., Макаренко С. И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих факторов // *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*. № 4. 2013. С. 69–79.
8. Глухов А. Д. О связной функции графа // *Исследование операций и АСУ*. 1990. № 36. С. 20-22.
9. Батурина Л. Н., Лепешинский Н. А. Алгоритмы оптимизации параметров, обеспечивающих заданный уровень живучести // *Вести АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. Том 12*. С. 26-29.
10. Полесский В. П. Структурная надежность однородных вероятностных сетей // *Управление сетями и синтез управляющих устройств*. М.: Наука, 1969. С. 16-20.
11. Птицын Г. А. Вероятностные модели гибели равнопрочных сетей // *T-Comm*. 2013. № 10. С. 85-88.
12. Птицын Г. А. Анализ строения деревьев кратчайших путей развивающихся сетей // *Электросвязь*. 1996. № 3. С. 4-6.
13. Попков В. К. *Математические модели связности*. 2-ое изд. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2006. 460 с.

14. Попков В. К., Блукке В. П., Дворкин А. Б. Модели анализа устойчивости и живучести информационных сетей // Проблемы информатики. 2009. № 4. С. 63–78.
15. Громов Ю. Ю., Драчев В. О., Набатов К. А., Иванова О. Г. Синтез и анализ живучести сетевых систем: монография. – М.: Издательство Машиностроение-1, 2007. 152 с.
16. Грызунов В. В. Оценивание живучести неоднородных структур // Вестник СибГУТИ. 2011. № 1. С. 28–36.
17. Егунов М. М., Шувалов В. П. Анализ структурной надежности транспортной сети // Вестник СибГУТИ. 2012. № 1. С. 54–60.
18. Додонов А. Г., Ландэ Д. В. Живучесть информационных систем. К.: Наук. думка, 2011. 256 с.
19. Стельченко В. Ф., Шостак А. В. Приближенный метод синтеза топологической структуры k-связной сети передачи данных // Автоматика и вычислительная техника. 1989. № 6. С. 40-45.
20. Зеленцов В. А., Гагин А. А. Надежность, живучесть и техническое обслуживание сетей связи. М.: Министерство обороны СССР, 1991. 169 с.
21. Маршрутизация и защита информации на сетевом уровне в мультисервисных сетях связи / Буров А. А., Киселев А. А., Новиков С. Н., Сафонов Е. В., Солонская О. И., под ред. С. Н. Новикова. Новосибирск: ГОУ ВПО СибГУТИ, 2004. 221 с. Деп. в ВИНТИ 04.11.04, № 1732-B2004 // Депонированные научные работы, № 1, 2005.
22. Кораблин М. А., Хамитова Л. А. Матрично-графовые модели компьютерных сетей // Инфокоммуникационные технологии. 2008. Том 6. № 3. С. 46–52.
23. Рудь Д. Е. Технологии топологической оптимизации трафика информационных потоков в телекоммуникационных сетях // Инженерный вестник Дона. 2010. Том 12. № 2. С. 95–107.
24. Милованов Д. С., Тухтамирзаев А. Ю., Шамин П. Ю. Проблемы маршрутизации в сети с быстро меняющейся топологией // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2009. № 72. С. 29–33.
25. Батаев Р. А., Голубев А. С. Вероятностный подход при создании алгоритмов маршрутизации в сетях с изменяющейся топологией // Тр. XIV Всерос. науч.–метод. конф. «Телематика 2007». 2007. Т. 1. 267 с.
26. Дмитриев В. Н., Сорокин А. А., Пищин О. Н. Построение систем связи с динамической непериодической топологией // Инфокоммуникационные технологии. 2008. Том 6. № 1. С. 34–39.
27. Нижарадзе Т. З. Алгоритм многопутевой маршрутизации в сетях оптической коммутации блоков // Системы управления и информационные технологии. 2006. № 2.1(24). С. 167-170.
28. Нижарадзе Т. З. Разработка и исследование модели алгоритма динамической маршрутизации для сетей GMPLS. Дис. ... к.т.н. Вологда: Вологодский государственный технический университет, 2007. 161 с.

