SCCS

Системы управления, связи и безопасности

Systems of Control, Communication and Security

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

№4 2016

ISSN 2410-9916

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

№ 4
IV квартал 2016 г.

© ООО «Корпорация «Интел Групп», 2016

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

Михайлов Р.Л. АНАЛИЗ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ КООРДИНАЦИИ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ИССЛЕДОВАНИЙ 1
Феоктистов А.Г., Корсуков А.С., Дядькин Ю.А. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 30
Догадина Е.П., Кропотов Ю.А. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗАГРУЗКОЙ ОБОРУДОВАНИЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В СОСТАВЕ ВНЕШНЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ 61
Макаренко С.И., Коровин В.М., Ушанев К.В. ОПЕРАТОР ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТРАФИКА ДЛЯ ПРЕДНАМЕРЕННОГО ПОВЫШЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ 77
Левин В.И. МНОГОМЕРНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНИКЕ, ЭКОНОМИКЕ И СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ 110
Полесский С.Н., Маякова О.Ю., Алейников А.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ, НАИБОЛЕЕ СИЛЬНО ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ 117
Борисов В.В., Зернов М.М., Федулов А.С., Якушевский К.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА 129
Левин В.И. МОДЕЛИ ПРОИЗВОДНОЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ НЕПОЛНОСТЬЮ ОПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ 147
Макаренко С.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА В ВОЕННЫХ ЦЕЛЯХ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И СРЕДСТВ ВООРУЖЕНИЯ 161
Шабанов А.П. ИННОВАЦИИ: ОТ УСТРОЙСТВ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ ДО ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ. ЧАСТЬ 3 - ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ 214

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.
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, TEXT, 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.

Требования к оформлению статей, представляемых в редакцию

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 – A4. 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 станицах, 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, 12 pt или 14 pt. Формулы выравниваются по левому краю с абзацным 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 - загромождают текст статьи.
16. Список используемых источников оформляется в соотсветсвии с требованиями к оформлению библиографических ссылок нашего журнала после подзаголовка «Литература», который выполняется полужирным шрифтом, выравниваются по центру страницы без абзацного 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 треюования:

- 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

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

Подписано к использованию 22.03.2017
Объем издания – 8,6 Мб.
Комплектация издания – 1 CD.
Тираж 100 экз.

УДК 623.618

Анализ научно-методического аппарата теории координации и его использования в различных областях исследований

Михайлов Р. Л.

Актуальность. *В настоящее время в интересах повышения эффективности управления в сложных многоуровневых системах активно развиваются методы теории координации, которые нашли свое применение в различных областях исследований. В связи с этим, актуальным является анализ известных работ и методологии исследования вопросов координации и рассмотрение возможности использования полученных другими авторами результатов в новой предметной области – в области информационного противоборства.* ***Целью работы*** *является анализ известных работ в области координации сложных многоуровневых систем. Особое внимание уделено анализу работ, в которых рассматривается распределение ресурса в многоуровневых системах в качестве управляющего воздействия.* ***Используемые методы****. Решение задачи основано на использовании методов системного анализа, а также методов индукции и дедукции теории логики.* ***Результат.*** *На основе анализа более 70 источников выявлены общие и частные закономерности проведенных исследований в области теории координации, базирующиеся на использовании различного научно-методического аппарата, а именно: методов координации, основанных на принципах самоорганизации на базе моделей вычислительных полей, методов нечеткой параметрической координации в многоуровневых иерархических системах, методов координации путем прогнозирования и развязывания взаимодействий, методов координации на основе моделей коалиционных рефлексивных игр, мультиагентный, триадный, ситуационный подходы, а также методов на основе других теорий.* ***Новизна.*** *Элементами новизны работы являются выявленные общие и частные закономерности и подходы к исследованию в области координации на основе использования различного научно-методического аппарата.* ***Практическая значимость.*** *Представленный анализ может быть использован специалистами для обоснования новых технологических решений в области координации в различных сложных многоуровневых системах, а также военными специалистами – для обоснования новых форм и способов организации взаимодействия разнородных сил и средств при ведении вооруженной борьбы. Кроме того, данный анализ будет полезен научным работникам и соискателям, ведущим научные исследования в области координации в сложных многоуровневых системах управления.*

Ключевые слова: *управление, координация, сложные многоуровневые системы, иерархические системы.*

Актуальность

В настоящее время в интересах повышения эффективности управления в сложных многоуровневых системах активно развиваются методы теории координации, которые нашли свое применение в различных областях исследований. В связи с этим, актуальным является анализ известных работ и методологии исследования вопросов координации и рассмотрение возможности использования полученных авторами результатов в новой предметной области – области информационного противоборства.

Место координации в теории управления

Управление, как важнейшая функция любых организованных систем (технических, социальных, биологических), обеспечивает необходимый режим деятельности, достижение поставленных целей и эффективность их функционирования [1]. Теория и практика управления предлагают различные способы, методы, формы, направленные на достижение поставленных задач и целей, и позволяют выработать стратегию, тактику, комплекс средств и приемов для их эффективного достижения. В работе [2] определена общая цель управления – гомеостазис, то есть обеспечение динамического равновесия между системой и средой, сохранение ее качественной определенности вопреки разрушающим воздействиям, преодоление противоречий между элементами системы, системой и внешней средой. Усиливая или ослабляя внутренние процессы, комбинируя их и т. д., субъект добивается сохранения системы и повышения уровня ее организованности. Одним из факторов гармонизации в области управления является координация. Согласно работе [3] координация – согласование, приведение в соответствие. Толковые словари русского языка дают аналогичное толкование координации, определяя ее как соотношение, согласованность, установление целесообразного соотношения между какими-то действиями [4]. В таком же понимании термин *координация* вошел в научный оборот и используется для обозначения деятельности, обеспечивающей согласованность тех или иных мероприятий [1].

Основоположник теории координации А. Файоль рассматривал ее как обязательный элемент управления, который обеспечивает нормальное и эффективное функционирование системы, пропорциональное и гармоничное целенаправленное движение всех ее составных частей [5]. Нормализация достигается на основе установления целесообразного соотношения между действиями, согласования всех операций (технических, коммерческих, финансовых, страховых, учетных, административных) на предприятии, отслеживания последствий, которые влечет за собой каждое из действий для всех остальных операций. Эффективность же предполагает приспособление целей к средствам, соизмерение затрат с доходами, увязывание деятельности по снабжению и сбыту с нуждами производства и т. д. Исследуемая под таким углом зрения координация требует, по существу, согласования, связывания, гармонизации действий и усилий для достижения определенных общих целей с наименьшими затратами сил и средств. Взгляды А. Файоля на координацию до настоящего времени считались классическими. Они способствовали становлению единого методологического подхода, направляющего исследования теории управления:

1) координация и управление взаимосвязаны;
2) элемент координации должен всегда «привязываться» к элементу управления.

Само управление в этой связи может рассматриваться как совокупность скоординированных мероприятий, ориентированных на достижение определенной цели. Благодаря наличию диалектической связи координации и управления, изучение и успешное разрешение проблем, связанных с первой,

становится значимым условием нормального функционирования самого управления [1].

Ведущий ученый в области управления Дж. Моррисей [6] определял координацию как функцию управления, направленную на создание условий для выполнения членами организации действий, необходимых для достижения цели организации [7].

В настоящее время в научной литературе координация обычно трактуется (в порядке от общего определения к частному) с точки зрения ее основного назначения, а не содержания [8]:

1) преодоление избыточных степеней свободы системы, свободно движущейся в пространстве состояний, т.е. превращение её в управляемую систему [9];
2) процесс достижения единства усилий всех подсистем (элементов) системы для реализации ее задач и целей [10];
3) управленческая деятельность, заключающаяся в обеспечении взаимосвязи и согласованности субъектов, объектов и процессов труда во времени и в пространстве [11];
4) функция управления установлением связей, системы взаимодействия и согласованности работы ее компонентов, оперативной диспетчеризации выполнения планов и заданий [12];
5) вид деятельности по согласованию и упорядочению усилий, объединенных обшей целью и совместной деятельностью элементов в производственно-хозяйственных системах участников выполнения того или иного задания [11];
6) предварительное согласование действий при подготовке планов, и согласованная реакция системы на возникающие помехи и проблемы при выполнении этих планов [13].

Вместе с тем, структурная и функциональная сложность современных объектов управления, большое количество и противоречивость показателей качества обуславливают использование в таких сложных системах многоуровневых подсистем управления с иерархической структурой. В этом случае общая задача управления разбивается на ряд подзадач, которые решаются локальными управляющими элементами. Существенным преимуществом иерархического подхода является возможность проведения параллельных работ, когда осуществляется одновременное решение ряда локальных задач и координация частных решений. Кроме того, построение системы управления по иерархическому принципу позволяет снизить сложность отдельных решаемых задач, повысить надежность работы системы в целом, ускорить процесс проектирования системы управления. Основной задачей, решаемой при синтезе такой иерархической системы управления для сложных систем, является разработка методов и алгоритмов координации, используемых для согласования работы автономно функционирующих подсистем [14].

В классической работе М. Месаровича, Д. Мако, И. Такахара [15] исследуются математические модели иерархических структур управления. В

предлагаемых авторами моделях иерархических систем используется формальный язык общей теории систем, основанный на теоретико-множественных концепциях, что предоставляет возможность получать обобщенные описания для проведения структурных исследований данных классов систем [16].

При этом координация рассматривается как задание вышестоящей системы управления, в ходе реализации, которого она пытается добиться, чтобы системы управления функционировали согласованно. Такое определение, по мнению авторов статьи [7], было вполне пригодным для централизованной экономики (построенной по директивно-иерархическому принципу), но совсем не отвечает современным условиям управления. Кроме того, согласованное функционирование совсем не означает скоординированных действий, ведь все низшие элементы управления одного уровня могут быть «согласны», но действовать не скоординировано.

В работе [17] координация рассматривается в трех аспектах:

1) как метод организации координатором управленческих отношений между координированными сторонами;
2) как процесс, то есть последовательность связанных между собой циклов переработки управленческой информации;
3) как механизм, то есть совокупность упорядоченных действий, которая устанавливает границу отклонения от общей цели и вносит коррективы в ход ее реализации.

Среди основных задач координации выделены [17]:

- создание условий, которые облегчают достижение собственной цели координированных элементов;
- стимулирование осуществления таких действий, которые способствуют достижению общей цели системы;
- регуляция отношений подчинения индивидуального – общему, части – целому.

Авторы работы [18] рассматривают модели и методы координации в крупномасштабных экономических системах. Под координацией ими понимается «аппарат установления правил взаимодействия элементов крупномасштабной системы, которые направлены на приведение к глобальной цели, которая стоит перед системой в целом, локальных целей отдельных элементов и что обеспечивает согласование их действий по реализации этих целей». Кроме того, выделены два блока заданий, которые должна выполнять координация [18]:

- согласование стратегических планов крупномасштабной системы в целом и всех ее элементов (расстановка приоритетов отдельных направлений развития, согласования интересов элементов, ориентирования деятельности элементов на достижение общей цели);
- обеспечение взаимодействия элементов (стимулирование действий элементов, минимизация конфликтов в ходе совместной деятельности, снижения эффективности системы в целом).

Предложены три координационных подхода к управлению крупномасштабными системами [7]:

- *целевой*, направленный на согласование целей элементов и моделирования их взаимодействия при разработке общей стратегии системы;
- *оптимизационный*, направленный на организацию оптимального внутреннего взаимодействия элементов;
- *информационный*, направленный на согласование текущих потоков взаимодействия между элементами при оперативном управлении ими.

В работе [19] приведена общая схема координации в многоуровневых динамических системах, а также математическая постановка задачи координации в двухуровневых системах, состоящих из центра и ряда элементов нижнего уровня, взаимодействие между которыми происходит только через центр. Предложена процедура координации в таких системах. На основе общей процедуры конструируются различные численные методы координации, которые разбиваются на два основных класса – безытеративные и итеративные. При итеративных процедурах координации в многоуровневых динамических системах происходит многократный обмен информацией, а при безытеративных – однократный обмен информацией между уровнями.

В работе [20] на основе [15] предложены алгоритмы координации, основанные на нечетких множествах. В работе [21] рассматривались вопросы координации в условиях неопределенности для сложных производственных систем.

Авторы работы [22] рассматривают системы координированного управления с точки зрения обеспечения функциональных соотношений между выходными координатами локальных подсистем. Это позволяет поддерживать оптимальное функционирование подсистем в смысле заданных показателей эффективности, например, в динамических режимах работы, вызванных действием достаточно больших по величине неконтролируемых возмущений, когда возможность их учета на уровне локальных подсистем оказывается исчерпанной и т. д.

В работе [23] для решения задач координированного управления выделяются три основных подхода.

1. Традиционным походом решения задач координированного управления являются методы автономного управления, которые обеспечивают требуемое соотношение выходных переменных за счет согласования задающих воздействий на *статических* режимах работы [24]. При этом синхронизация работы элементов осуществляется пассивно, по разомкнутой схеме управления, и, следовательно, данный подход недостаточно эффективен в условиях действия внешних помех.
2. Вторым подходом решения задач координированного управления являются методы управления многоканальными объектами [25], обеспечивающие согласованное функционирование элементов системы в *динамических* (переходных) режимах работы. Однако эти

методы получили свое развитие только для случая полностью однотипных линейных систем без введения в систему автоматического управления контуров координированного управления.

3. Третий подход основан на решении задач *функциональной* координации как задач пространственного управления, в котором эталонное движение системы в пространстве состояний задается с помощью функциональных соотношений переменных, определяющих в многомерном пространстве интегральную кривую, поверхность или многообразие [26]. При этом координация осуществляется путем введения дополнительного контура координации. Однако здесь имеются нерешенные вопросы, обусловленные проблемой совместного синтеза алгоритмов как абсолютного, так и координированного управления.

С целью исследования иерархической распределенной системы обычно ее рассматривают в виде композиции отдельных двухуровневых систем [27], на верхнем уровне которых находятся управляющие подсистемы, а на нижнем управляемые элементы (подсистемы). При анализе двухуровневой системы рассматривают два класса задач:

1) задачи самоуправления для подсистем нижнего и верхнего уровней;
2) задачи управления подсистемами нижнего уровня путем координации их функционирования.

Так как цели подсистем нижнего и верхнего уровней могут быть различными, можно говорить о различных видах координируемости, которые представлены ниже.

1. *Координируемость относительно задачи, решаемой в подсистеме верхнего уровня*. В этом случае при некотором выбранном управляющем воздействии в результате решения задачи верхнего уровня в каждой подсистеме нижнего уровня найдутся такие локальные управляющие воздействия, при которых критерий задачи верхнего уровня достигает своего глобального оптимума.
2. *Координируемость относительно задач, решаемых в каждой из подсистем многоуровневой системы*. Для этого варианта координируемости локальные управляющие воздействия задач нижнего уровня обеспечивают глобальный оптимум в задаче верхнего уровня.
3. *Координируемость относительно компромиссного значения целевых функций подсистем рассматриваемой двухуровневой системы*. Такая ситуация характерна при наличии конфликта как между подсистемами одного уровня, так и между подсистемами различных уровней. Если конфликт носит не антагонистический характер, то выбор управляющего воздействия сводится к принятию решения по множеству критериев отдельных подсистем [28].

В работе [29] задачи координации рассматриваются как особый класс задач управления в социально-экономических системах. При этом они

отличаются от традиционных задач управления, описанных, например, в работе [15], следующими основными чертами:

1) основная цель координации – найти и реализовать такие управленческие решения, которые, с одной стороны, удовлетворяли бы индивидуальным интересам элементов, образующих систему, а с другой, – соответствовали бы целевой функции всей системы;
2) координация предполагает специализацию управленческой деятельности, то есть разделение общей управленческой функции на частные функции с возложением их на специализированные организационные элементы;
3) задача координации возникает тогда, когда между элементами системы есть противоречия, но нет антагонизма, и они обладают определенной самостоятельностью при выборе управленческих решений;
4) при координации вышестоящий решающий элемент (координатор) имеет право вмешиваться в деятельность элементов низшего уровня, не навязывая им линии поведения, а помогая разрешать возникающие проблемы.

Различные модификации методов координации и согласования локальных решений, принимаемых на разных уровнях управления, в многоуровневых сетецентрических системах управления рассмотрены в работе [30]. К ним относятся:

1) игровые и градиентные методы [31], основанные на предложенных в [15] необходимых и достаточных условиях координируемости локально организованной иерархии динамических систем;
2) методы координации, основанные на принципах самоорганизации на базе моделей вычислительных полей [32];
3) методы нечеткой параметрической координации в многоуровневых иерархических системах [33];
4) методы координации путем прогнозирования и развязывания взаимодействий [15, 34, 35];
5) методы координации на основе моделей коалиционных рефлексивных игр [36];
6) мультиагентный, триадный, ситуационный подходы [37] к моделированию координации сложных динамических систем и другие [30].

Возможность реализации организационного взаимодействия коллектива динамических интеллектуальных систем рассмотрена в работе [38]. На примере двухуровневой системы управления получены необходимые условия координируемости по отношению к решению задачи координатора и по отношению к глобальной задаче на основе принципа прогнозирования взаимодействий.

Авторы работы [39] рассматривают применение нейронных сетей для повышения эффективности управлений и детектирования источников возмущений при использовании градиентного метода координации

децентрализованного управления сетевыми структурами на основе предложенных ранее необходимых и достаточных условий координируемости локально организованной иерархии динамических систем.

Авторами [40] предложена процедура синтеза контура координированного управления на основе желаемых динамических свойств контуров управления и координации. Показано, что для определенного класса задач коэффициенты обратной связи контура координации могут быть выбраны независимо от коэффициентов главной обратной связи по переменным состояния, что дает возможность выбирать любые требуемые динамические характеристики контура координации.

В работе [16] центральное место занимает исследование проблемы координации в двухуровневых системах и возможность распространения этих результатов на многоуровневые иерархические системы. Авторы рассматривают координацию как сферу деятельности или задачу вышестоящей управляющей системы, в ходе которой она пытается добиться, чтобы нижестоящие системы управления функционировали согласованно.

В работе [41] сформулированы принципы координации, которые определяют различные стратегии для координатора, т.е. определяют структуру процесса координации: принцип прогнозирования взаимодействий, принцип согласования взаимодействий и принцип оценки взаимодействий.

Монография [8] посвящена теоретическим проблемам стратегического менеджмента. В ней раскрыты содержание и взаимосвязь, а также отслежено развитие таких функций стратегического управления системой, как координация, контроль, предвидение и адаптация. Концепции, принципы модели и приемы, о которых идет речь в данной монографии, разработаны на основе системного подхода и его основных принципов.

Целью работ [22, 42, 43] является развитие частотных и операторных методов анализа и синтеза систем координированного управления динамическими объектами и оценка их эффективности. Отличительной чертой предлагаемых моделей и алгоритмов координированного управления динамическими объектами является получение эквивалентной структуры с голономными связями между отдельными элементами, охваченной неединичной обратной связью, а также анализ их частотных характеристик.

В работе [29] на основе классического кибернетического подхода рассматриваются базовые модели управления и координации, которые целесообразно использовать при моделировании и оптимизации процессов функционирования систем, а также их применение для оптимизации функционирования систем социально-экономического типа. Авторы рассматривают три варианта стратегии поведения систем.

1. Система довольствуется имеющимся значением выходного параметра, характеризующим ее эффективность (например, доходом для предприятия), а своей целью рассматривает сокращение (минимизацию) возможного ущерба (задача управления по минимуму ущерба). При такой задаче необходимо определить такие параметры управления из числа допустимых, с учетом их взаимозависимости, при которых урон, понесенный системой в связи с

выполнением своих функций, будет минимальным, а уровень эффективности не снизится ниже определенной величины.

2. Система все свои усилия направляет на максимизацию своей эффективности, сохраняя при этом определенный уровень ущерба (задача управления по максимуму эффективности). В этом случае необходимо определить такие параметры управления из числа допустимых и с учетом их взаимозависимости, при которых эффективность системы будет максимальной, а ущерб не превысит некоторой заданной величины.

3. Система стремится повысить показатель эффективность/ущерб (задача управления по максимуму показателя эффективность/ущерб). Необходимо определить такие параметры управления из числа допустимых и с учетом их взаимозависимости, при которых конечный показатель функционирования системы, зависящий как от ее эффективности, так и от возможного ущерба, будет максимальным. [29].

В работе [29] показано, что функция координатора будет заключаться в том, чтобы на основании информации о характере рассогласования действий элементов различных уровней выработать и довести до них такие координирующие воздействия, которые помогут им вырабатывать управляющие воздействия, минимизирующие отклонения общего процесса от заданного целевого состояния.

Работы [14, 44] посвящены разработке методов и алгоритмов координации для двухуровневых дискретно-непрерывных систем управления, обеспечивающих гарантированное качество при управлении сложными техническими объектами. Отличительной чертой методов и алгоритмов координации в установившемся режиме является направленный поиск координирующих сигналов, обеспечивающих гарантированное качество на верхнем уровне, путем построения внутренней аппроксимации допустимого множества значений показателей элементов нижнего уровня, согласованного с глобальной целью системы. Алгоритмы координации позволяют гарантировать заданное качество на верхнем уровне и существенно уменьшить общий объем вычислений за счет снижения размерности задач построения множеств достижимости.

При этом, в переходном режиме методы и алгоритмы координации основаны на совместном поиске траекторий двух новых дискретных агрегированных моделей элементов нижнего уровня с использованием методов теории игр. Эти алгоритмы позволяют гарантировать определенное быстродействие и качество переходного процесса всей системы, также они устойчивы к нарушению структурных связей между элементами системы [14, 44].

Общая схема синтеза двухуровневой дискретно-непрерывной системы управления с гарантированным качеством, предложенная в работах [14, 44], включает в себя последовательность операций синтеза при наличии трех групп локальных критериев с различным приоритетом. В этом случае алгоритмы управления нижнего уровня будут основаны на вычислении множеств достижимости в дискретно-непрерывном пространстве состояний системы, и

должны быть реализованы два глобальных режима – установившийся и переходный.

Анализ использования научно-методического аппарата теории координации в различных областях исследований

Теория координации получила широкое применение в различных областях исследований. Так, в работе [45] рассматривается роль координации в обеспечении функционирования производственно-хозяйственной системы современного иерархически выстроенного предприятия. Ставится проблема перехода к эффективной поддержке управления для обеспечения действенной координации, раскрываются инструментальные приемы координации деятельности участников производства на предприятии. Предлагается методика определения цены передачи продукта по всей цепочке его движения на предприятии, обеспечивающая скоординированность действий исполнителей на реализации общесистемной цели увеличения прибыльности (рентабельности) деятельности товаропроизводителя.

В работе [46] представлена многоуровневая система энергетического управления, позволяющая снизить энергетические издержки промышленных предприятий на основе оптимизации решения следующих задач:

1) на уровне предприятия в целом: задачи планирования энергетических ресурсов по критерию минимизации штрафов за недостоверную заявку на покупные ресурсы – природный газ и электрическую энергию;
2) оптимизация энергетического баланса и режимных параметров отдельных технологических составляющих производства в целом.

Кроме того, в работе [46], рассмотрена задача минимизации энергозатрат на обеспечение выплавки стали, и получены оптимальные значения режимных параметров, позволяющие снизить затраты на потребление электрической энергии.

Задачи оперативного управления циклическим многостадийным технологическим процессом (организационно-технологической системы) решаются в работах [47-50]. К этим задачам относятся:

1) выработка и реализация управляющих воздействий на систему с целью перевода ее из заданного (известного) начального состояния в требуемое конечное состояние на заданном временном интервале;
2) получение (измерение) достоверной и полной информации о контролируемых параметрах процесса с целью анализа состояния, ретроспективного восстановления динамики контролируемых параметров, прогноза их изменения с целью выработки и реализации управляющих воздействий и получения требуемых характеристик системы;
3) обеспечение согласованной по времени и другим контролируемым параметрам работы участков и цехов комплекса сталь-прокат при выполнении заданий, представляемых в виде контактных и сменно-суточных графиков.

Авторы работы [49] указывают на то, что отрицательным явлением, приводящим к большим экономическим потерям, является раскоординация работы участков и цехов, вызываемая различными нарушениями и отклонениями фактических параметров от заданных. При этом применяемое в производстве понятие координации не имеет численных показателей и является эвристическим. Отсутствие количественных показателей координации не позволяет рассчитывать состояние производства и потери, вызываемые его раскоординированным ходом, что приводит к прямым и косвенным потерям.

Задача повышения эффективности и качества управления процессом удовлетворения спроса населения города на транспортное обслуживание, рассмотренная в работе [51], также решается с применением теории координации. Сложность решения данной задачи обусловлена многофункциональным и многоуровневым характером транспортных систем, децентрализацией управления перевозками пассажиров, динамическим и вероятностным характером изучаемых процессов, необходимостью учета многочисленных психологических и социально-экономических факторов.

Как показано в работе [51] на начальной стадии развития крупных городов, когда обслуживание населения в поездках осуществлялось одним-двумя видами городского пассажирского транспорта (ГПТ), транспортные проблемы удавалось решать совершенствованием конструкции транспортных средств, дополнительным выпуском подвижных единиц на маршруты, разработкой новых видов ГПТ и технологии перевозок. Управление на уровне согласования являлось вполне достаточным и не вызывало особых затруднений. Однако в условиях применения трех-пяти видов ГПТ управление на уровне согласования уже не дает ожидаемого эффекта. Оно не в состоянии эффективно решать комплекс задач по организации транспортного обслуживания населения. Этим определялась необходимость и актуальность пересмотра самих основ управления перевозками пассажиров на базе эффективных методов выбора управленческих решений, основанных на методах координации.

Работы [51-55] посвящены решению задачи координации в управлении транспортной системой крупного города и построении наиболее экономичного и быстрого способа получения информации, необходимой и достаточной для успешного управления этим процессом. Проведена математическая постановка задачи информационного взаимодействия в двухуровневой системе, состоящей из координирующего органа на верхнем уровне и транспортных управлений на нижнем уровне, которые взаимодействуют друг с другом только через координирующий орган и разработана процедура координации в такой системе, основанная на конструировании задачи векторной оптимизации для каждого транспортного управления и решение, оптимальное для всей системы, которое ищется в пределах эффективного множества значений (множества Парето) этой задачи.

В работах [56, 57] предложена модель оптимизации управления конфликтной системой на основе поиска конфликтного равновесия между сторонами с различными интересами, а также ее приложение для управления

городским пассажирским транспортом. Показано, что в случае, если целью конфликта является овладение одной из сторон каким-либо ресурсом (или распределения ограниченного ресурса в случае неантагонистического конфликта между всеми сторонами), то такую задачу можно свести к задаче оптимального распределения ресурсов.

В области добычи полезных ископаемых, к которой относится, в частности, система угледобывающей промышленности Российской Федерации обобщены и нашли свое применение результаты решения задач координации в двухуровневых системах [58, 59]. Данное обобщение основано на том факте, что в многоуровневой иерархической структуре угледобывающей отрасли для двух рядом расположенных уровней на нижнем имеется несколько элементов, для которых на верхнем имеется один «координирующий орган». Таким образом, по своей организационной структуре такая система является двухуровневой. Следовательно, многоуровневую иерархическую структуру угледобывающей отрасли можно рассматривать как состоящую из конечного числа «элементарных» двухуровневых подсистем. Отмечается, что все рассматриваемые процедуры координации в угледобывающей отрасли и соответствующие им информационные взаимодействия являются детерминированными, т. е. предполагается, что к моменту решения задач координации на каждом слое исходная информация считается известной. В реальной же системе управления такое предположение далеко не всегда выполняется, и управляющее решение зачастую принимается в условиях неполной информации или неопределенности. Поэтому в указанных работах показано, что вопрос об информационном обеспечении решаемых задач в угледобывающей отрасли промышленности остается открытым и требует отдельного исследования. Математическая модель решения этой задачи предусматривает использование как безытеративного, так и итеративного алгоритма координации [58, 59].

В работе [60] рассматривается подход к оптимизации процесса добычи нефти группой скважин с учетом их взаимовлияния при технических, технологических и экономических ограничениях с целью увеличения текущей добычи нефти и конечной нефтеотдачи пластов. При этом особенностью работы является рассмотрение возможности применения форсированного отбора жидкости при нефтедобыче. Перед переходом к такому режиму необходимо определить резервы производительности (пропускной способности) промыслового хозяйства предварительной подготовки нефти. Вовлечение в активную разработку высокообводненных добывающих скважин увеличивает количество добытой жидкости. С другой стороны, реальный пласт неоднороден по своим свойствам, и потенциальные возможности скважин различны. На поздней стадии эксплуатации месторождения скважины обводнены в различной степени. Поэтому эксплуатация с максимальной производительностью скважин может привести к снижению темпов роста добычи нефти, к существенному увеличению количества добываемой воды и, следовательно, к росту себестоимости продукции. В связи с этим необходимо так подбирать режимы работы скважин (уменьшить отборы из сильно

обводненных скважин или даже выключить их), чтобы увеличить отборы с менее обводненной части скважин и, соответственно, увеличить суммарный дебит нефти. Параметрами управления при нефтедобыче являются режимы работы (дебиты) скважин, время ввода и способы их эксплуатации. Изменение параметров скважин приводит к перераспределению давлений и потоков в залежи, поэтому при расчетах должно учитываться взаимовлияние (интерференция) скважин. Поэтому актуальной задачей является определение дебитов добывающих и нагнетательных скважин, величин пластового и забойных давлений на каждой скважине, коэффициентов взаимовлияния скважин в динамике (в реальном масштабе времени) с тем, чтобы обеспечить рациональное функционирование объекта. В работе [60] предложена трехуровневая автоматическая система управления технологического процесса добычи нефти, которая включает в себя:

- первый (нижний) уровень – управление режимами работы насосных установок скважин (локальная система управления);
- второй (средний) уровень – управление группой (кустом) скважин;
- третий уровень – организационно-финансовое управление производством в целом.

На каждом уровне управления вычисляется требуемый диапазон дебита нефти для каждой скважины, а в модуле расчета согласованного управляющего воздействия рассчитывается управляющее воздействие с учетом требований всех каналов управления, по которому с помощью регулятора устанавливается скорость откачки. Алгоритм определения согласованного дебита основан на отношениях приоритетов уровней управления и предполагает выработку следующих решений: останов скважины для перевода ее в бездействующий фонд, в накопление, под нагнетание или продолжение ее дальнейшей эксплуатации с адаптацией режима [60].

В работе [61] показано, что основным направлением повышения качества систем управления производством для компаний пищевой промышленности является их комплексная автоматизация и постоянная адаптация к изменяющимся условиям рынка на основе учёта большого числа необходимых формализуемых и слабо формализуемых факторов с применением системного подхода, интегрирующего цикл функций управления: сбор информации, контроль, учёт, регулирование, планирование, организация, целевое управление и координация. Так, работы [61-63] посвящены повышению эффективности функционирования зерновых и зерноперерабатывающих предприятий и компаний на основе современных информационных технологий управления сложными производственными системами и бизнес-процессами по циклу функций учёта, контроля и поддержки принятия решений по планированию производства.

В статье [64] рассмотрена возможность применения генетических алгоритмов для решения задач координации и управления ресурсами в распределенных системах. Исследование показывает, что генетические алгоритмы могут быть эффективно интегрированы в системы поддержки принятия решений для координации ресурсов и управления ими. Разработан

метод решения задачи распределения ресурсов и синхронизации технологических процессов на примере производства молочной продукции. Целью работы является разработка метода координации, под которой понимается процесс принятия правильного решения по распределению ресурсов и синхронизации процессов управления технологическими линиями для достижения общих целей производства. Показано, что решение задачи координации распределения ресурсов и синхронизации работ предприятия с использованием генетических алгоритмов дает лучшее приближение к оптимальному значению при меньшем количестве итераций по сравнению с методом случайного поиска. Это позволяет получить выигрыш во времени принятия решений и тем самым сократить простои оборудования. Предложенная модель координации деятельности молочного завода на базе генетического алгоритма оптимизации может быть адаптирована для других технологических процессов, требующих взаимосвязанных распределения ресурсов и синхронизации [64].

В работе [65] обобщены полученные другими исследователями результаты и предложены модели и методы распределения ресурсов в предприятиях пищевой промышленности с использованием как системного, так и теоретико-игрового подходов. Отмечается, что решение ресурсных задач связано с двумя основными аспектами: проблемой выбора и проблемой распределения ресурсов, в рамках которых происходит назначение каждому элементу организационно-технической системы определенных видов и объемов конкретных ресурсов.

В работе [66] приведены различные варианты организационной структуры системы управления цепочками поставок логистической системы. На примере трехуровневой системы рассмотрена структура модели координации организационного управления при наличии на различных уровнях иерархии различных типов провайдеров. Развивая положения данной работы в статье [23] рассмотрена структура модели координации трехуровневой организационной системы управления цепочками поставок. Выделены основные задачи, которые решаются на каждом уровне управления и введены управляющие переменные, используемые на соответствующих уровнях иерархии.

В работах [67-69] исследован процесс формирования цепи поставок услуг, представляющий собой аналитическое описание ресурсов туристского обслуживания, основанный на систематизации знаний об управленческих воздействиях на основные потоки в туризме, что позволило сформировать методологическую основу исследования и моделирования потоковых процессов логистических систем туристского обслуживания. Кроме того, разработана методология моделирования цепи поставок услуг, представляющая собой классификацию моделей, методов, концепций и алгоритмов управления потоковыми процессами в туризме и отличающаяся использованием предложенной типологии задач совершенствования туристского обслуживания, что способствует формированию механизма управления ресурсными (туристскими) потоками и оптимизации логистических операций. Предложен

методический подход к управлению цепями поставок услуг, в рамках которого разработан комплекс моделей потоковых процессов туристского обслуживания, отличающийся многокритериальностью экономико-математических задач управления туристскими и сервисными потоками и способствующий повышению эффективности логистической системы. Логическим обобщением разработанных моделей является обобщенный алгорит управления основными потоками логистической системы туристского обслуживания, на основе которого осуществляется выбор расчетной модели, варианта системы, адекватной решаемой задаче, и метода ее решения [67-69].

В работе [16] рассмотрена система гражданской защиты населения как класс иерархических многоуровневых систем. Предложена ее структура, выделены три уровня управления системы. Каждый уровень, в свою очередь, имеет: координирующие органы управления, постоянно действующие органы управления и органы повседневного управления. Таким образом, задачи координации в подобной системе сведены к решению задачи векторной оптимизации по Парето с учетом вектора критериев и вектора ограничений. Кроме того, в работе [41] выявлены особенности координационного управления системой гражданской защиты. Показано, что такая система является слабоструктурированной иерархической сложной динамической системой, а потому задача координации в ней является трудноразрешимой. Предложено свести эту задачу координации к задаче поддержки целенаправленного кооперативного принятия решений. Рассмотренные особенности задачи координации позволяют сформулировать подзадачи координации решений и координации действий, а также выделить явную и неявную формы координации. Проведенная четырехуровневая декомпозиция структуры управления в системе гражданской защиты населения реализована в виде многоагентной модели с нормативным регулятором. Предложенные принципы координации позволили задействовать разработанные механизмы согласования и синхронизации целей, планов и действий органов управления различного уровня иерархии. На основе этой модели предложен механизм неявной координации, который может быть реализован посредством совместного поиска решений агентами, а явная координация – посредством механизма согласования планов агентов. Подзадачу координации решений предложено решать в процессе планирования активности агентов, а подзадачу координации действий – в процессе выполнения планов, динамически корректируя их под воздействием внешних возмущений. Реализация предложенных механизмов для решения подзадач координации решений и действий в явной и неявной формах позволяет получить искомое решение задачи координации сил и средств в иерархической системе гражданской защиты населения [41].

В работе [30] представлены результаты разработки методов и средств математического и компьютерного моделирования многоуровневых сетецентрических систем управления региональной безопасностью в рамках создания единой межведомственной многоуровневой автоматизированной системы мониторинга социально-экономической безопасности арктических регионов России. Отличительными особенностями сетецентрических систем

являются открытость, самоорганизация, децентрализация функций управления и принятия решений, слабая иерархия в контуре принятия решений и способность порождать цели внутри себя. В работе решаются задачи согласования и координации локальных решений сетецентрического управления в многоуровневых распределенных системах информационного обеспечения безопасности. Предложены подход к решению и формализация задач координации в многоуровневых сетецентрических системах управления, основанные на разработанной многоуровневой рекуррентной иерархической модели безопасности социально-экономических систем. Модель обеспечивает координацию показателей безопасности, оптимизируемых различными элементами многоуровневых систем управления, в условиях децентрализованного принятия решений. Специфика модели заключается в использовании функционально-целевой технологии и математического аппарата теории иерархических многоуровневых систем для реализации процедур согласования локальных решений сетецентрического управления. Результаты работы [30] смогут найти приложение как в задачах координации процессов принятия управленческих решений в многоуровневых сетецентрических системах управления, используемых в различных предметных областях, так и в задачах анализа и синтеза интегрального показателя комплексной безопасности социально-экономических систем.