29. Макаренко С. И., Рюмшин К. Ю., Михайлов Р. Л. Модель функционирования объекта сети связи в условиях ограниченной надежности каналов связи // Информационные системы и технологии. 2014. № 6 (86). С. 139-147.
30. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Модель функционирования маршрутизатора в сети в условиях ограниченной надежности каналов связи // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Том 12. № 2. С. 44–49.
31. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Новиков Е. А. Исследование канальных и сетевых параметров канала связи в условиях динамически изменяющейся сигнально–помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 10. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (дата доступа 01.03.2015).
32. Новиков С. Н. Классификация методов маршрутизации в мультисервисных сетях связи // Вестник СибГУТИ. 2013. № 1. С. 57-67.
33. Миночкин А. И., Романюк В. А. Маршрутизация в мобильных радиосетях: проблема и пути ее решения // Зв'язок. 2006. № 7. С. 49-55.
34. Программа сетевой академии Cisco CCNA 3 и 4. Вспомогательное руководство. М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. 1168 с.
35. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов. М.: Дрофа, 2008. 239 с.
36. Цветков К. Ю., Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Формирование резервных путей на основе алгоритма Дейкстры в целях повышения устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2(69). С. 71-78.
37. Фокин В. Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. М.: Эко-Трендз, 2008. 271 с.
38. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. П. Вычислительные методы для инженеров. М.: Высшая школа, 1994. 544 с.
39. Громов Ю. Ю., Долгов А. А., Хорохорин М. А., Минин Ю. В. Использование теории возможностей при оценке живучести сетевых информационных структур // Информация и безопасность. 2014. Том 17. № 1. С. 62-67.
40. Елисеев А. И., Минин Ю. В. Графовая модель получения значений показателей частных характеристик сетевых информационных структур // Вестник Воронежского государственного университета. 2013. Том 9. № 1. С. 22-25.
41. Корячко В. П., Перепелкин Д. А. Анализ и проектирование маршрутов передачи в корпоративных сетях. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 236 с.

## References

1. Kuzenkov A. Sostoianie i perspektivy razvitiia otechestvennykh retransliatorov [The State and Prospects of Development of Domestic Repeaters]. *Aerospace courier*, 2013, vol. 2, pp. 42-45 (in Russian).
2. Nazarov A. N., Simonov M. V. *ATM: tekhnologiya vysokoskorostnykh setei* [ATM: the Technology of High-Speed Networks]. Moscow, EKO-TRENDZ Publ., 1997, 232 p. (in Russian).

3. Novikov S. N. *Metody marshrutizatsii na tsifrovyykh shirokopolosnykh setiakh svyazi. Chast' 1.* [Routing Methods in Integrated Services Digital Network. Part 1]. Novosibirsk, Siberian State University for Telecommunication and Information Sciences, 2008, 84 p. (in Russia).
4. Novikov S. N. *Metody marshrutizatsii na tsifrovyykh shirokopolosnykh setiakh svyazi. Chast' 2.* [Routing Methods in Integrated Services Digital Network. Part 2]. Novosibirsk, Siberian State University for Telecommunication and Information Sciences, 2008, 59 p. (in Russia).
5. Porotskii S. M. Modelirovanie algoritma marshrutizatsii transportnoi ATM-seti [Modeling Routing Algorithm for ATM Transport Network]. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2000, vol. 10, pp. 16-19 (In Russia).
6. State Standard 5311 – 2008. Stability of functioning of the public communications network. Moscow, StandartInform, 15 p. (in Russia).
7. Mikhailov R. L., Makarenko S. I. Otsenka ustoichivosti seti svyazi v usloviakh vozdeistviya na nee destabiliziruiushchikh faktorov [Estimating Communication Network Stability under the Conditions of Destabilizing Factors Affecting it]. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy*, 2013, no. 4, pp. 69–79 (in Russian).
8. Glukhov A. D. O svyaznoi funktsii grafa [Function Graph Connectivity]. *Issledovanie operatsii i ASU*, 1990, vol. 36, pp. 20-22 (in Russian).
9. Baturina L. N., Lepeshinskii N. A. Algoritmy optimizatsii parametrov, obespechivaiushchikh zadannyi uroven' zhivuchesti [Optimization Algorithms Parameters to Provide the Desired Level of Survivability]. *Akademiia Nauk Belorusskoi Respubliki, Seriya fiz.-mat. nauk*, 1983, vol. 4, pp. 26-29 (In Russian).
10. Poleskii V. P. Strukturnaia nadezhnost' odnorodnykh veroiatnostnykh setei [Structural Reliability of Homogeneous Probabilistic Networks]. *Upravlenie setiami i sintez upravliaiushchikh ustroystv*, Moscow, Nauka Publ., 1969, pp. 16-20 (in Russian).
11. Ptitsyn G. A. Veroiatnostnye modeli gibeli ravnoprochnykh setei [Probabilistic Models of the Death of Full-Strength Networks]. *T-Comm*, 2013, vol. 10, pp. 85-88 (in Russian).
12. Ptitsyn G. A. Analiz stroeniia derev'ev kratchaishikh putei razvivaiushchikhsia setei [Analysis of the Structure of the Tree of Shortest Paths for Developing Networks]. *Telecommunications and Radio Engineering*, 1996, no. 3, pp. 4-6 (in Russian).
13. Popkov V. K. *Matematicheskie modeli svyaznosti* [Mathematical Models of Connectivity]. Novosibirsk, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006, 460 p. (in Russian)
14. Popkov V. K., Blukke V. P., Dvorkin A. B. Modeli analiza ustoichivosti i zhivuchesti informatsionnykh setei [Models for Analysis of Stability and Reliability of Telecommunication Networks]. *Problemy informatiki*, 2009, no. 4, pp. 63–78 (in Russian).