В статьях [70, 71] исследована возможность оперативного управления процессом уничтожения химического оружия. В работе рассмотрена автоматизированная система управления технологическими процессами, которая позволяет повысить эффективность работы комплексов уничтожения химического оружия в штатном режиме функционирования. Задача оперативного управления производственным комплексом ставится в виде задачи линейного программирования. Целевая функция данной задачи – это линейная функция, которая определяет максимально возможные массы отравляющих веществ. Области допустимых значений режимных параметров технологических операций (уравнения баланса ёмкости, допустимые отклонения материальных потоков, диапазоны нагрузок) определяют область ограничений для целевой функции. Структура разработанной системы управления является двухуровневой. Нижний уровень системы управления предназначен для контроля и управления отдельными узлами с помощью программируемых контроллеров и реализует следующие функции [70]:

1) сбор и предварительную обработку информации о ходе и параметрах технологических процессов;
2) контроль отклонения параметров от технологических норм;
3) автоматическое регулирование технологических параметров;
4) логическое управление узлами и агрегатами;
5) противоаварийную автоматическую защиту и технологические блокировки;
6) тревожную сигнализацию при возникновении аварийных ситуаций;
7) передачу информации на верхний уровень.

Верхний уровень обеспечивает:

1) сбор и обработку полученной с нижних уровней информации;
2) координацию работы узлов и агрегатов технологических стадий;
3) управление работой программируемых контроллеров;
4) анализ аварийных ситуаций и нарушений в ходе технологических процессов с выдачей оператору-технологу рекомендаций по их устранению;
5) представление оператору полной информации о ходе технологических процессов;
6) регистрацию технологических параметров и их отклонений от регламентных норм;
7) учет технологического и вентиляционного оборудования;
8) архивирование данных по технологическому процессу и работе комплекса технических средств;
9) выдачу технологических рапортов;
10) контроль работоспособности и диагностику состояния технических средств управления.

Задача линейного программирования решена в условиях, когда каждая из последовательных технологических стадий локально оптимизирована. В работе представлен алгоритм координации работы стадий с учетом того обстоятельства, что процесс уничтожения химического оружия носит циклический характер.

Заключение

Таким образом, научно-методический аппарат теории координации нашел широкое применение в различных областях исследований и позволяет эффективно решать задачи управления в многоуровневых иерархических системах. Вместе с тем, в настоящее время недостаточно глубоко разработаны вопросы координации в системах военного управления, в частности, в области организации взаимодействия средств наблюдения и воздействия. Описанные в представленных работах модели координации в многоуровневых системах могут быть использованы при распределении общего ограниченного ресурса (объектов военной инфраструктуры противостоящей стороны) между "своими" подсистемами наблюдения и воздействия – элементами низшего уровня в интересах достижения целей элемента высшего уровня – командования (штаба). Например, если в качестве средств наблюдения и воздействия рассматриваются средства радиомониторинга и радиоподавления, то объектами военной инфраструктуры противостоящей стороны будут являться ее излучающие радиоэлектронные средства, а целью координации – обеспечение информационного превосходства над ней. Таким образом, разработка моделей и методов координации в системах военного управления в интересах достижения информационного превосходства над противником является актуальной научной проблемой, в рамках решения которой автор проводит свои исследования.

Литература

1. Бучакова М. А. Координация в управлении: теоретические подходы // Научный вестник Омской академии МВД России. 2009. № 2. С. 3-7.

2. Бахрах Д. Н., Россинский Б. В., Старилов Ю. Н. Административное право. – М. Норма, 2008. – 800 с.

3. Лехин И. В., Петров Ф. Н. Словарь иностранных слов. – М.: Издательство иностранных и национальных словарей, 1955. – 854 с.

4. Ожегов С. И. Словарь русского языка. – М.: Госиздательство иностранных и национальных словарей, 1963. – 900 с.

5. Файоль А. Общее и промышленное управление – М.: Контроллинг, 1992. – 63 с.

6. Моррисей Дж. Целевое управление организацией. – М.: Советское радио, 1979. – 144 с.

7. Семененко И. М., Галгаш Р. А. Управление предприятием: целеполагание и координация // Организатор производства. 2013. № 1 (56). С. 41-44.

8. Погостинская Н. Н. Координация, контроль, предвидение, адаптация в системе стратегического управления. – СПб.: Издательство МБИ, 2008. – 382 с.

9. Краткий психологический словарь-хрестоматия / Под ред. К.К. Платонова. – М.: Высшая школа, 1974. – 134 с.

10. Парахина В. Н., Ушвицкий Л. И. Основы теории управления. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 560 с.

11. Гапоненко А. Л., Панкрухина А. П. Теория управления. – М.: РАГС, 2003. – 558 с.

12. Фатхутдинов Р. А. Стратегический менеджмент. – М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 1998. – 416 с.

13. Казанцева А. К. Общий менеджмент. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 252 с.

14. Угаров П. А. Координация в иерархических гибридных системах управления с использованием поведенческих абстракций // Известия Челябинского научного центра Уральского отделения Российской академии наук. 2004. № 1 (22). С. 186-191.

15. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

16. Ляшенко Е. Н., Кирийчук Д. Л. Постановка задачи координации в системе гражданской защиты населения от чрезвычайных ситуаций регионального уровня управления // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. 2015. № 1 (12). С. 263-269.

17. Рудашевский В. Д. Координационное управление – резерв перестройки. – М.: Экономика, 1990. – 254 с.

18. Клебанова Т. С. Молдавская Е. В., Чанг Хогван. Х. Модели и методы координации в крупномасштабных экономических системах. – М.: Бизнес Информ, 2002. – 148 с.

19. Алиев Р. А., Либерзон М. И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с.

20. Алтунин А. Е., Семухин М. В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.

21. Ходаков В. Е., Соколова Н. А., Кирийчук Д. Л. О развитии основ теории координации сложных систем // Проблемы информационных технологий. 2014. № 2 (16). С. 12-21.

22. Кабальнов Ю. С., Кузнецов И. В., Смирнова Е. А. Анализ статической точности систем координированного управления // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2009. № 2 (35). С. 126-131.

23. Куценко А. С., Годлевский И. М. Структура модели координации организационного управления территориально распределенными логистическими системами дистрибьюции // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 2015. № 58. С. 82-85.

24. Булатова А. С. Мировая экономика. – М.: Экономистъ, 2003. – 734 с.

25. Цвиркун А. Д. Оптимизация развития структур крупномасштабных систем (на примере энергетических систем). – М.: АН СССР. Институт проблем управления, 1987. – 52 с.

26. Росс С. И. Математическое моделирование и исследование национальной экономики. – СПб.: Издательство СПб ГУ ИТМО, 2006. – 74 с.

27. Годлевский М. Д. Управление развитием иерархических распределенных систем (на примере транспорта) // Проблемы управления и информатики. 1995. № 5. С. 99-115.

28. Михалевич В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 286 с.

29. Новосельцев В. И., Тарасов А. Б. Базовые модели управления и координации в социально-экономических системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 1. С. 4-9.

30. Маслобоев А. В., Путилов В. А., Сютин А. В. Координация в многоуровневых сетецентрических системах управления региональной безопасностью: подход и формальная модель // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 1. С. 130-138.

31. Fridman A., Fridman O. Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems // Systems Research Forum. 2010. Т. 4. № 2. pp. 121-136.

32. Городецкий В. И. Самоорганизация и многоагентные системы. Часть 1. Модели многоагентной самоорганизации // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2012. № 2. С. 92-120.

33. Запорожцев В. В., Новосельцев В. И., Струков А. Ю. Нечеткая параметрическая координация в многоуровневой иерархической системе // Системы управления и информационные технологии. 2012. Т. 50. № 4.1. С. 142-145.

34. Кузьмин И. А., Путилов В. А., Фильчаков В. В. Распределенная обработка информации в научных исследованиях. – Л.: Наука, 1991. – 304 с.

35. Stoilov T., Stoilova K. Goal and Predictive Coordination in Two Level Hierarchical Systems // International Journal of General Systems. 2008. Т. 37. № 2. pp. 181-213.

36. Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Рефлексивные игры. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 160 с.

37. Юдицкий С. А., Владиславлев П. Н., Точ Д. С. Триадный подход к моделированию систем сетецентрического управления // Управление большими системами. 2010. № 28. С. 24-39.

38. Фридман А. Я. Условия координируемости двухуровневого коллектива динамических интеллектуальных систем // Материалы 11 национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008. – М.: ЛЕНАНД, 2008. С. 25-31.

39. Фридман О. В., Фридман А. Я. Координация управлений в сложных системах с помощью нейронных сетей // Вестник Кольского научного центра РАН. 2013. № 1 (12). С. 73-79.

40. Кабальнов Ю. С., Кузнецов И. В., Маргамов А. В. Структурные методы динамической координации процессов при управлении многосвязными объектами // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2007. № 7 (25). С. 3-11.

41. Ляшенко Е. Н., Шерстюк В. Г. Разработка модели координации сил и средств в иерархической системе гражданской защиты населения // Технологический аудит и резервы производства. 2015. № 4 (24). С. 4-10.

42. Смирнова Е. А. Анализ и синтез систем координированного управления динамическими объектами по показателям качества сепаратных подсистем. Диссертация … канд. техн. наук – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет. 2010. – 181 с.

43. Кабальнов Ю. С., Маргамов А. В., Смирнова Е. А. Исследование устойчивости систем координированного управления // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2009. № 1 (30). С. 46-52.

44. Угаров П. А. Синтез двухуровневых дискретно-непрерывных систем управления с гарантированным качеством. Диссертация … канд. техн. наук – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет. 2005. – 147 с.

45. Козлова Е. В. Улучшение координации и развитие управления предприятием: инструменты и методические приемы // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2015. № 5 (59). С. 95-99.

46. Барбасова Т. А., Захарова А. А. Автоматизированная система энергетического менеджмента промышленного предприятия // Электротехнические комплексы и системы управления. 2013. № 2. С. 23-27.

47. Кудрин Б. И., Буторин В. К., Авдеев В. А. Принципы и методика автоматизированного расчета координации производства и межцехового

взаиморасчета для цехов, комплекса сталь-прокат металлургических предприятий. – Томск: Издательство Томского университета, 1993. – 64 с.

48. Буторин В. К., Головко И. М., Парпаров Я. Г. Технико- экономические оценки координации работы комплекса сталь-прокат // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1990. № 6. С. 110-111.

49. Буторин В. К. Алгоритмы координации в автоматизированных системах оперативного управления цехами комплекса сталь-прокат. Диссертация … докт. техн. наук – Томск: Управление автоматизированных систем и информационных технологий АО "Кузнецкий металлургический комбинат". 2005. – 35 с.

50. Кудрин Б. И., Лебедев В. И., Буторин В. К. Критерий максимальной координации при рационализации технологии в комплексе сталь-прокат // Сталь. 1995. № 7. С. 72-74.

51. Ембулаев В. Н. Научно-методические основы управления транспортной системой крупного города. Диссертация … докт. экон. наук – Владивосток: Владивостокский государственный университет экономики и сервиса. 2004. – 250 с.

52. Ембулаев В. Н. Модели, методы и алгоритмы расчета маршрутных корреспонденций пассажиропотоков по данным входа-выхода // Автоматика и телемеханика. 1995. № 10. С. 78-85.

53. Ембулаев В. Н. Координация в управлении транспортной системой крупного города // Новые информационные технологии и совершенствование учебных планов профессионального образования: Сборник материалов региональной межвузовской научно-практической конференции. – Владивосток: ВГУЭС, 2000. – С. 52-53.

54. Артынов А., Ембулаев В., Пупышев А., Скалецкий В. Автоматизация управления транспортными системами. – М.: Наука, 1984. – 272 с.

55. Ембулаев В. Н. Теоретические основы и методы управления транспортной системой крупного города. Монография. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – 212 с.

56. Корягин М. Е. Оптимизация управления городскими пассажирскими перевозками на основе конфликтно-устойчивых решений. Диссертация … докт. техн. наук – Новокузнецк: Кузбасский государственный технический университет. 2011. – 345 с.

57. Корягин М. Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. – Новосибирск: Наука, 2011. – 140 с.

58. Ембулаев В. Н., Тонких А. И., Математическое описание задачи управления в угольной промышленности // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2011. № 2 (21). С. 129-138.

59. Ембулаев В. Н., Тонких А. И. Совершенствование управления предприятиями угольной промышленности в целях повышения конкурентоспособности: Монография. – Владивосток: Дальнаука, 2010.

60. Тагирова К. Ф. Повышение эффективности добычи нефти на основе координации управления технологическими процессами и объектами // Вестник

Уфимского государственного авиационного технического университета. 2008. № 2 (27). С. 48-52.

61. Новицкий В. О. Модели и методы оптимального управления производством для зерновых и зерноперерабатывающих компаний. Диссертация … докт. техн. наук. – М: Московский государственный университет пищевых производств. 2010. – 450 с.

62. Новицкий В. О., Новицкий О. А. Опыт создания отраслевых автоматизированных систем управления предприятием хранения и переработки зерна // Хранение и переработка зерна. 2000. № 8. С. 53-56.

63. Новицкий В. О., Новицкий О. А., Ефимова Т. А. АИС в управлении комбинатом хлебопродуктов // Хлебопродукты. 2000. № 6. С. 8-11.

64. Байас М. М., Дубовой В. М. Координация решений о распределении ресурсов на основе генетического алгоритма // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2014. № 2. С. 4-12.

65. Величко С. В., Мистров Л. Е., Сербулов Ю. С. Методологические основы синтеза решений по управлению экологическими конфликтами. – Воронеж: Научная книга, 2008. – 386 с.

66. Годлевский М. Д., Станкевич А. А. Классификация иерархических систем управления и координации бизнес-процессов цепочек поставок // Вісник НТУ «ХПІ». 2010. № 9. С. 18-23.

67. Одинцова Т. Н. Методологические основы управления логистической системой туристского обслуживания. Автореферат диссертации … докт. экон. наук. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет. 2011. – 42 с.

68. Одинцова Т. Н. Концептуальные основы разработки логистической стратегии для регионального туризма // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 42. С. 197-205.

69. Одинцова Т. Н. Логистические технологии в туризме: кластерный подход // Вестник экономической интеграции. 2009. № 3. С. 102-109.

70. Стукалова Н. А., Матвеев Ю. Н., Долженко А. Б. Автоматизированная система управления технологическими процессами уничтожения химического оружия // Интернет-журнал Науковедение. 2014. № 4 (23). С. 1-12.

71. Матвеев Ю. Н., Стукалова Н. А Автоматизированная система управления технологическими процессами уничтожения химического оружия // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сборник статей XIV Международной научно-технической конференции.– Пенза: МНИЦ ГСХА, 2010. С. 88-91.

References

1. Buchakova M. A. Koordinatsiia v upravlenii: teoreticheskie podkhody [Co-ordination in the Management. Theoretical Approaches]. *Nauchnyi vestnik Omskoi akademii MVD Rossii*, 2009, no. 2, pp. 3-7 (in Russian).

2. Bakhrakh D. N., Rossinskii B. V., Starilov Iu. N. *Administrativnoe pravo* [Administrative Law]. Moscow, Norma Publ., 2008. 800 p. (in Russian).

3. Lekhin I. V., Petrov F. N. *Slovar' inostrannykh slov* [Dictionary of Foreign Words]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannykh i natsional'nykh slovarei Publ., 1955. 854 p. (in Russian).

4. Ozhegov S. I. *Slovar' russkogo iazyka* [Russian Dictionary]. Moscow, Gosizdatel'stvo inostrannykh i natsional'nykh slovarei Publ., 1963. 900 p. (in Russian).

5. Fayol H. *Administration Industrielle et Générale*, 1916. 64 p. (in French).

6. Morrisei Dzh. *Tselevoe upravlenie organizatsiei* [Trust Management]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1979. 144 p. (in Russian).

7. Semenenko I. M., Galgash R. A. Upravlenie predpriiatiem: tselepolaganie i koordinatsiia [Enterprise Management: Goal-setting and Coordination]. *Organizator proizvodstva*, 2013, vol. 56, no. 1, pp. 41-44 (in Russian).

8. Pogostinskaia N. N. *Koordinatsiia, kontrol', predvidenie, adaptatsiia v sisteme strategicheskogo upravleniia* [Coordination, Control, Foresight, Adaptation in the Strategic Management System]. Saint-Petersburg, Izdatel'stvo MBI Publ., 2008. 382 p. (in Russian).

9. Platonov K. K. *Kratkii psikhologicheskii slovar'-khrestomatiia* [Short Psychological Dictionary-reader]. Moscow, Vysshaia shkola Publ., 1974. 134 p. (in Russian).

10. Parakhina V. N., Ushvitskii L. I. *Osnovy teorii upravleniia* [Fundamentals of Control Theory]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2003. 560 p. (in Russian).

11. Gaponenko A. L., Pankrukhina A. P. *Teoriia upravleniia* [Control Theory]. Moscow, RAGS Publ., 2003. 558 p. (in Russian).

12. Fatkhutdinov R. A. *Strategicheskii menedzhment* [Strategic Management]. Moscow, ZAO «Biznes-shkola «Intel-Sintez» Publ., 1998. 416 p. (in Russian).

13. Kazantseva A. K. *Obshchii menedzhment* [General Management]. Moscow, INFRA-M Publ., 1999. 252 p. (in Russian).

14. Ugarov P. A. Koordinatsiia v ierarkhicheskikh gibridnykh sistemakh upravleniia s ispol'zovaniem povedencheskikh abstraktsii [Coordination of hierarchical hybrid control systems using behavioral abstractions]. *Izvestiia Cheliabinskogo nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk*, 2004, vol. 22, no. 1, pp. 186-191 (in Russian).

15. Mesarovic M. D., Macko D., Takahara Y. *Theory of multilevel hierarchical systems*. New York, Academic. 1970.

16. Liashenko E. N., Kiriichuk D. L. Postanovka zadachi koordinatsii v sisteme grazhdanskoi zashchity naseleniia ot chrezvychainykh situatsii regional'nogo urovnia upravleniia [Statement of Coordination Tasks in the System of Civil Protection of the Population from Emergency Situations of a Regional Government Level]. *Naukovii visnik Khersons'koï derzhavnoï mors'koï akademiï*, 2015, vol. 12, no. 1, pp. 263-269 (in Russian).

17. Rudashevskii V. D. *Koordinatsionnoe upravlenie – rezerv perestroiki* [Coordination Office is the Restructuring Reserve]. Moscow, Ekonomika Publ., 1990. 254 p. (in Russian).

18. Klebanova T. S. Moldavskaia E. V., Chang Khogvan. Kh. *Modeli i metody koordinatsii v krupnomasshtabnykh ekonomicheskikh sistemakh* [Models and

Methods for the Coordination of Large-scale Economic Systems]. Moscow, Biznes Inform Publ., 2002. 148 p. (in Russian).

19. Aliev R. A., Liberzon M. I. *Metody i algoritmy koordinatsii v promyshlennykh sistemakh upravleniia* [Methods and Coordination Algorithms in Industrial Control Systems]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1987. 208 p. (in Russian).

20. Altunin A. E., Semukhin M. V. *Modeli i algoritmy priniatiia reshenii v nechetkikh usloviiakh* [Models and Algorithms of Decision-making in Fuzzy Environment]. Tyumen, Tyumen State University Publ., 2000. 352 p. (in Russian).

21. Khodakov V. E., Sokolova N. A., Kiriichuk D. L. O razvitii osnov teorii koordinatsii slozhnykh sistem [On the Development of the Foundations of the Theory of Coordination of Complex Systems]. *Problemy informatsionnykh tekhnologii*, 2014, vol. 16, no. 2, pp. 12-21 (in Russian).

22. Kabal'nov Iu. S., Kuznetsov I. V., Smirnova E. A. Analiz staticheskoi tochnosti sistem koordinirovannogo upravleniia [Analysis of Static Accuracy of Coordinated Control Systems]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 35,no. 2, pp. 126-131 (in Russian).

23. Kutsenko A. S., Godlevskii I. M. Struktura modeli koordinatsii organizatsionnogo upravleniia territorial'no raspredelennymi logisticheskimi sistemami distrib'iutsii [The Structure of Organizational Management Coordination Model Geographically Dispersed Logistics Distribution Systems]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu "KhPI". Seriia: Sistemnii analiz, upravlinnia ta informatsiini tekhnologiï*, 2015, no. 58, pp. 82-85 (in Russian).

24. Bulatova A. S. *Mirovaia ekonomika* [World Economy]. Moscow, Ekonomist" Publ., 2003. 734 p. (in Russian).

25. Tsvirkun A. D. *Optimizatsiia razvitiia struktur krupnomasshtabnykh sistem (na primere energeticheskikh sistem)* [Optimization of Large-Scale Systems of Structures (on Example of Energy Systems)]. Moscow, Academy of sciences of the USSR. Institute of control problems Publ., 1987. 52 p. (in Russian).

26. Ross S. I. *Matematicheskoe modelirovanie i issledovanie natsional'noi ekonomiki* [Mathematical Modeling and Study of the National Economy]. Saint-Petersburg, ITMO University Publ, 2006. 74 p. (in Russian).

27. Godlevskii M. D. Managing the Development of Hierarchical Distributed Systems (in the Example of Transport). *Journal of Automation and Information Sciences*, 1995, no. 5, pp. 99-115 (in Russian).

28. Mikhalevich V. S. *Vychislitel'nye metody issledovaniia i proektirovaniia slozhnykh sistem* [Computational Methods of Research and Design of Complex Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 286 p. (in Russian).

29. Novosel'tsev V. I., Tarasov A. B. Bazovye modeli upravleniia i koordinatsii v sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh [The Basic Model of Management and Coordination of Socio-economic Systems]. *Modelirovanie, optimizatsiia i informatsionnye tekhnologii*, 2013, no. 1, pp. 4-9 (in Russian).

30. Masloboev A. V., Putilov V. A., Siutin A. V. Koordinatsiia v mnogourovnevykh setetsentricheskikh sistemakh upravleniia regional'noi bezopasnost'iu: podkhod i formal'naia model' [Coordination of Multi-level Network-Centric Regional Safety Management Systems. An Approach and a Formal Model].

Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 130-138 (in Russian).

31. Fridman A., Fridman O. Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems. *Systems Research Forum*, 2010, vol. 4, no. 2, pp. 121-136.

32. Gorodetskii V. I. Self-organization and Multi-agent Systems. Part 1. Models of Multi-agent Self. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2012, no. 2, pp. 92-120 (in Russian).

33. Zaporozhtsev V. V., Novosel'tsev V. I., Strukov A. Iu. Fuzzy Parametric Coordination in a Multi-level Hierarchical System. *Automation and Remote Control*, 2012, vol. 50, no. 4.1, pp. 142-145 (in Russian).

34. Kuz'min I. A., Putilov V. A., Fil'chakov V. V. *Raspredelennaia obrabotka informatsii v nauchnykh issledovaniiakh* [Distributed Processing of Information in Scientific Research]. Leningrad, Nauka Publ, 1991. 304 p. (in Russian).

35. Stoilov T., Stoilova K. Goal and Predictive Coordination in Two Level Hierarchical Systems . *International Journal of General Systems*, 2008, vol. 37, no. 2, pp. 181-213.

36. Novikov D. A., Chkhartishvili A. G. *Refleksivnye igry* [Reflexive Games]. Moscow, SINTEG Publ., 2003. 149 p. (in Russian).

37. Iuditskii S. A., Vladislavlev P. N., Toch D. S. Triadnyi podkhod k modelirovaniiu sistem setetsentricheskogo upravleniia [Triadic approach to Modeling Network-centric Management Systems]. *Upravlenie bol'shimi sistemami*, 2010, no. 28, pp. 24-39 (in Russian).

38. Fridman A. Ia. Terms Coordinated Two-Level Team of Dynamic Intelligent Systems. *Materialy 11 natsional'noi konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2008* [Materials of 11 National Conference on Artificial Intelligence with international participation]. Moscow, LENAND, 2008, pp. 25-31 (in Russian).

39. Fridman O. V., Fridman A. Ia. Koordinatsiia upravlenii v slozhnykh sistemakh s pomoshch'iu neironnykh setei [Coordination Offices in the Complex Systems Using Neural Networks]. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 73-79 (in Russian).

40. Kabal'nov Iu. S., Kuznetsov I. V., Margamov A. V. Strukturnye metody dinamicheskoi koordinatsii protsessov pri upravlenii mnogosviaznymi ob"ektami [Structural Dynamic Coordination Process Methods in the Management of Multiply Connected Objects]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2007, vol. 25, no. 7, pp. 3-11 (in Russian).

41. Liashenko E. N., Sherstiuk V. G. Razrabotka modeli koordinatsii sil i sredstv v ierarkhicheskoi sisteme grazhdanskoi zashchity naseleniia [Developing a Model of Coordination of Forces and Resources in a Hierarchical System of Civil Protection of the Population]. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva*, 2015, vol. 24, no. 4, pp. 4-10 (in Russian).

42. Smirnova E. A. *Analiz i sintez sistem koordinirovannogo upravleniia dinamicheskimi ob"ektami po pokazateliam kachestva separatnykh podsistem dissertatsiia*. Dis. kand. tekhn. nauk [Analysis and Synthesis of Coordinated Control

Systems of Dynamic Objects in Terms of the Quality of Separate Subsystems. Ph.D. Tesis]. Ufa, Ufa State Aviation Technical University, 2010. 181 p. (in Russian).

43. Kabal'nov Iu. S., Margamov A. V., Smirnova E. A. Issledovanie ustoichivosti sistem koordinirovannogo upravleniia [Investigation of Stability of a Co-ordinated Control Systems]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 30, no. 1, pp. 46-52 (in Russian).

44. Ugarov P. A. *Sintez dvukhurovnevykh diskretno-nepreryvnykh sistem upravleniia s garantirovannym kachestvom*. Dis. kand. tekhn. nauk [Synthesis of Two-level Discrete-continuous Control Systems with Guaranteed Quality. Ph.D. Tesis]. Cheliabinsk, South Ural State University, 2005. 147 p. (in Russian).

45. Kozlova E. V. Uluchshenie koordinatsii i razvitie upravleniia predpriiatiem: instrumenty i metodicheskie priemy [Improved Coordination and Management of the Enterprise Development. Tools and Teaching Methods]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta*, 2015, vol. 59, no. 5, pp. 95-99 (in Russian).

46. Barbasova T. A., Zakharova A. A. Avtomatizirovannaia sistema energeticheskogo menedzhmenta promyshlennogo predpriiatiia [The Automated System of Energy Management of an Industrial Enterprise]. *Elektrotekhnicheskie kompleksy i sistemy upravleniia*, 2013, no. 2, pp. 23-27 (in Russian).

47. Kudrin B. I., Butorin V. K., Avdeev V. A. *Printsipy i metodika avtomatizirovannogo rascheta koordinatsii proizvodstva i mezhtsekhovogo vzaimorascheta dlia tsekhov, kompleksa stal'-prokat metallurgicheskikh predpriiatii* [The Principles and Methods of Computer-aided Calculation of Production and Coordination of Interdepartmental Mutual Settlement for Shops, Complex Steel-rolled Steel Plants]. Tomsk: Tomsk State University, 1993. 64 p. (in Russian).

48. Butorin V. K., Golovko I. M., Parparov Ia. G. Technical and Economic Evaluation of the Coordination of the Complex-rolled Steel. *Steel in Translation*, 1990, no. 6, pp. 110-111 (in Russian).

49. Butorin V. K. Algoritmy koordinatsii v avtomatizirovannykh sistemakh operativnogo upravleniia tsekhami kompleksa stal'-prokat. Diss. dokt. tekhn. nauk [Algorithms for Automated Coordination of Operational Management Workshops Complex-rolled Steel. D. SC. Thesis]. Tomsk, Management of automated systems and information technologies of JSC "Kuznetsk Metallurgical Plant", 2005. 35 p. (in Russian).

50. Kudrin B. I., Lebedev V. I., Butorin V. K. The Criterion of Maximum Coordination with the Rationalization of Technology in Steel-rolling Complex. *Steel in Translation*, 1995, no. 7, pp 72-74 (in Russian).

51. Embulaev V. N. *Nauchno-metodicheskie osnovy upravleniia transportnoi sistemoi krupnogo goroda*. Diss. dokt. ekon. nauk [Scientifically-methodical Bases of Management of the Transport System of a Large City. D. Sc. Thesis]. Vladivostok, Vladivostok State University of Economics and Service, 2004. 250 p. (in Russian).

52. Embulaev V. N. Models, Methods and Algorithms for Calculating Passenger Traffic Routing Correspondences According to the Input-output. *Automation and Remote Control*, 1995, no. 10, pp. 78-85 (in Russian).

53. Embulaev V. N. Co-ordination in the Management of the Transport System of a Large City. *Novye informatsionnye tekhnologii i sovershenstvovanie uchebnykh planov professional'nogo obrazovaniia. Sbornik materialov regional'noi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [New information technologies and the improvement of vocational education training plans. The materials of regional interuniversity scientifically-practical conference]. Vladivostok, Vladivostok State University of Economics and Service, 2000, pp. 52-53 (in Russian).

54. Artynov A., Embulaev V., Pupyshev A., Skaletskii V. Avtomatizatsiia upravleniia transportnymi sistemami [Automating Management of Transport Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 272 p. (in Russian).

55. Embulaev V. N. *Teoreticheskie osnovy i metody upravleniia transportnoi sistemoi krupnogo goroda. Monografiia* [Theoretical Bases and Methods of Management of the Transport System of a Large City. Monography]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2004. 212 p. (in Russian).

56. Koriagin M. E. *Optimizatsiia upravleniia gorodskimi passazhirskimi perevozkami na osnove konfliktno-ustoichivykh reshenii. Dissertatsiia dokt. tekhn. nauk* [Optimization of Management of Urban Passenger Transport on the Basis of Conflict-sustainable Solutions. Dr. habil. Tesis]. Novokuznetsk, Kuzbass State Technical University, 2011. 345 p. (in Russian).

57. Koriagin M. E. *Ravnovesnye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviiakh konflikta interesov* [The Equilibrium Model of Urban Passenger Transport in Terms of Conflict Of Interest]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2011. 140 p. (in Russian).

58. Embulaev V. N., Tonkikh A. I., Matematicheskoe opisanie zadachi upravleniia v ugol'noi promyshlennosti [The Mathematical Description of Control Problems in the Coal Industry]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, vol. 21, no. 2, pp. 129-138 (in Russian).

59. Embulaev V. N., Tonkikh A. I. *Sovershenstvovanie upravleniia predpriiatiiami ugol'noi promyshlennosti v tseliakh povysheniia konkurentosposobnosti. Monografiia* [Improving the Management of the Enterprises of the Coal Industry in Order to Improve Competitiveness. Monography]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2010 (in Russian).

60. Tagirova K. F. Povyshenie effektivnosti dobychi nefti na osnove koordinatsii upravleniia tekhnologicheskimi protsessami i ob"ektami [Improving the Efficiency of Oil Production on the Basis of Technological Processes and Facilities Management Coordination]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, vol. 27, no. 2, pp. 48-52 (in Russian).

61. Novitskii V. O. *Modeli i metody optimal'nogo upravleniia proizvodstvom dlia zernovykh i zernopererabatyvaiushchikh kompanii*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Models and Methods of Optimal Production Management for Grain and Grain Processing Companies. D. Sc. Thesis] Moscow, Moscow State University of Food Production, 2010. 450 p (in Russian).

62. Novitskii V. O., Novitskii O. A. Opyt sozdaniia otraslevykh avtomatizirovannykh sistem upravleniia predpriiatiem khraneniia i pererabotki zerna [Experience of Industrial Automation Control Systems, Enterprise Storage and

Processing of Grain]. *Khranenie i pererabotka zerna*, 2000, no. 8, pp. 53-56 (in Russian).

63. Novitskii V. O., Novitskii O. A., Efimova T. A. AIS v upravlenii kombinatom khleboproduktov [AIS in the Management of the Combine Bread]. *Khleboprodukty*, 2000, no. 6, pp. 8-11 (in Russian).

64. Baias M. M., Dubovoi V. M. Koordinatsiia reshenii o raspredelenii resursov na osnove geneticheskogo algoritma [Coordination of Resource Allocation Decisions Based on Genetic Algorithm]. *Informatsiini tekhnologiï ta komp'iuterna inzheneriia*, 2014, no. 2, pp. 4-12 (in Russian).

65. Velichko S. V., Mistrov L. E., Serbulov Ju. S. *Metodologicheskie osnovy sinteza reshenii po upravleniiu ekologicheskimi konfliktami* [Methodological Bases of Synthesis of Solutions for Managing Environmental Conflicts]. Voronezh, Nauchnaia Kniga Publ., 2008. 386 p. (in Russian).

66. Godlevskii M. D., Stankevich A. A. Klassifikatsiia ierarkhicheskikh sistem upravleniia i koordinatsii biznes-protsessov tsepochek postavok [The Classification of Hierarchical Control Systems and Coordination of Business Processes, Supply Chains]. *Visnik NTU «KhPI»*, 2010, no. 9, pp. 18-23 (in Russian).

67. Odintsova T. N. *Metodologicheskie osnovy upravleniia logisticheskoi sistemoi turistskogo obsluzhivaniia*. Diss. dokt. ekon. nauk [Methodological Bases of Management of Tourist Service Logistics System. Extended Abstract of D.Sc. Thesis]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Engineering and Economic University, 2011. 42 p. (in Russian).

68. Odintsova T. N. Kontseptual'nye osnovy razrabotki logisticheskoi strategii dlia regional'nogo turizma [Conceptual Bases of Development of the Logistics Strategy for Regional Tourism]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, no. 42, pp. 197-205 (in Russian).

69. Odintsova T. N. Logisticheskie tekhnologii v turizme: klasternyi podkhod [Logistics Technologies in Tourism. The Cluster Approach]. *Vestnik ekonomicheskoi integratsii*, 2009, no. 3, pp. 102-109 (in Russian).

70. Stukalova N. A., Matveev Iu. N., Dolzhenko A. B. Avtomatizirovannaia sistema upravleniia tekhnologicheskimi protsessami unichtozheniia khimicheskogo oruzhiia [Automated Process for Destruction of Chemical Weapons Control System]. *Internet-zhurnal Naukovedenie*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 1-12 (in Russian).

71. Matveev Iu. N., Stukalova N. A. Automated Process for Destruction of Chemical Weapons Control System *Informatsionno-vychislitel'nye tekhnologii i ikh prilozheniia: sbornik statei XIV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Information and computer technology and their applications. Articles of XIV International Scientific and Technical Conference]. Penza, MNITs GSKhA, 2010. pp. 88-91 (in Russian).

Информация об авторе

Михайлов Роман Леонидович – кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники. Область научных интересов: устойчивость сетей связи,

маршрутизация информационных потоков, комплексное воздействие на сети связи средств наблюдения и подавления. E-mail: mikhailov-rom2012@yandex.ru
Адрес: 162622, Вологодская обл., г. Череповец, Советский пр., д. 126.

An Analysis of the Scientific and Methodological Apparatus of Coordination Theory And Its Use in Various Fields of Study

R. L. Mikhailov

Relevance. *Currently, in order to improve management efficiency in complex multilevel systems methods of coordination theory actively developing. They have been applied in various fields of research. In this regard, the actual is the analysis of well-known works and research methodology of coordination and to consider the possibility of using the results obtained by other authors in a new subject area - in the field of information warfare.* ***The aim of this paper*** *is the analysis of well-known works in the field of coordination of complex multi- level systems. Particular attention is paid to the analysis of works, that deal with resource allocation in multi-level systems as a controlling influence.* ***Methods used.*** *Analysis of the theory of the informational conflict is based on the use of the methods of system analysis, the methods of induction and deduction of the logic theory.* ***Result.*** *General and specific patterns of research the information conflict was identified based on an analysis of more than 70 sources, revealed general and specific patterns conducted in coordination theory research based on the use of various scientific and methodological apparatus, namely the coordination of methods based on principles of self-organization based on the model of computer fields, fuzzy parametric coordination methods in multi-level hierarchical systems, coordination of methods by predicting and unleashing interactions, coordination of methods based on models of coalition reflexive games, multiagent, triad, situational approaches and methods based on other theories.* ***Novelty.*** *The element of novelty of the work is to identify the general and specific patterns and approaches to research in the field of coordination, based on the use of various scientific and methodological apparatus.* ***Practical significance.*** *The present analysis can be used by specialists to support new technological solutions in the field of coordination of various complex multi-level systems, and military experts - to support new forms and methods of interaction of diverse forces and means in the conduct of warfare. In addition, this analysis will be useful to researchers and applicants carrying out research activities in the field of coordination of complex multi-level control systems.*

Key words: *management, coordination, complex multi-level system, hierarchical system.*

Information about Author

Roman Leonidovich Mikhailov – Ph.D. of Engineering Sciences. Senior Researcher. Cherepovets Higher Military Engineering School of Radio Electronics. Field of research: sustainability of communication, routing of data flow, unified influence of monitoring and rejection means on communication networks. E-mail: mikhailov-rom2012@yandex.ru
Address: Russia, 162622, Vologda region, Cherepovets, Sovetskiy prospect, 126.