15. Gromov Ju. Ju., Drachev V. O., Nabatov K. A., Ivanova O. G. *Sintez i analiz zhivuchesti setevykh sistem: monografija* [Synthesis and Analysis Net Systems Reliability]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2007, 152 p. (in Russian).
16. Gryzunov V. V. Otsenivanie zhivuchesti neodnorodnykh struktur [The Estimation of Nonuniform Structures` Reliability]. *Vestnik SibGUTY*, 2011, no. 1, pp. 28–36 (in Russian).
17. Egunov M. M., Shuvalov V. P. Analiz strukturnoi nadezhnosti transportnoi seti [The Analysis of Structural Reliability of Traffic Nets]. *Vestnik SibGUTY*, 2012, no. 1, pp. 54–60 (in Russian).
18. Dadonov A. G., Lande D. V. *Zhivuchest' informatsionnykh sistem* [Survivability of the Information Systems]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2011. 256 p. (in Russian).
19. Stel'chenok V. F., Shostak A. V. Priblizhennyi metod sinteza topologicheskoi struktury k-sviaznoi seti peredachi dannykh [Approximate Method for the Synthesis of Topological Structure for K-connected Data Network]. *Automatic Control and Computer Sciences*, 1989, no. 6, pp. 40-45 (in Russian).
20. Zelencov V. A. Gagin A. A. *Nadezhnost', zhivuchest' i tekhnicheskoe obsluzhivanie setei svyazi* [Reliability, Survivability and Maintenance of Communication Networks]. Moscow, Ministry of Defense of the USSR Publ., 1991, 169 p. (in Russian).
21. Burov A. A., Kiselev A. A., Novikov S. N., Safonov E. V., Solonskaja O. I. *Marshrutizatsiia i zashchita informatsii na setevom urovne v mul'tiservisnykh setiakh svyazi* [Routing and Data Protection at the Net Level of Multiservice Communication Networks]. Novosibirsk: Siberian State University of Telecommunication and Information Sciences Publ., 2004. 221 p. (in Russian).
22. Korablin M. A., Hamitova L. A. Matrichno-grafovye modeli komp'yuternykh setei [Array and Graph Models of Computer Networks]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2008, vol. 6, no. 3, pp. 46–52 (in Russian).
23. Rud' D. E. Tekhnologii topologicheskoi optimizatsii trafika informatsionnykh potokov v telekommunikatsionnykh setiakh [Technologies of Topological Optimization of Information Traffic in Telecommunication Networks]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2010, vol. 12, no. 2, pp. 95–107 (in Russian).
24. Milovanov D. S., Tuhtamirzaev A. Ju., Shamin P. Ju. Problemy marshrutizatsii v seti s bystro meniaiushcheisia topologiei [Problems of Routing in Fast Variable Topology Networks]. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPBGPU*, 2009, no. 72, pp. 29–33 (in Russian).
25. Bataev R. A., Golubev A. S. Veroiatnostnyi podkhod pri sozdanii algoritmov marshrutizatsii v setiakh s izmeniaiushcheisia topologiei [The Probabilistic Way of Creating the Routing Algorithms in Fast Variable Topology Networks]. *Tr. XIV Vseros. nauch.–metod. konf. «Telematika 2007»* (Proc. XIV. Science-methodical Conf. “Telematika 2007”), 2007, vol. 1, pp. 267 (in Russian).
26. Dmitriev V. N., Sorokin A. A., Pishhin O. N. Postroenie sistem svyazi s dinamicheskoi neperiodicheskoi topologiei [Non-periodic Dynamic Topology Communication Systems` Creating]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2008, vol. 6, no. 1, pp 34–39 (in Russian).