УДК 004.4’2

Инструментальные средства имитационного моделирования предметно-ориентированных распределенных вычислительных систем

Феоктистов А. Г., Корсуков А. С., Дядькин Ю. А.

Актуальность. *Стремительное развитие высокопроизводительных вычислений, в том числе распределенных вычислительных сред различного назначения, актуализирует исследование эффективности и надежности их использования при решении различных крупномасштабных задач. Имитационное моделирование является одним основных из инструментов такого исследования.* ***Целью работы*** *является анализ современного состояния в области исследования распределенных вычислительных сред на основе имитационного моделирования, определение эксплуатационных и функциональных требований к инструментальным средствам поддержки проведения имитационных экспериментов, а также развитие их инструментального базиса. Особое внимание уделено учету специфики предметных областей решаемых задач в процессе имитационного моделирования.* ***Используемые методы.*** *В статье представлены новые средства разработки имитационных моделей, интегрирующие методы концептуального программирования и автоматизации конструирования программ на основе каркасного подхода. Такая интеграция обеспечивает эффективную реализацию автоматизированного перехода от концептуальной модели распределенной вычислительной среды к ее имитационной модели.* ***Новизна.*** *Использование концептуальной модели распределенной вычислительной среды при создании и исследовании ее имитационных моделей позволяет расширить диапазон анализируемых архитектур среды по сравнению с известными инструментариями. Концептуальная модель включает в себя: вычислительные знания о программных модулях для решения задач в предметных областях и работы с объектами среды, включая планирование их действий; схемные знания о модульной структуре модели и алгоритмов; продукционные знания для поддержки принятия решений по выбору оптимальных алгоритмов в зависимости от состояния среды, а также знания о программно-аппаратной инфраструктуре среды и административных политиках в ее узлах.* ***Результат.*** *Сравнительный анализ известных инструментальных средств имитационного моделирования среды позволил определить актуальные направления развития существующего инструментального базиса. С учетом проведенного анализа разработан инструментальный комплекс SIRIUS II для имитационного моделирования предметно-ориентированной среды. Этот комплекс частично устраняет ряд недостатков рассмотренных средств.* ***Практическая значимость.*** *Результаты научной работы могут быть использованы специалистами в области параллельных и распределенных вычислений для анализа и оценки надежности и эффективности используемых ими вычислительных систем.*

Ключевые слова: *распределенная вычислительная среда, имитационное моделирование, инструментальные комплексы.*

Введение

В настоящее время эффективное решение крупномасштабных научных задач требует применения высокопроизводительных вычислений, в том числе использования распределенных вычислительных сред (РВС) различного назначения [1-3]. РВС организуются, как правило, на основе интеграции разнородных ресурсов: суперкомпьютеров, вычислительных кластеров, компонентов облачных инфраструктур и центров обработки больших данных, высокопроизводительных серверов и персональных компьютеров. Для интеграции ресурсов используется широкий спектр коммуникационных технологий, а также разнообразное промежуточное программное обеспечение.

Тенденция развития современных РВС заключается в стремительном росте их производительности, который зачастую достигается путем увеличения числа их вычислительных элементов и приводит к существенному повышению степени сложности управления такими средами. Одним из приоритетных направлений в области развития и применения РВС является исследование эффективности и надежности их функционирования [4].

Ряд свойств РВС существенно усложняет процессы их построения, эксплуатации и исследования. К таким проблемным свойствам, например, относятся: организационно-функциональная разнородность, динамичность и неполнота описания интегрируемых в РВС ресурсов; наличие различных категорий пользователей, преследующих свои цели и задачи эксплуатации вычислительной среды. Другой важной проблемой организации и применения РВС является учет специфики предметных областей решаемых пользователями задач.

Стандартизированные средства управления распределенными вычислениями, используемые в РВС, не позволяют в полной мере решить указанные выше проблемы. В этой связи требуется разработка специальных инструментальных средств, обеспечивающих возможность исследования эффективности и надежности функционирования предметно-ориентированных РВС.

С точки зрения теории очередей РВС представляет собой систему массового обслуживания. В этом случае одним из эффективных подходов к ее изучению является имитационное моделирование [5].

Процесс построения моделирующей программы, адекватно отображающей исследуемую РВС, во многом является нетривиальной задачей и требует от ее разработчика наличия высокой математической и программисткой квалификации, тем более, если речь идет о параллельной или распределенной программе. Таким образом, возникает потребность в высокоуровневых инструментальных средствах автоматизации этого процесса, которые позволят максимально использовать потенциал высокопроизводительной вычислительной техники и обеспечат построение сложной технологической цепочки: от математика (эксперта-«предметника»), формализующего предметную область РВС, к программисту, создающему имитационную модель РВС и сервис-ориентированные средства доступа к этой модели и ее применения, и только затем – к конечным пользователям (сотрудникам профильной организации), которые занимаются непосредственно расчетами.

В настоящее время существует широкий спектр способов и инструментальных средств [6], предоставляющих возможность исследования различных аспектов функционирования РВС. Однако, как правило, они являются узкоспециализированными, в том смысле, что обеспечивают изучение вычислительной среды, в том числе ее программной или аппаратной надежности, путем имитационного или полунатурного моделирования со слабой привязкой к особенностям предметной области решаемых задач. В этой связи важным компонентом инструментальной поддержки имитационного

моделирования становится средство построения и способы исследования моделей предметно-ориентированных РВС.

Целью статьи является – сравнительный анализ отечественных и зарубежных исследований в области разработки и применения инструментальных программных средств автоматизации имитационного моделирования в РВС. Сформулированы системные и функциональные требования к разрабатываемому инструментальному комплексу имитационного моделирования. Предложен инструментальный комплекс (ИК) SIRIUS II для имитационного моделирования предметно-ориентированной РВС. Средства спецификации модели в ИК являются развитием исследований, изложенных в [7, 8]. Представлена распределенная сервис-ориентированная среда имитационного моделирования систем массового обслуживания на базе ресурсов Иркутского суперкомпьютерного центра коллективного пользования. Разработанные средства применены в задачах анализа и оценки эффективности и надежности решения задач масштабируемыми приложениями в РВС.

Предметно-ориентированная распределенная вычислительная среда

Предполагается, что в качестве узлов среды выступают вычислительные кластеры, в том числе гибридные кластеры с разнородными вычислительными узлами. Кластеры организуются на базе как выделенных, так и невыделенных вычислительных машин, и, следовательно, существенно различаются по степени надежности своих ресурсов. Вследствие усложнения инфраструктуры современных кластеров выделенных машин, вероятность сбоев в процессе решения задач существенно повышается. Сбои происходят в случайные моменты времени.

В ресурсах кластеров нуждаются как их локальные пользователи, так и глобальные пользователи среды.

Важными характеристиками решаемых в системе задач являются:

- способ решения задачи (применение готовой программы, построение алгоритма решения задачи на основе библиотек стандартных программ, исполнение программы в режиме интерпретации или компиляции);
- место размещения (в машине пользователя или в машине системы) программы, используемой для решения задачи; число прогонов программы; наличие взаимосвязанных подзадач;
- вид параллелизма алгоритма решения задачи (мелкозернистый, крупноблочный и смешанный параллелизм), степень ресурсоемкости вычислений (малые, средние и большие задачи, задачи вычислительные или обработки данных);
- необходимость управления процессом вычислений в пакетном или интерактивном режимах; срочность вычислений;
- другие особенности процесса решения задач.

Для решения задачи пользователь должен сформировать задание системе. Задание представляет собой спецификацию процесса решения задач, содержащую информацию о требуемых вычислительных ресурсах,

исполняемых прикладных программах, входных/выходных данных, а также другие необходимые сведения. Среда поддерживает обработку заданий разных классов: последовательных и параллельных, независимых и взаимосвязанных, локальных и удаленных, многовариантных (сериализуемых), а также различающихся по времени, требуемому для выполнения задания, размерам необходимой оперативной и дисковой памяти, соотношению вещественных и целочисленных операций и другим характеристикам. Множество заданий пользователей рассматривается с точки зрения теории очередей и представляется в виде совокупности потоков заданий с приоритетами.

В рамках системы функционируют распределенные предметно-ориентированные приложения, порождающие потоки заданий, поступающих в дискретные моменты времени.

Поток заданий в РВС характеризуется следующими свойствами:

- динамичностью (мощность и состав потока заданий изменяется во времени);
- стохастичностью (поток заданий предполагает возникновение случайных событий);
- неоднородностью (задания соответствуют разным классам задач и отличаются друг от друга по своей специфике);
- отсутствием обратной связи (число заданий, поступивших за один промежуток времени, не зависит от числа заданий, поступивших за другой промежуток времени);
- неординарностью (возможно поступление двух и более заданий в один и тот же момент времени);
- стационарностью (число событий, поступивших за определенный промежуток времени, зависит от длины этого промежутка и не зависит от момента его начала).

В общем случае в системе имеется программно-аппаратная вычислительная избыточность (приложение может быть размещено и выполнено в разных узлах среды, а одни и те же вычисления могут быть произведены с помощью различных приложений).

Управление заданиями осуществляется традиционными программными средствами – глобальными (на уровне РВС) или локальными (на уровне кластера) менеджерами ресурсов, а также мультиагентной системой (МАС) [9-11], функционирующей как на уровне РВС, так и на уровне приложений пользователей. МАС является надстройкой к традиционным средствам управления заданиями. Свободных ресурсов системы недостаточно для одновременного обслуживания всех заданий, находящихся в очередях.

В системе нет единой политики администрирования вычислительных ресурсов, на кластерах применяются различные дисциплины и механизмы обработки потоков заданий различных типов.

Таким образом, с точки зрения моделирования РВС является сложной, динамической, дискретно-событийной и стохастической системой массового обслуживания (СМО). Дисциплина обработки заданий в РВС, в общем случае, является многоканальной. При моделировании РВС следует учитывать:

- способы поступления заданий и их классы;
- механизмы обслуживания очередей заданий;
- характеристики аппаратных средств и коммуникационной сети;
- свойства системного и прикладного программного обеспечения, а также особенности его функционирования, включая специфику предметных областей решаемых задач;
- типы сбоев программно-аппаратных средств;
- способов обеспечения отказоустойчивости ресурсов среды;
- административные политики в отношении ресурсов и пользователей среды, а также другую важную информацию, связанную с организацией и выполнением распределенных вычислений.

Учет системного и прикладного программного обеспечения влечет за собой необходимость использования в системе имитационного моделирования соответствующих алгоритмов его функционирования и сторонних программных средств, реализующих эти алгоритмы. Требуется также настройка системы на работу с базами данных, поддерживающими работу алгоритмов.

Задача детального исследования процессов функционирования РВС характеризуется большой вычислительной сложностью и требует применения средств высокопроизводительных вычислений и проведения многовариантных расчетов. В этом случае возникает необходимость запуска экземпляров имитационной модели в различных узлах высокопроизводительной вычислительной системы, сбора, обработки и анализа распределенных результатов моделирования.

Выполнение имитационного моделирования с использованием высокопроизводительных вычислений налагает также ряд требований по обеспечению отказоустойчивости самого процесса моделирования, включая наличие функциональных возможностей для сохранения/восстановления состояний модели.

Системы имитационного моделирования

Средства имитационного моделирования базируются на следующих видах программного обеспечения: системах имитационного моделирования, программных библиотеках и языках программирования (рис. 1).

Основными преимуществами применения систем имитационного моделирования, включающих специализированные языки имитационного моделирования, по сравнению с использованием программных библиотек и универсальных языков программирования являются:

- наличие языковых средств более высокого уровня, включающих готовые конструкции (блоки) для представления в модели исследуемых объектов и процессов;
- оперирование понятиями свойственными теории очередей, такими как заявки (запросы) на обслуживание, устройства (сервисы) обслуживания, дисциплины обслуживания очередей и др.;
- поддержка среды выполнения разрабатываемых моделей;

- обеспечение сбора и обработки статистических данных;
- простота, как правило, отладки, модификации и применения имитационных моделей.

При этом системы имитационного моделирования можно условно разделить на два класса:

1) системы общего назначения;
2) узкоспециализированные системы.

Особенности этих двух классов систем рассмотрены далее.

Рис. 1. Средства имитационного моделирования

Системы имитационного моделирования общего назначения

Системы имитационного моделирования общего назначения, в отличие от узкоспециализированных, могут быть использованы при моделировании любой предметной области, что делает систему более универсальной и в то же время более сложной в освоении и применении, так как требования к квалификации разработчика модели повышаются. Наиболее популярными системами общего назначения являются [12]: AnyLogic [13, 14], ExtendSIM [15-18], GPSS World [19, 20], Micro Saint [21], Simplex3 [22] и Simulink [23].

Система AnyLogic поддерживает различные парадигмы моделирования: методы системной динамики, дискретно-событийного и агентного моделирования, а также гибридный подход к построению моделей (комбинацию различных методов моделирования в контексте одной модели). Система AnyLogic также поддерживает:

- возможность разработки многомерных имитационных моделей, которые при необходимости могут быть интегрированы с базами данных через специальный интерфейс JDBC;
- различные виды численных экспериментов (простой эксперимент, на основе метода Монте-Карло, путем варьирования параметров, оптимизацию и другие способы расчетов);
- 2D и 3D анимацию, позволяющую наблюдать процесс моделирования в режиме реального времени.

Как правило, модель в системе AnyLogic строится на основе базовых визуальных компонентов (объектов модели). Каждый объект модели

представляет собой Java-класс. Поэтому, дополнительные объекты и процессы их функционирования могут быть реализованы на языке Java путем расширения базовых классов новыми полями и методами, переопределением существующих методов базовых классов или добавлением новых классов.

AnyLogic широко применяется для создания моделей в различных предметных областях экономической, социальной и производственной сфер человеческой деятельности.

Система ExtendSIM позволяет моделировать непрерывные, дискретно-событийные, основанные на агентах, линейные, нелинейные и смешанного типа процессы. Она имеет достаточно мощный графический интерфейс, позволяющий конструировать схемы процессов и проводить эксперименты, а также поддерживает 2D и 3D анимацию. На этапе создания модели требуется частичное написание кода при задании свойств объектов на специализированном языке ModL.

Система ExtendSIM применяется для моделирования и анализа бизнес-процессов, представленных в виде блок-схем. В ней возможно построение дискретных, непрерывных и гибридных моделей для исследования динамических систем и процессов дискретно-событийного управления. Для построения моделей используется С-подобный язык программирования ModL. Этот язык позволяет разрабатывать дополнительные блоки модели с новой функциональностью, расширяя тем самым стандартные возможности системы. Дополнительной функциональной возможностью является взаимодействие с системой Microsoft Visio по импорту и экспорту данных.

Система GPSS World предназначена для моделирования как дискретных, так и непрерывных процессов. Данная система обладает следующими возможностями:

- обеспечение объектно-ориентированного пользовательского интерфейса;
- использование высокоуровневого языка имитационного моделирования и применение высокопроизводительного транслятора модели;
- пользовательский и программный ввод/вывод данных в процессе моделирования; наличие встроенного языка программирования PLUS;
- большое число функций, реализующих широкий спектр законов вероятностных распределений;
- поддержка программируемых экспериментов с автоматическим анализом данных;
- средства отладки кода и наблюдения за объектами в процессе моделирования; динамический вызов функций из внешних файлов;
- работа с внешними ASCII-файлами для импорта/экспорта данных.

К недостаткам системы GPSS World в первую очередь относятся отсутствие средств графического построения модели и подбора параметров вероятностных распределений по статистическим данным, а также примитивные возможности визуализации результатов моделирования.

Система Micro Saint является мощным средством имитационного моделирования дискретно-событийных процессов, поддерживает 2D и 3D-анимацию, операции импорта и экспорта данных программного продукта Microsoft Visio для представления диаграмм в виде имитационной модели и наоборот. Также в составе пакета имеются расширенные средства отладки модели и возможность экспорта результатов моделирования в электронные таблицы Microsoft Excel для их дальнейшего анализа.

Система Simplex3 предоставляет имитационную среду для проведения экспериментов, включая объектно-ориентированный язык Simplex-MDL. Данный язык используется для описания системно-динамических и дискретно-событийных моделей, систем массового обслуживания, ситуационных и транспортных моделей в виде базисных и мобильных компонентов, их взаимосвязей и динамики поведения, временных и условных событий, приоритетов и процедур. Язык содержит элементы логического программирования; расширяет объектно-ориентированный подход с помощью дополнительных механизмов связи между компонентами; делает возможным иерархическое структурирование моделей и пошаговую разработку модели, быстро собираемую из прототипов.

Система Simplex3 является многоплатформенной с возможностью подключения внешних модулей на языке C++.

Система Simulink пакета Matlab для моделирования и анализа широкого класса (линейных, нелинейных, непрерывных, дискретных и гибридных) динамических систем с помощью блок-диаграмм. Система включает такие важные компоненты как библиотеку стандартных блоков модели, средства для создания пользовательских библиотек блоков, графический инструментарий для проектирования сложных систем управления и генератор кода модели на языке C. К ее недостаткам относятся приближенные характеристики некоторых элементов блок-схемы, а также неточность вычислений с помощью функций пакета MATLAB, связанных с несовершенством методик и алгоритмов вычислений, заложенных в этот пакет.

В системе Simulink поддерживается создание отчетов по результатам моделирования в различных форматах, среди которых HTML, RTF, XML и SGML.

В таблице 1 приведен ряд наиболее важных эксплуатационных характеристик вышеперечисленных систем имитационного моделирования общего назначения.

Следует отметить, что блочная среда разработки моделей в ExtendSIM и GPSS World интуитивно понятней и проще, чем в Anylogic.

Представленная в таблице 1 информация позволяет сделать вывод о том, что подавляющее большинство систем имитационного моделирования преимущественно позволяют работать только под управлением операционных систем (ОС) семейства Windows. Однако в настоящее время имеется потребность в использовании систем имитационного моделирования под управлением ОС семейства Linux, так как существенная доля высокопроизводительных вычислительных систем ориентирована на такие ОС.

Для эффективного моделирования РВС требуются дополнительные системные функциональные возможности (таблица 2). Анализ данных, представленных в таблице 2, позволяет сделать вывод о том, что рассмотренные системы не в полной мере обладают необходимыми функциональными возможностями для того, чтобы их можно было напрямую использовать для эффективного моделирования РВС.

Таблица 1 – Характеристики систем имитационного моделирования общего назначения

Наименование системы	Тип лицензии (П – проприетарная, С – свободно распространяемая)	Поддерживаемые ОС			Графические возможности системы			Наличие бесплатной версии с ограниченным функционалом	Текущая версия программы
		Windows	Linux	Mac OS	Построение модели граф. средствами	Визуализация процесса моделирования	Представление отчетов с помощью диаграмм/графиков		
AnyLogic	П*	+	+	+	+	+	+	+	7.3
ExtendSIM	П**	+	–	+/-	+	+	+	+	9.2
GPSS World	П*	+	–	–	+	+	+	+	5.2.2
Micro Saint	П**	+	–	–	+	+	+	–	3.7
Simplex3	П	+	+	–	+	+	+	–	2005
Simulink	П**	+	+	+	+	+	+	–	8.6

В таблице 1 во втором столбце использованы следующие обозначения для проприетарного программного обеспечения: П – нет бесплатной версии; П* и П** – возможно использование бесплатной версии, ограниченной по функциональным возможностям, в течение соответственно ограниченного и неограниченного периода времени.

Таблица 2 – Функциональные возможности систем имитационного моделирования общего назначения

Наименование системы	Моделирование параллельных процессов	Распределенные и параллельные модели	Поддержка контрольных точек	Поддержка многовариантных расчетов	Средства описания предметной области для которой строится модель	Средства автоматизации настройки интерфейса на работу с базой данных предметной области	Средства автоматизации построения модели	Проведение эксперимента (факторный/регрессионный анализ)	Подбор вероятностного распределения	Средство генерации данных
AnyLogic	+	–	–	+	–	–	–	+	+	+
ExtendSIM	+	–	–	+	–	–	+	+	+	–
GPSS World	+	–	–	+	–	–	–	+	–	–
Micro Saint	+	–	–	–	+	–	+	+	–	+
Simplex3	+	–	–	–	+	–	–	+	–	–
Simulink	+	–	–	–	–	–	–	+	–	–

Узкоспециализированные системы имитационного моделирования

Системы данного класса направлены на решение конкретного класса задач или используются для моделирования строго определенных предметных областей, для которых они были созданы, что делает эти системы более доступными для изучения и использования. Интерфейс подобных программ ориентирован на пользователей, владеющих терминами моделируемой предметной области. Это позволяет разработчику модели не отвлекаться на особенности той или иной системы моделирования и ускорить процесс разработки модели.

На рис. 2 представлена классификация систем имитационного моделирования по сферам применения. Применительно к проблеме моделирования РВС наибольший интерес привлекают системы моделирования вычислительных систем и компьютерных сетей.

Рис. 2. Классификация систем по сферам применения

В качестве примеров систем моделирования компьютерных сетей рассмотрим системы SIMSCRIPT [24], NetSIM [25], QualNet [26], Riverbed Modeler [27], ns-3 [28] и EXata [29].

Система SIMSCRIPT симуляции сетевой архитектуры поддерживает дискретно-событийное и дискретно-непрерывное моделирование. Она предназначена для минимизации времени, требуемого для создания и запуска имитаторов сложных компьютерных систем и сетей. В системе используется модульный объектно-ориентированный язык программирования SIMSCRIPT для построения моделей с интерактивным графическим интерфейсом пользователя. Модели, написанные на языке SIMSCRIPT, могут быть запущенны под различными ОС, такими как Windows или Linux/Unix. Система SIMSCRIPT включает в себя интерактивную среду проектирования, подсистему отладки, пакет статистики, пакет для построения диаграмм, 2D и 3D графиков во время работы модели, а также обеспечивает возможность работы с

различными базами данных: Microsoft Access, SQL Server, Oracle, IBM DB2, IBM Informix и MySQL.

Система NetSim используется для проектирования и анализа сетей, а также планирования защиты сети. Она имеет мощную графическую среду для создания моделей из набора графических элементов. Система NetSim поддерживает моделирование широкого спектра коммуникационных технологий. Библиотеки протоколов коммуникационных технологий доступны в виде исходных кодов на языке С.

Система QualNet – является мощным графическим инструментом для планирования, тестирования и изучения функционирования телекоммуникационных сетей, который позволяет имитировать поведение реальной сети. Используя данную систему и встроенную библиотеку компонентов, пользователи могут построить сеть любой сложности и оценить основные параметры поведения сети, протестировать различные комбинации сетевых функций. Система QualNet обеспечивает комплексную среду для разработки протоколов, создания и анимации сетевых сценариев, а также анализа их эффективности.

Система Riverbed Modeler реализует дискретно-событийное моделирование и обеспечивает:

- моделирование сети на основе различных технологий, включая VoIP, TCP, OSPFv3, MPLS и IPv6;
- анализ текущего состояния сети;
- повышение ее производительности;
- разработку и тестирование собственных технологий и протоколов;
- создание распределенных моделей, что значительно уменьшает время моделирования.

В системной библиотеке содержится более 400 компонентов для создания инфраструктуры сети. Система Riverbed Modeler поддерживает мощную среду визуализации процесса моделирования, включающую средства построения диаграмм, графиков, графов и таблиц.

Система ns-3 представляет собой бесплатное программное обеспечение под лицензией GNU GPLv2. Система ns-3 разработана по модульному принципу в виде набора библиотек, которые можно комбинировать с другими внешними библиотеками для взаимодействия со сторонним программным обеспечением. Система ns-3 изначально разрабатывалась для работы под управлением ОС Linux, однако существует и поддержка для ОС Windows. К недостаткам этой системы, существенно усложняющим процессы построения и анализа модели, можно отнести отсутствие визуальной среды проектирования, описание модели на С-подобном языке и построение графиков не производится в интерактивном режиме.

Система EXata широко используется для предсказания поведения сетей, возможности реального проектирования сетей, а также анализа процессов управления сетями. EXata предоставляет пользователям следующие возможности: проектирование новых сетевых технологий; проектирование беспроводных сетей в масштабах реального мира; проведение экспериментов

для анализа производительности сети и оптимизации сети с различными параметрами; эмуляцию передачи данных в сетях; захват потока данных и его анализ при помощи сторонних инструментов (Wireshark или Microsoft Network Monitor).

К сожалению, вышеперечисленные системы имитационного моделирования компьютерных сетей, как правило, не позволяют учитывать процессы работы приложений и управления ими при решении задач, а также специфику их предметных областей.

Для моделирования вычислительных систем, таких как РВС, используется особый класс программных средств. В зависимости от способа воспроизведения процессов функционирования РВС эти средства делятся на два класса:

1) эмуляторы;
2) симуляторы.

Эмулятор – это средство воспроизведения поведения реального устройства или программы в режиме реального времени [30].

Симулятор – это программное обеспечение, позволяющее моделировать реальные системы, отображая часть реальных явлений и свойств в виртуальной среде [31].

Другими словами, эмулятор заменяет свойства и функции оригинала, выполняя реальную работу, а симулятор лишь моделирует эти свойства и функции без реального функционирования.

К симуляторам РВС относятся, например, следующие системы: OptorSim [32], GridSim [33], Bricks [34], CloudSim [35], WorkflowSim [36], SimGrid [37], GridMe [38] и СИРИУС [7]. Эти системы дают возможность получить статистические данные о наиболее важных характеристиках моделируемой среды: использовании дисковых ресурсов, пропускной способности каналов, вероятности потерь данных и других свойствах процессов функционирования РВС. Системы имеют разные особенности и возможности для моделирования РВС.

Симулятор OptorSim реализован на языке Java и позволяет оценивать различные алгоритмы оптимизации и стратегии обработки данных. Одним из достоинств симулятора является наличие графического интерфейса для визуального отображения модели. Статистика в симуляторе OptorSim представлена как по каждому элементу в отдельности, так и по работе модели. Отчетная информация доступна в виде таблиц, графиков и диаграмм.

Симулятор GridSim обеспечивает возможность моделирования поведения пользователей РВС, вычислительных ресурсов и брокеров ресурсов (планировщиков). С помощью симулятора GridSim можно проводить эксперименты, которые сложно реализовать в реальном окружении РВС. Основные возможности симулятора GridSim: моделирование характеристик ресурсов РВС; моделирование политик планирования задач на узлах вычислительных кластеров; использование данных о загрузке реальных кластеров для проведения экспериментов; поддержка механизма аукциона для

планирования задач; моделирование конфигураций РВС для различных коммуникационных топологий.

Симулятор Bricks предназначен для исследования клиент-серверной архитектуры как глобальной вычислительной системы. В этом симуляторе предполагается централизованное глобальное планирование вычислений. Создатели симулятора руководствовались идеей, что в рамках РВС основу составляют пользователи, запускающие свои задания на общие ресурсы по сети.

Симулятор CloudSim является развитием системы GridSim и используется для моделирования облачных инфраструктур и сервисов.

Симулятор WorkflowSim предназначен для оптимизации выполнения потока заданий. Он обеспечивает формирование модельного потока заданий, моделирование накладных расходов и отказов в процессе выполнения этого потока. В WorkflowSim каркас (нижнего уровня) модели строится с помощью средств симулятора CloudSim. На верхнем уровне симулятор WorkflowSim добавляет следующие основные компоненты: регистратор потока заданий, механизм выполнения потока заданий, механизм распределения заданий, генератор и монитор отказов.

Симулятор SimGrid обеспечивает моделирование распределенных приложений в разнородных распределенных средах: вычислительных сетях P2P, облачных инфраструктурах, высокопроизводительных комплексах и Grid-системах. Данный симулятор поддерживает ряд интерфейсов прикладного программирования, таких как SimDAG, MSG и MPI, для создания различных типов приложений [37]. Для описания модели используется язык XML. Алгоритмы распределения заданий могут быть разработаны на языках C, Python, Ruby или Lua.

Симулятор GridMe ориентирован на оптимизацию стратегий управления потоками задач на основе оценки поведения РВС при изменяющихся условиях ее функционирования. В плане обеспечения возможностей исследования процессов управления распределенными вычислениями симулятор позволяет описывать потоки задач (workload) и алгоритмы распределения задач с помощью набора правил. Симулятор реализован на основе платформы Eclipse, с использованием только языка Java, что позволяет применять эту систему под управлением Linux, Windows, Solaris и других ОС.

Симулятор СИРИУС предназначен для моделирования и анализа эффективности функционирования интегрированных кластерных сред и ориентирован на комплексное исследование характеристик, как прикладного программного обеспечения, так и аппаратных средств таких сред. К особенностям данного симулятора можно отнести применение распределенного имитационного моделирования исследуемой среды с применением методов динамического анализа программ.

В качестве примеров эмуляторов можно привести системы MicroGrid [39], Grid eXplorer [40] и AGNES [41].

Эмулятор MicroGrid представляет собой виртуальную инфраструктуру РВС, которая позволяет исследовать управление динамическими ресурсами и

адаптивными приложениями с помощью итерационных вычислительных экспериментов. Эмулятор MicroGrid поддерживает взаимодействие с пакетом Globus Toolkit [42], обеспечивает эксперименты с реальными моделями РВС, поэтому может быть использован для изучения широкого спектра конфигураций ресурсов РВС и сценариев их использования.

Эмулятор Grid eXplorer предназначен для крупномасштабной эмуляции РВС. Этот эмулятор имеет базу данных, включающую экспериментальные режимы функционирования кластера, состоящего из тысяч персональных компьютеров, а также инструменты для контроля и анализа экспериментов.

Эмулятор AGNES реализован на основе инструментария Java Agent DEvelopment framework (JADE) [43] и воплощает мультиагентный подход к моделированию РВС. Эмулятор AGNES включает агентов создания и управления средой и функциональных агентов. В качестве атомарной, независимой частицы в модели вычислений выбран вычислительный узел и исполняемый на нем код алгоритма. Функциональные агенты эмулируют поведение вычислительных узлов кластера и приложений, выполняющихся в узлах. Вычисления представляются в виде набора примитивных операций (вычисления на ядре; запись/чтение данных в память; парный обмен данными; синхронизация данных между вычислителями) и временных характеристик каждой операции.

Ряд программных средств исследования процессов работы РВС ориентирован на получение оценок эффективности функционирования систем управления вычислениями на основе информации о вычислительной нагрузке ресурсов РВС, определяемой потоками заданий. Вычислительная история эмуляции, имитации или реального выполнения потоков заданий на кластерах, суперкомпьютерах или в вычислительных сетях сохраняется в виде архивов данных [44, 45]. Информация о потоках специфицируется на основе стандартизированного формата Standard Workload Format (SWF) [46].

Современные симуляторы и эмуляторы ориентированы на проведение вычислительных экспериментов на основе парадигм параллельных и распределенных вычислений [47, 48]. Особенно актуально применение высокопроизводительных вычислений для анализа моделей РВС реального времени, размеры и сложность которых требует проведения крупномасштабных ресурсоемких вычислений. В рамках этого направления исследований разработана система моделирования ДИАНА-2012 [49], обеспечивающая использование формальной модели функционирования и анализ различных аспектов поведения исследуемой РВС.

Однако есть ряд существенных недостатков, осложняющих применение рассмотренных выше средств для моделирования предметно-ориентированных РВС. В их числе:

- отсутствие поддержки концептуального моделирования и, как следствие, невозможность учета специфики проблемных областей решаемых задач;
- слабая типизация заданий – не обеспечивается необходимая детализация вычислительных характеристик моделируемых процессов

решения задач в различных предметно-ориентированных программных комплексах (требуемая детализация заданий не обеспечивается в том числе и в стандартизированных форматах описания потоков заданий);
- ограниченность моделируемых архитектур РВС;
- реализация только одного отдельно взятого вида моделирования;
- отсутствие компонентов для автоматической настройки стандартизированных средств управления вычислениями в РВС на основе полученных результатов моделирования;
- необходимость изучения специальных языков программирования.

Кроме того, рассмотренные средства моделирования РВС ориентированы на исследование отдельных аспектов функционирования РВС, а их комплексное применение осложняется необходимостью унификации и интерпретации данных, представленных в различных форматах, и отсутствием единого пользовательского интерфейса.

Инструментальные средства имитационного моделирования РВС также не в полной мере соответствуют ряду критериев их функционирования, предъявляемых пользователями [50]. К числу таких критериев относятся:
- поддержка автоматизации всех необходимых этапов разработки модели в рамках одной среды имитационного моделирования;
- интеграция и комплексное использование распределенных баз данных с описаниями (концептуальными моделями) предметных областей исследуемых систем и расчетных баз данных имитационных моделей этих систем;
- возможность использования кроссплатформенного программного комплекса для разработки и применения моделей;
- обеспечение взаимодействия с программными комплексами, предназначенными для управления исследуемыми системами и принятия решений, с целью оперативного получения требуемых данных либо для передачи результатов моделирования;
- быстрая и автоматизированная подготовка отчетов о результатах экспериментов с моделями, накапливаемых в базах данных.

Ниже рассматривается ИК, в котором частично решаются некоторые вышеперечисленные проблемы имитационного моделирования РВС.

Инструментальный комплекс SIRIUS II

ИК SIRIUS II предназначен для поддержки проведения вычислительного эксперимента с имитационными моделями, реализованными на языке GPSS. Этот комплекс включает в себя инструментальные средства построения имитационных моделей на основе шаблонов типовых объектов исследуемых систем (модулей), подготовки и проведения вычислительных экспериментов с имитационными моделями.

Использование модульного подхода обеспечивает ряд важных преимуществ. Во-первых, достаточно гибкую модификацию и “безболезненное” развитие математического и программного базиса для

моделирования исследуемой системы посредством добавления или замены модулей этого базиса новыми модулями, в том числе модулями уже разработанных библиотек шаблонов типовых объектов исследуемых систем. Во-вторых, быструю “точечную” реализацию дополнительных возможностей моделирования процессов функционирования системы, не представленных в используемых средствах управления этими системами. В-третьих, возможность реализации вспомогательных аналитических моделей в виде модулей.

Подход к построению концептуальной модели исследуемой системы базируется на общих принципах структурного анализа предметной области: выделении взаимодействующих между собой объектов и их атрибутов, определение их отношений и ограничений на эти отношения. Концептуальная модель является основой для построения имитационных моделей.

Архитектура инструментального комплекса включает следующие подсистемы (рис. 3):

- подсистему спецификации модели;
- конструктор имитационной модели;
- исполнительную подсистему;
- подсистему анализа.

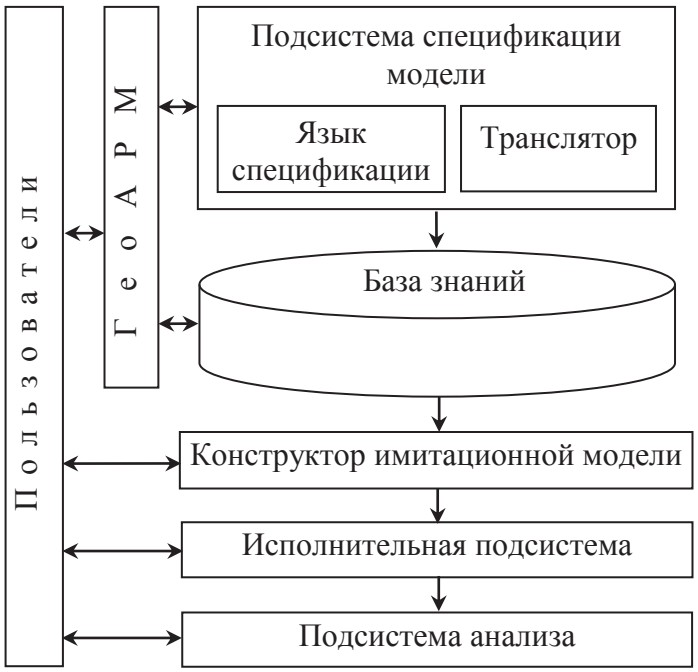


Рис. 3. Архитектура инструментального комплекса

Подсистема спецификации модели предоставляет разработчикам возможность описывать модель РВС на специальном языке спецификации модели. Язык позволяет с помощью специальных операторов определять объекты исследуемой предметной области, задавать их атрибуты, устанавливать типы данных атрибутов (как скалярные, так и структурированные) и отношения между объектами модели. Использование языка спецификации обеспечивает высокую степень привязки модели к соответствующей предметной области.

Модель включает вычислительные знания о программных модулях для решения задач в предметных областях и работы с объектами РВС схемные знания о модульной структуре модели и алгоритмов, продукционные знания для поддержки принятия решений по выбору оптимальных алгоритмов в зависимости от состояния среды, а также знания о программно-аппаратной инфраструктуре РВС и административных политиках в ее узлах. Модули для работы с объектами РВС обеспечивают планирование вычислений, формирование заданий, распределение ресурсов, мониторинг вычислительных процессов, динамическую декомпозицию потоков заданий. Важным компонентом знания о программно-аппаратной инфраструктуре РВС является информация о классах заданий и ресурсов среды, а также алгоритмах эффективного распределения заданий по ресурсам на основе их классификации [51].