27. Nizharadze T. Z. Algoritm mnogoputevoi marshrutizatsii v setiakh opticheskoi kommutatsii blokov [The Algorithm of Multipath Routing in Optical Networks Switching Blocks]. *Sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii*, 2006, pp. 167-170 (in Russian).

28. Nizharadze T. Z. *Razrabotka i issledovanie modeli algoritma dinamicheskoi marshrutizatsii dlia setei GMPL*. Diss. kand. tehn. nauk [The Model of Dynamic Routing Algorithm for GMPLS Networks, Research and Development Ph.D. Tesis]

29. Makarenko S. I., Ryimshin K. Yu., Mixajlov R. L. Model' funktsionirovaniia ob"ekta seti sviazi v usloviakh ogranichennoi nadezhnosti kanalov sviazi [Model of Functioning of Telecommunication Object in the Limited Reliability of Communication Channel Conditions]. *Information Systems and Technologies*, 2014, no. 6, pp. 139-147 (in Russia).

30. Makarenko S.I., Mikhaylov R.L. Model' funktsionirovaniia marshrutizatora v seti v usloviakh ogranichennoi nadezhnosti kanalov sviazi [The Model of Functioning of the Router in the Case of Limited Reliability of Communication Canals]. *Infokommunikatsionnye tekhnologii*, no. 2, 2014, pp. 44-49 (in Russian).

31. Makarenko S. I., Mikhailov R. L., Novikov E. A. Issledovanie kanal'nykh i setevykh parametrov kanala sviazi v usloviakh dinamicheskoi izmeniaiushcheisia signal'no-pomekhovoi obstanovki [The Research of Data Link Layer and Network Layer Parameters of Communication Channel in the Conditions Dynamic Vary of the Signal and Noise Situation]. *Journal of Radio Electronics*, 2014, no. 10. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (accessed 3 March 2014) (in Russian).

32. Novikov S. N. Klassifikatsiia metodov marshrutizatsii v mul'tiservisnykh setiakh sviazi [Classification of Routing Methods in Multiservice Networks]. *Vestnik SibGUTI*, 2013, no. 1, pp. 57-67 (In Russia).

33. Minochkin A. I., Romaniuk V. A. Marshrutizatsiia v mobil'nykh radiosetiakh: problema i puti ee resheniia [Routing in Mobile Radio Networks: the Problem and Its Solution]. *Zv'iazok Publ.*, 2006, vol. 7, pp. 49-55 (In Russia).

34. *Cisco Networking Academy Program CCNA 3 and 4. Companion Guide*. Cisco Press Publ., 2007. 1168 p.

35. Ushakov I. A. *Kurs teorii nadezhnosti sistem* [The Theory of Reliability of Systems], Moscow, Drofav Publ., 2008, 239 p. (in Russian).

36. Tsvetsov K. U., Makarenko S. I., Mikhailov R. L. Forming of Reserve Paths Based on Dijkstra's Algorithm in the Aim of the Enhancement of the Stability of Telecommunication Networks. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, vol. 69, no. 2, 2014, pp. 71-78 (in Russian).

37. Fokin V. G. *Opticheskie sistemy peredachi i transportnye seti* [Optical Systems of Communication and Transport Networks], Moscow, Jeko-Trendz Publ., 2008, 271 p. (in Russian).

38. Amosov A. A., Dubinskii Iu. A., Kopchenova N. P. *Vychislitel'nye metody dlia inzhenerov* [Computational Approach for Engineers]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1994, 544 p. (in Russian).