Перечисленные знания представляются в виде концептуальной модели РВС [52], являющейся частным случаем семантической сети.

Описание концептуальной модели транслируется в термины языка SQL. Текст модели на языке SQL используется для конкретизации шаблона файла базы знаний с целью дальнейшего хранения и использования модели. Разработанный авторами язык спецификации модели относится к языкам описания онтологий [53], основанных на вычислительных моделях и являющихся частным случаем семантических сетей. Этот язык используется для построения концептуального ядра модели РВС.

Фрагмент текста концептуальной модели на языке спецификации приведен на рис. 4. Данный фрагмент включает описание объектов, составляющих коммуникационную среду РВС: узлов сети (NODES), концентраторов (HUBS), связей между концентраторами (HUB2HUB), связей между узлами и концентратором (NODESHUB), а также агентов, размещенных в узлах (AGENTS).

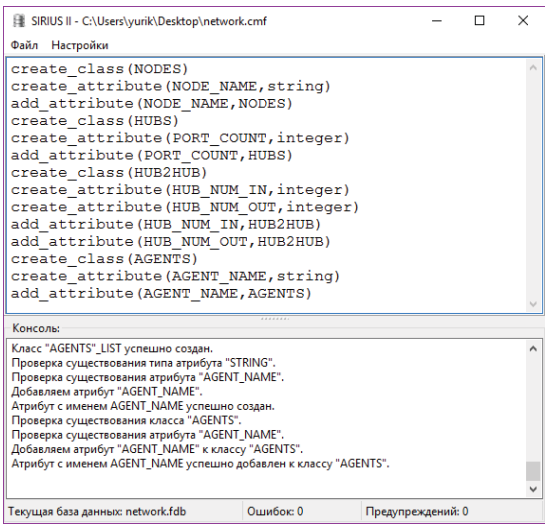


Рис. 4. Фрагмент текста модели на языке спецификации модели

На основе этого ядра могут быть созданы специализированные модели конкретных вычислительных сред с помощью системы ГеоАРМ [54, 55].

Данная система обеспечивает автоматизированное построение уникального графического интерфейса пользователя для каждой специализированной модели (рис. 5). Этот интерфейс используется в дальнейшем для наполнения модели данными пользователями различных категорий: специалистами в области имитационного моделирования и специалистами-предметниками.

Множество описаний концептуальных моделей хранятся в базе данных и представляют собой библиотеку, которая может быть использована для создания новых моделей.

На рис. 5 представлен графический интерфейс пользователя, который был построен системой ГеоАРМ на основе файла базы данных, полученного в результате трансляции описания текста концептуальной модели на языке спецификации приведенного на рис. 4.

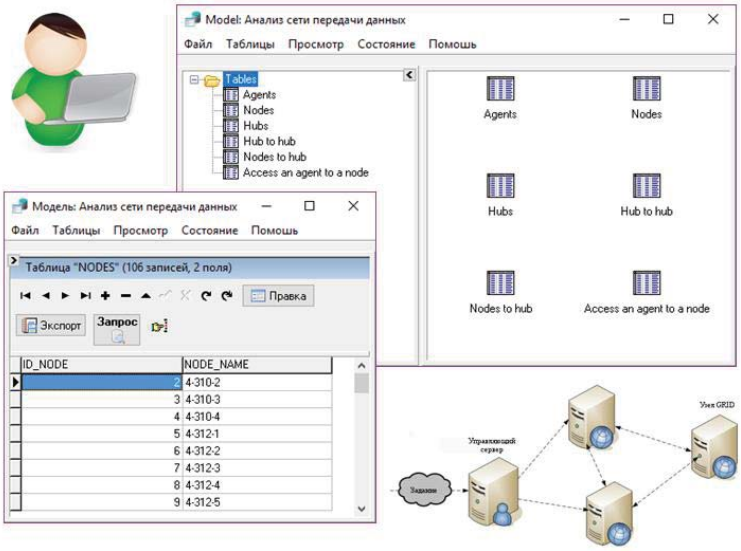


Рис. 5. Пример графического пользовательского интерфейса

Имитационная модель строится по концептуальной модели РВС с применением языка GPSS с использованием каркасного подхода [56] (рис. 6).

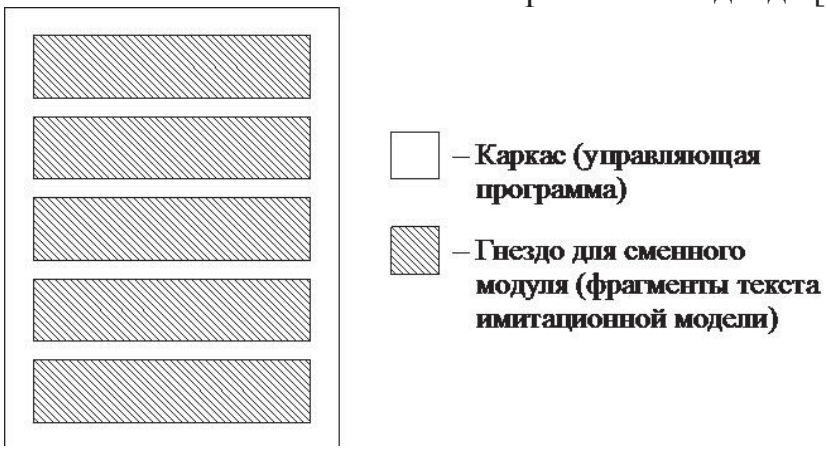


Рис. 6. Каркасный подход

В контексте данного подхода имитационная модель состоит из двух обязательных частей: каркаса и гнезд. Каркас имитационной модели представляет собой неизменяемую часть программы на GPSS и включает в себя

совокупность изменяемых частей – гнезд, в которые помещаются сменные модули. Сменные модули являются частью вычислительных знаний. Совокупность модулей представляет собой библиотеку фрагментов имитационной модели на GPSS, каждый из которых моделирует отдельный процесс функционирования РВС. Варьируя содержимым гнезд в различных комбинациях, достигается все многообразие формируемых версий модели.

Каркас модели и его гнезда создаются в конструкторе имитационной модели (рис. 7).

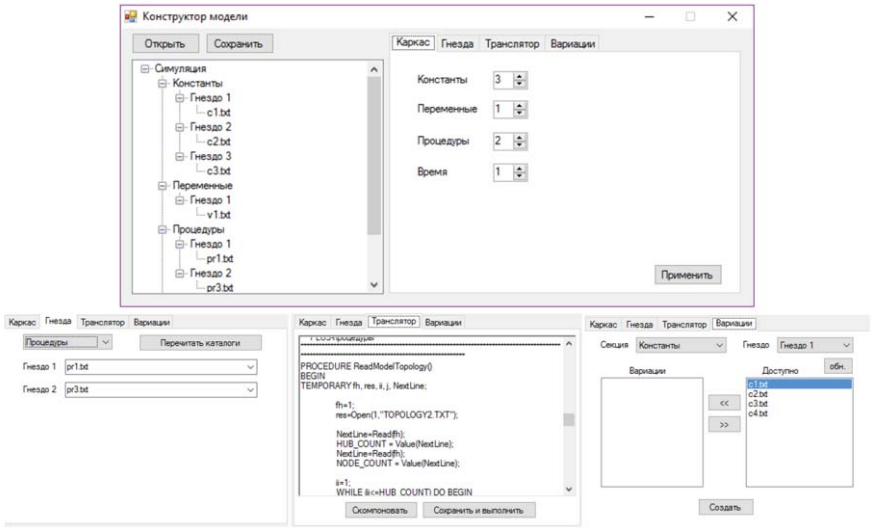


Рис. 7. Конструктор имитационной модели

На вкладке «Каркас» формируется каркас имитационной модели и определяется число гнезд различного назначения: для констант, переменных, пользовательских процедур и задания модельного времени. После того как каркас создан, на вкладке «Гнезда» можно подставить в выделенные гнезда соответствующие модули. Вкладка «Транслятор» предназначена для получения полного текста модели и его трансляции штатными средствами GPSS World. Вкладка «Вариации» используется для создания множества вариантов имитационной модели с различным наполнением гнезд. В качестве примера на рис. 8 приведен сменный модуль для вызова агента, определяющего класс задания.

```
PROCEDURE Define_class()
BEGIN
  return Call_String("lib.dll","Def_class","35");
END;
```

Рис. 8. Сменный модуль

Таким образом, сочетая модули в необходимом нам порядке, мы получаем отдельные версии имитационных моделей, каждая из которых может быть протестирована на отдельном узле РВС, что позволяет сэкономить время на прогонах.

В настоящее время подсистема анализа и исполнительная подсистема представлены сервис-ориентированной средой имитационного моделирования

СМО, организованной с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Иркутского суперкомпьютерного центра СО РАН» [57].

Эта среда [58] предоставляет следующие основные функции, реализованные в виде сервисов:

- создание и редактирование списка наблюдаемых переменных имитационных моделей, подлежащих дальнейшему анализу (сервис OPLE);
- подготовка исходных данных, проведение имитационного моделирования путем многовариантных расчетов, многокритериальный и статистический анализ его результатов (сервис SimQS);
- сбор, обработка и визуализация результатов моделирования (сервис Grapher).

ИК SIRIUS II позволяет частично устранить такие недостатки вышеперечисленных средств имитационного моделирования вычислительных систем, как, например, сложность учета специфики проблемных областей решаемых задач, слабую типизацию вычислительных заданий модели и ограниченность моделируемых архитектур.

Заключение

В статье рассмотрены свойства РВС и приведен краткий обзор инструментальных средств ее моделирования. Показано, что рассмотренные инструментальные средства не удовлетворяют всем необходимым требованиям для исследования предметно-ориентированных РВС. С учетом проведенного анализа разработан ИК SIRIUS II для имитационного моделирования таких сред, в котором особое внимание уделено учету специфики предметных областей решаемых задач в процессе имитационного моделирования.

Отличительными особенностями ИК SIRIUS II являются использование концептуальной модели среды при создании и применении ее имитационных моделей, позволяющее расширить диапазон исследуемых архитектур среды по сравнению с известными инструментариями, а также автоматизация разработки имитационных моделей на основе каркасного подхода к конструированию программ.

Авторы выражают благодарность кандидату технических наук Богдановой В.Г. и программисту Пашинину А.А. за помощь в программной реализации сервисов имитационного моделирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 15-29-07955-офи_м и № 16-07-00931-а, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН 1.33П, а также Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-8081.2016.9).

Литература

1. Бычков И. В., Корсуков А. С., Опарин Г. А., Феоктистов А. Г. Инструментальный комплекс для организации гетерогенных распределенных вычислительных сред // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. № 1. С. 45-54.

2. Бычков И. В., Опарин Г. А., Феоктистов А. Г., Корсуков А. С. Децентрализованное управление потоками заданий в интегрированной кластерной системе // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2011. Т. 9. № 2. С. 42-54.

3. Бычков И. В., Опарин Г. А., Феоктистов А. Г., Корсуков А. С. Распределение заданий в интегрированной кластерной системе на основе их классификации // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. № 2. С. 25-32.

4. Бычков И. В., Опарин Г. А., Феоктистов А. Г., Корсуков А. С. Испытание и оценка надежности интегрированных кластерных систем на основе их комплексного моделирования // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 3. С. 3-8.

5. Taha H. A. Operations Research: an Introduction (10th Edition). Pearson, 2016. 848 p.

6. Shah V. A. Analysis Perspective Views of Grid Simulation Tools // Journal of Grid Computing. 2015. Vol. 13. № 2. P. 177-213.

7. Опарин Г. А., Феоктистов А. Г., Александров А. А. Графическая инструментальная среда для описания модели распределенной вычислительной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2006. № 2 (26). С. 30-34.

8. Опарин Г. А., Феоктистов А. Г., Вартанян Э. К. Входной язык объектно-ориентированной базы знаний Grid-системы // Программные продукты и системы. 2012. № 1. С. 3-6.

9. Bogdanova V. G., Bychkov I. V., Korsukov A. S., Oparin G. A., Feoktistov A. G. Multiagent Approach to Controlling Distributed Computing in a Cluster Grid System // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2014. Vol. 53. № 5. P. 713-722.

10. Bychkov I. V., Oparin G. A., Feoktistov A. G., Bogdanova V. G., Pashinin A. A. Service-oriented multiagent control of distributed computations // Automation and Remote Control. 2015. Vol. 76. № 11. P. 2000-2010.

11. Bychkov I. V., Oparin G. A., Feoktistov A. G., Sidorov I. A., Bogdanova V. G., Gorsky S. A. Multiagent control of computational systems on the basis of meta-monitoring and imitational simulation // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2016. Vol. 52. № 2. P. 107-112.

12. Девятков В. В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: Монография. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 448 с.

13. Grigoryev I. V. AnyLogic 7 in Three Dyas. Charleston, South Caroline.: CreateSpace, 2015. 202 с.

14. Инструмент многоподходного имитационного моделирования. 2016. URL: http://www.anylogic.ru (дата обращения: 29.10.2016).

15. Diamond B., Krahl D., Nastasi A., Tag P. ExtendSim Advanced Techology: Integrated Simulation Database // Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. 2010. P. 32-39.

16. Krahl D. ExtendSim 9 // Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference. 2013. P. 4065-4072.

17. Krahl D., Nastasi A. Reliability Modeling with ExtendSim // Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. 2014. P. 4219-4225.

18. ExtendSim Simulation Software by Imagine That Inc. 2016. URL: http://www.extendsim.com (дата обращения: 29.10.2016).

19. Minuteman Software. 2016. URL: http://www.minutemansoftware.com (дата обращения: 29.10.2016).

20. Stahl I., Henriksen J. O. GPSS 50 Years Old, but Still Young // Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference. 2011. P. 3952-3962.

21. Micro Saint – Adept Scientifi. 2016. URL: http://www.adeptscience.co.uk/products/mathsim/microsaint (дата обращения: 29.10.2016).

22. Simplex3 – The Universal Simulation System. 2016. URL: http://www.simplex3.net/Body/English/Home.html (дата обращения: 29.10.2016).

23. Дьяконов В. П. SIMULINK 5/6/7. Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

24. SIMSCRIPT Modeling & Simulation Solutions: Telecommunications. 2016. URL: http://www.simscript.com/solutions/telecommunications/telecommunications.html (дата обращения: 29.10.2016).

25. NetSim: Network Simulator and Emulator. 2016. URL: http://tetcos.com/netsim_gen.html (дата обращения: 29.10.2016).

26. QualNet. SCALABLE Network Technologies. 2016. URL: http://web.scalable-networks.com/content/qualnet (дата обращения: 29.10.2016).

27. SteelCentral Network Performance Management. Riverbed Modeler – RU. Riverbed. 2016. URL: http://ru.riverbed.com/products/performance-management-control/network-performance-management/ru-network-simulation.html (дата обращения: 29.10.2016).

28. ns-3. 2016. URL: https://www.nsnam.org (дата обращения: 29.10.2016).

29. EXata. SCALABLE Network Technologies. 2016. URL: http://web.scalable-networks.com/content/exata (дата обращения: 29.10.2016).

30. Ковалев С. Схемная эмуляция в основе системы графического программирования // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. 2006. № 4. С. 16-20.

31. Емельянов А. Симуляторы GPSS World и Actor Pilgrim: экономика и массовое обслуживание // Прикладная информатика. 2007. № 3 (9). С. 73-103.

32. Кореньков В. В., Нечаевский А. В. Пакеты моделирования DATAGRID // Системный анализ в науке и образовании. 2009. № 1. С. 21-35.

33. Минухин С. В., Коровин А. В. Моделирование планирования ресурсов Grid средствами пакета GridSim // Системы обработки информации. 2011. № 3 (93). С. 62-69.

34. Aida K., Takefusa A., Nakada H., Matsuoka S., Nagashima U. Performance Evaluation Model for Job Scheduling in a Global Computing System // Proceedings of the 7th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing. 1998. P. 352-353.

35. Calheiros R., Ranjan R., Beloglazov A., De Rose C., Buyya R. CloudSim: a Toolkit for Modeling and Simulation of Cloud Computing Environments and Evaluation of Resource Provisioning Algorithms // Software: Practice and Experience. 2011. Vol. 41. № 1. P. 23-50.

36. Chen W., Deelman E. Workflowsim: A Toolkit for Simulating Scientific Workflows in Distributed Environments // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on E-Science (e-Science). 2012. P. 1-8.

37. Casanova H., Giersch A., Legrand A., Quinson M., Suter F. SimGrid: a Sustained Effort for the Versatile Simulation of Large Scale Distributed Systems. URL: http://arxiv.org/abs/1309.1630 (дата обращения: 29.10.2016).

38. Грушин Д. А., Поспелов А. И. Система моделирования Grid: реализация и возможности применения // Труды Института системного программирования РАН. 2010. Т. 18. С. 243-260.

39. Xia H. The MicroGrid: Using Online Simulation to Predict Application Performance in Diverse Grid Network Environments // Proceedings of the Workshop on Challenges of Large Applications in Distributed Environments (CLADE'04). IEEE Press. 2004. P. 1-10.

40. Taura K. Grid Explorer: A Tool for Discovering, Selecting, and Using Distributed Resources Efficiently // IPSJ SIG Technical Report. 2004. Vol. 2004. № 81 (HPC-99). P. 235-240.

41. Глинский Б. М., Родионов А. С., Марченко М. А., Подкорытов Д. И., Винс Д. В. Агентно-ориентированный подход к имитационному моделированию суперЭВМ экзафлопсной производительности в приложении к распределенному статистическому моделированию // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2012. № 18 (277). С. 93-106.

42. Foster I. Globus Toolkit Version 4: Software for Service-Oriented Systems // Proceedings of the IFIP International Conference on Network and Parallel Computing. Springer. 2006. P. 2-13.

43. Bellifemine F., Bergenti F., Caire G., Poggi A. Jade: A Java Agent Development Framework // Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations: Multi-Agent Programming. 2006. Vol. 15. P. 125-147.

44. Iosup A., Li H., Jan M., Anoep S., Dumitrescu C., Wolters L., Epema D. H. J. The Grid Workloads Archive // Future Generation Computer Systems. 2008. Vol. 24. № 7. P. 672-686.

45. Feitelsona D. G., Tsafrirb D., Krakova D. Experience with Using the Parallel Workloads Archive // Journal of Parallel and Distributed Computing. 2014. Vol. 74. № 10. P. 2967-2982.