39. Gromov Yu. Yu., Dolgov A. A., Horohorin M. A., Minin Yu. V. Use of the Theory of Possibilities when Determining the Reliability of Network Information Structures. *Informatsiia i bezopasnost'*, 2014, vol. 17, no. 1, pp. 62-67 (in Russian).

40. Eliseev A. I., Minin Yu. V. Grafovaia model' polucheniia znachenii pokazatelei chastnykh kharakteristik setevykh informatsionnykh struktur [Graph Model of Obtaining Values of Indicators of Private Characteristics of Network Information Structures]. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2013, vol. 9, no. 1, pp. 22-25 (in Russian).

41. Korjachko V. P., Perepelkin D. A. *Analiz i proektirovanie marshrutov peredachi v korporativnykh setiah* [The Analysis and Designing of Routes at Transmission in Corporate Networks]. Moscow, Goriachaia Liniia - Telecom Publ., 2012, 236 p. (in Russian).

Статья поступила 6 марта 2015 г.

### Информация об авторах

*Макаренко Сергей Иванович* – кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры сетей и систем связи космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: устойчивость сетей и систем связи к преднамеренным деструктивным воздействиям; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. Тел.: +7 981 820 49 90. E-mail: mak-serg@yandex.ru

*Михайлов Роман Леонидович* – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Аджункт кафедры сетей и систем связи космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: устойчивость сетей и систем связи к преднамеренным деструктивным воздействиям; радиомониторинг. Тел.: +7 911 777 69 73. E-mail: mikhailov-rom2012@yandex.ru

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская д. 13.

---

## Signaling with Adaptation Parameters in Routing Protocol with a Connection on Influence of Destabilizing Factors

**Makarenko S. I., Mikhailov R. L.**

**Statement of the problem.** The structural complexity of communication network is growing up, and questions of stability to influences of destabilizing factors are current importance. Known methods of increasing the stability of the communication lines, based on the routing data flows on the primary and several backup paths, and do not take into account the loss of time on the processes of reconfiguring connections. Purpose of ensuring a certain level of stability in terms of the availability of the connection taking into account its structure and by adapting temporal parameters diagnostics of the health of the connection The paper offered to consider at stability maintenance not only connection structure, but also time expenses for communication restoration. In paper show, that these time expenses are defined by time parameters of refusals of elements of connections and the period of diagnostics of working capacity of elements. A predetermined level of stability will provide by adaptive change of the period of diagnosis of the operability of the connection in accordance with the measured average time of failure network element.

**Methods:** The solution of the problem based on the use of methods of reliability theory and the theory of Markov processes. The criterion of achieving a given level of stability of the connection is the value of the coefficient of readiness of the compound based on its structure and processes to its reconfiguration. **Innovation:** consideration of the impact of destructive factors through the transitional probabilities of the original Markov model are the elements of novelty of the presented solutions. Also for the first time used the approach to assess the availability of the connection is based on further evaluation of the processes of reconfiguring a connection. **Results:** The decision on the adaptation of the parameters in the routing Protocol with the establishment of connections allows to provide a set level of stability (in terms of the availability of the connection) failure of the individual elements due to the impact of destabilizing factors. **Practical implications:** presented solution is implemented in a mathematical software routing protocols connection: Hello, PNNI, MPLS functioning in networks exposed to destabilizing factors. This will allow for adaptive dynamic change of parameters in the diagnosis of the state of the connection (end-to-end) depending on the level of influence of destabilizing factors on the network elements

**Key words:** connection, clustering, routing, communication protocol, destabilizing factor, intentional interference, PNNI, MPLS.

### Information about Authors

*Makarenko Sergey Ivanovich* – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor at the Department of Networks and Communication Systems of Space Systems. A. F. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. Тел.: +7 981 820 49 90. E-mail: mak-serg@yandex.ru

*Mikhailov Roman Leonidovich* – doctoral candidate. The postgraduate student of the Department of Networks and Communication Systems of Space Systems. A. F. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; radiomonitiring. Тел.: +7 911 777 69 73. E-mail: mikhailov-rom2012@yandex.ru

Address: Russia, 197198, Saint-Petersburg, Zhdanovskaya street 13.