46. Chapin S. J., Cirne W., Feitelson D. G. and al. Benchmarks and Standards for the Evaluation of Parallel Job Schedulers // Job Scheduling Strategies for Parallel Processing. Springer-Verlag. Lecture Notes Computer Science. 1999. Vol. 1659. P. 66-89.

47. Fujimoto R.M. Parallel and Distributed Simulation Systems. Wiley, 2000. 300 p.

48. Sulistio A., Yeo C. S., Buyya R. A Taxonomy of Computer-Based Simulations and Its Mapping to Parallel and Distributed Systems Simulation Tools // Software: Practice and Experience. 2004. № 34. P. 653-673.

49. Бахмуров А. Г., Волканов Д. Ю., Смелянский Р. Л., Чемерицкий Е. В. Интегрированная среда для анализа и разработки встроенных вычислительных систем реального времени // Программирование. 2013. № 5. С. 35-52.

50. Девятков В. В. Некоторые вопросы развития методологии имитационных исследований // Прикладная информатика. 2014. № 4 (52). С. 81-88.

51. Феоктистов А. Г. Методология концептуализации и классификации потоков заданий масштабируемых приложений в разнородной распределенной вычислительной среде // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 1-25.

52. Bychkov I., Oparin G., Tchernykh A., Feoktistov A., Bogdanova V., Gorsky S. Conceptual Model of Problem-Oriented Heterogeneous Distributed Computing Environment with Multi-Agent Management // Programme and Abstracts of the 12th International Symposium on Intelligent Systems. Moscow, RUDN Publ., 2016, p. 30.

53. Лапшин В. А. Онтологии в компьютерных системах. – М.: Научный мир, 2010. – 224 с.

54. Фереферов Е. С., Бычков И. В., Хмельнов А. Е. Технология разработки приложений баз данных на основе декларативных спецификаций // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19. № 5. С. 85-100.

55. Фереферов Е. С., Хмельнов А. Е. Автоматизация создания пользовательского интерфейса на основе модели приложения баз данных // Вестник Бурятского государственного университета. 2013. № 9. С. 100-118.

56. Горбунов-Посадов М. М. Расширяемые программы. – М.: Полиптих, 1999. – 336 с.

57. Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН. 2016. URL: http://hpc.icc.ru (дата обращения: 15.11.2016).

58. Богданова В. Г., Пашинин А. А. Инструментальные средства автоматизации многовариантных расчетов при исследовании систем массового обслуживания // Фундаментальные исследования. 2016. № 9-3. С. 467-472.

References

1. Bychkov I. V., Korsukov A. S., Oparin G. A., Feoktistov A. G. Instrumental'nyj kompleks dlya organizatsii geterogennykh raspredelennykh vychislitel'nykh sred [The Toolkit for Developing Heterogenic Distributed Computing Environments]. *Informatsionnye Tekhnologii i Vychislitrl'nye Sistemy*, 2010, no. 1, pp. 45-54 (in Russian).

2. Bychkov I. V., Oparin G. A., Feoktistov A. G., Korsukov A. S. Detsentralizovannoe upravlenie potokami zadanii v integrirovannoi klasternoi sisteme [Decentralized job flow control in the integrated cluster system]. *Bulletin of the Novosibirsk State University, Series: Information Technologies*, 2011, vol. 9, no. 2, pp. 42-54 (in Russian).

3. Bychkov I. V., Oparin G. A., Feoktistov A. G., Korsukov A. S. Raspredelenie zadanii v integrirovannoi klasternoi sisteme na osnove ikh klassifikatsii [The distribution of jobs in the integrated cluster system on the basis of their classification]. *Computational Technologies*, 2013, vol. 18, no. 2, pp. 25-32 (in Russian).

4. Bychkov I. V., Oparin G. A., Feoktistov A. G., Korsukov A. S. Ispytanie i otsenka nadezhnosti integrirovannykh klasternykh sistem na osnove ikh kompleksnogo modelirovaniya [Testing and evaluation of reliability integrated cluster systems based on complex modeling]. *Vestnik Komp'iuternykh i Informatsionnykh Tekhnologii (Herald of Computer and Information Technologies)*, 2013, no. 3, pp. 3-8 (in Russian).

5. Taha H. A. Operations Research: an Introduction (10th Edition). Pearson, 2016. 848 p.

6. Shah V. A. Analysis Perspective Views of Grid Simulation Tools. *Journal of Grid Computing*, 2015, vol. 13, no. 2, pp. 177-213.

7. Oparin G. A., Feoktistov A. G., Aleksandrov A. A. Graficheskaia instrumental'naia sreda dlia opisaniia modeli raspredelennoi vychislitel'noi sistemy [The graphical environment for the description of model of the distributed computing system]. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2006, vol. 26, no. 2, pp. 30-34 (in Russian).

8. Oparin G. A., Feoktistov A. G., Vartanian E. K. Vkhodnoi iazyk ob"ektno-orientirovannoi bazy znanii Grid-sistemy [Input language of the object-oriented knowledge base of grid-system]. *Programmnye Produkty i Sistemy*, 2012, vol. 1, pp. 3-6 (in Russian).

9. Bogdanova V. G., Bychkov I. V., Korsukov A. S., Oparin G. A., Feoktistov A.G. Multiagent Approach to Controlling Distributed Computing in a Cluster Grid System. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2014, vol. 53, no. 5, pp. 713-722.

10. Bychkov I. V., Oparin G. A., Feoktistov A. G., Bogdanova V. G., Pashinin A.A. Service-oriented multiagent control of distributed computations. *Automation and Remote Control*, 2015, vol. 76, no. 11, pp. 2000-2010.

11. Bychkov I. V., Oparin G. A., Feoktistov A. G., Sidorov I. A., Bogdanova V.G., Gorsky S.A. Multiagent control of computational systems on the basis of meta-monitoring and imitational simulation. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2016, vol. 52, no. 2, pp. 107-112.

12. Deviatkov V. V. *Metodologiia i tekhnologiia imitatsionnykh issledovanii slozhnykh sistem: sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia* [Methodology and Technology of Simulation Studies of Complex Systems]. Moscow, INFRA-M Publ., 2013, 448 p. (in Russian).

13. Grigoryev I. V. *AnyLogic 7 in Three Dyas*. Charleston, South Caroline, CreateSpace, 2015, 202 p.

14. Multimethod Simulation Software and Solutions. 2016. Available at: http://www.anylogic.ru/ (accessed 29 October 2016).

15. Diamond B., Krahl D., Nastasi A., Tag P. ExtendSim Advanced Techology: Integrated Simulation Database. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 2010, pp. 32-39.

16. Krahl D. ExtendSim 9. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 2013, pp. 4065-4072.

17. Krahl D., Nastasi A. Reliability Modeling with ExtendSim. *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, 2014, pp. 4219-4225.

18. ExtendSim Simulation Software by Imagine That Inc. 2016. Available at: http://www.extendsim.com (accessed 29 October 2016).

19. Minuteman Software. 2016. Available at: http://www.minutemansoftware.com (accessed 29 October 2016).

20. Stahl I., Henriksen J. O. GPSS 50 Years Old, but Still Young. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, 2011, pp. 3952-3962.

21. Micro Saint – Adept Scientifi. 2016. Available at: http://www.adeptscience.co.uk/products/mathsim/microsaint (accessed 29 October 2016).

22. Simplex3 – The Universal Simulation System. 2016. Available at: http://www.simplex3.net/Body/English/Home.html (accessed 29 October 2016).

23. Dyakonov V. P. *SIMULINK 5/6/7. Samouchitel'* [SIMULINK 5/6/7. Self-Teacher]. Moscow, DMK Publ., 2008, 784 p. (in Russian).

24. SIMSCRIPT Modeling & Simulation Solutions: Telecommunications. 2016. Available at: http://www.simscript.com/solutions/telecommunications/telecommunications.html (accessed 29 October 2016).

25. NetSim: Network Simulator and Emulator. 2016. Available at: http://tetcos.com /netsim_gen.html (accessed 29 October 2016).

26. QualNet. SCALABLE Network Technologies. 2016. Available at: http://web.scalable-networks.com/content/qualnet (accessed 29 October 2016).

27. SteelCentral Network Performance Management. Riverbed Modeler – RU. Riverbed. Available at: http://ru.riverbed.com/products/performance-management-control/network-performance-management/ru-network-simulation.html (accessed 29 October 2016).

28. ns-3. 2016. Available at: https://www.nsnam.org (accessed 29 October 2016).

29. EXata. SCALABLE Network Technologies. 2016. Available at: http://web.scalable-networks.com/content/exata (accessed 29 October 2016).

30. Kovalev S. Skhemnaya emulyatsiya v osnove sistemy graficheskogo programmirovaniya [Circuit emulation as a basis of graphic programming environment]. *Promyshlennye izmereniia, control', avtomatizatsiia, diagnostika*, 2006, no. 4, pp. 16-20 (in Russian).

31. Emel'ianov A. Simuliatory GPSS World i Actor Pilgrim: ekonomika i massovoe obsluzhivanie [GPSS World and Actor Pilgrim simulators: economics and queuing theory]. *Applied informatics*, 2007, vol. 9, no. 3, pp. 73-103 (in Russian).

32. Koren'kov V. V., Nechaevskii A. V. Pakety modelirovaniia DATAGRID [Packets of modeling DATAGRID]. *Sistemnyi analiz v nauke i obrazovanii*, 2009, vol. 1, pp. 21-35 (in Russian).

33. Minukhin S. V., Korovin A. V. Modelirovanie planirovaniia resursov Grid sredstvami paketa GridSim [Modeling of grid resources planning funds package GridSim]. *Sistemy obrabotki informatsii*, 2011, vol. 93, no. 3, pp. 62-69 (in Russian).

34. Aida K., Takefusa A., Nakada H., Matsuoka S., Nagashima U. Performance Evaluation Model for Job Scheduling in a Global Computing System. *Proceedings of 7th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing*, 1998, pp. 352-353.

35. Calheiros R., Ranjan R., Beloglazov A., De Rose C., Buyya R. CloudSim: a Toolkit for Modeling and Simulation of Cloud Computing Environments and Evaluation of Resource Provisioning Algorithms. *Software: Practice and experience*, 2011, vol. 41, no. 1, pp. 23-50.

36. Chen W., Deelman E. Workflowsim: A Toolkit for Simulating Scientific Workflows in Distributed Environments. *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on E-Science (e-Science)*, 2012, pp. 1-8.

37. Casanova H., Giersch A., Legrand A., Quinson M., Suter F. SimGrid: a Sustained Effort for the Versatile Simulation of Large Scale Distributed Systems. *Preprint on Arxiv.org.* Available at: http://arxiv.org/abs/1309.1630 (accessed 29 October 2016).

38. Grushin D. A., Pospelov A. I. *Sistema modelirovaniia Grid: realizatsiia i vozmozhnosti primeneniia* [Grid modeling environment: implementation and application]. *Proceedings of the Institute for System Programming*, 2010, vol. 18, pp. 243-260 (in Russian).

39. Xia H. The MicroGrid: Using Online Simulation to Predict Application Performance in Diverse Grid Network Environments. *Proceedings of the Workshop on Challenges of Large Applications in Distributed Environments (CLADE'04)*, IEEE Press, 2004, pp. 1-10.

40. Taura K. Grid Explorer: A Tool for Discovering, Selecting, and Using Distributed Resources Efficiently. IPSJ SIG Technical Report, 2004, vol. 2004, no. 81 (HPC-99), pp. 235-240.

41. Glinskii B. M., Rodionov A. S., Marchenko M. A., Podkorytov D. I., Vins D. V. Agentno-orientirovannyi podkhod k imitatsionnomu modelirovaniiu superEVM ekzaflopsnoi proizvoditel'nosti v prilozhenii k raspredelennomu statisticheskomu modelirovaniiu [Agent-oriented approach to simulate exaflop supercomputer with application to distributed stochastic simulation]. *Bulletin of the South Ural state university, Series: Mathematical modelling, programming and computer software*, 2012, vol. 277, no. 18, pp. 93-106 (in Russian).

42. Foster I. Globus Toolkit Version 4: Software for Service-Oriented Systems. *Proceedings of the IFIP International Conference on Network and Parallel Computing*. Springer, 2006, pp. 2-13.

43. Bellifemine F., Bergenti F., Caire G., Poggi A. Jade: A Java Agent Development Framework. *Multiagent Systems, Artificial Societies, And Simulated Organizations: Multi-Agent Programming*, 2006, vol. 15, pp. 125-147.

44. Iosup A., Li H., Jan M., Anoep S., Dumitrescu C., Wolters L., Epema D. H. J. The Grid Workloads Archive. *Future Generation Computer Systems*, 2008, vol. 24, no. 7, pp. 672-686.

45. Feitelsona D. G., Tsafrirb D., Krakova D. Experience with Using the Parallel Workloads Archive. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2014, vol. 74, no. 10, pp. 2967-2982.

46. Chapin S. J., Cirne W., Feitelson D. G. and al. Benchmarks and Standards for the Evaluation of Parallel Job Schedulers. Job Scheduling Strategies for Parallel Processing. Springer-Verlag. *Lecture Notes Computer Science*, 1999, vol. 1659, pp. 66-89.

47. Fujimoto R. M. *Parallel and Distributed Simulation Systems*. USA, Wiley, 2000, 300 p.

48. Sulistio A., Yeo C. S., Buyya R. A Taxonomy of Computer-Based Simulations and Its Mapping to Parallel and Distributed Systems Simulation Tools. *Software: Practice and Experience*, 2004, no. 34, pp. 653-673.

49. Bakhmurov A. G., Volkanov D. Iu., Smelianskii R. L., Chemeritskii E. V. Integrated Environment for the Analysis and Design of Distributed Real-Time Embedded Computing Systems. *Programming and Computer Software*, 2013, vol. 39, no. 5, pp. 242-254.

50. Deviatkov V. V. Nekotorye voprosy razvitiia metodologii imitatsionnykh issledovanii [Some issues of methodology simulation research development]. *Applied informatics*, 2014, vol. 52, no. 4, pp. 81-88 (in Russian).

51. Feoktistov A. G. Metodologiia kontseptualizatsii i klassifikatsii potokov zadanii masshtabiruemykh prilozhenii v raznorodnoi raspredelennoi vychislitel'noi srede [The Methodology of Conceptualizing and Classifying Job Flows of the Scalable Applications in a Heterogeneous Distributed Computing Environment]. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 1-25 (in Russian).

52. Bychkov I., Oparin G., Tchernykh A., Feoktistov A., Bogdanova V., Gorsky S. Conceptual Model of Problem-Oriented Heterogeneous Distributed Computing Environment with Multi-Agent Management. *Programme and Abstracts of the 12th International Symposium on Intelligent Systems*, Moscow, RUDN Publ., 2016, p. 30.

53. Lapshin V. A. *Ontologii v kompiuternykh sistemakh* [Ontologies in Computer Systems]. Moscow, Scientific World Publishing House, 2010, 224 p.

54. Fereferov E. S., Bychkov I. V., Khmel'nov A. E. Tekhnologiia razrabotki prilozhenii baz dannykh na osnove deklarativnykh spetsifikatsii [Technology for database applications based on declarative specifications]. *Computational technologies*, 2014, vol. 19, no. 5, pp. 85-100 (in Russian).

55. Fereferov E. S., Khmel'nov A. E. Avtomatizatsiia sozdaniia pol'zovatel'skogo interfeisa na osnove modeli prilozheniia baz dannykh [Automatization of user interface creation based on models of database application]. *Bulletin of the Buryat state university*, 2013, no. 9, pp. 100-118 (in Russian).

56. Gorbunov-Posadov M. M. *Rasshiriaemye programmy* [Expanded programs]. Moscow, Poliptikh, 1999, 336 p. (in Russian).

57. Irkutsk supercomputer center SB RAS. 2016. Available at: http://hpc.icc.ru (accessed 15 November 2016).

58. Bogdanova V. G., Pashinin A. A. Instrumental'nye sredstva avtomatizatsii mnogovariantnykh raschetov pri issledovanii sistem massovogo obsluzhivaniia [Tools for Automation Multivariate Computations in the Study Queuing Systems]. *Fundamental research*, 2016, no. 9-3, pp. 467-472.

Статья поступила 15 ноября 2016 г.

Информация об авторах

Феоктистов Александр Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент. Старший научный сотрудник лаборатории параллельных и распределенных вычислительных систем. Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН. Область научных интересов: концептуальное программирование, распределенные вычисления, имитационное моделирование, мультиагентные технологии. E-mail: agf65@yandex.ru

Корсуков Александр Сергеевич – кандидат технических наук. Научный сотрудник лаборатории параллельных и распределенных вычислительных систем. Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН. Область научных интересов: распределенные вычисления, мультиагентные технологии, веб-программирование. E-mail: alexask@mail.ru

Дядькин Юрий Алексеевич – аспирант лаборатории параллельных и распределенных вычислительных систем. Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН. Область научных интересов: концептуальное программирование, распределенные вычисления, имитационное моделирование. E-mail: dyadkin_ua@inbox.ru

Адрес: 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 134.

Toolkits for simulation modeling of subject-oriented distributed computing systems

A. G. Feoktistov, A. S. Korsukov, Yu. A. Dyadkin

Relevance. *The rapid development of high-performance computing, including distributed computing environments of different purposes, leads to the topicality of a study of their effectiveness and reliability in solving large-scale fundamental and applied problems. Simulation modeling is one of the main tools of such study.* ***The aim of this paper*** *is the analysis of the current state in the field of a study of the distributed computing environments based on the simulation modeling, the determination of operational and functional requirements to the tools for a model experiments support, and the expansion of the existing base of tools. The particular attention is paid to the use of a subject domains specificity for solved problems in the process of simulation modeling.* ***Methods.*** *In the paper, we present new tools for the development of simulation models. These tools integrate methods of conceptual programming and program design automation based on the framework-approach to programming. This integration provides the effective implementation of the automated transition from the conceptual model of the environment to its simulation model.* ***Novelty.*** *The use of a conceptual model of the environment in the creation and application of its simulation models allows to extend the range of studied architectures of the environment in comparison with known toolkits. The conceptual model includes the several components of comprehensive knowledge. The computational knowledge represents software modules for solving problems in subject domains and working with the environment objects, including planning of they actions. The schematic knowledge describes the modular structure of models and algorithms. The production knowledge is used to support decision-making on the select of optimal algorithms, depending on the environment state. The last component of knowledge is the information about the software and hardware infrastructure of the environment and administrative policies in its nodes.* ***Results.*** *The comparative analysis of the known tools for simulation modeling of the environment allowed us to determine the relevant directions of the expansion of the existing base of tools. We developed toolkit SIRIUS II for simulation modeling of the subject-oriented environment taking into account this analysis. This toolkit is partially eliminates a range of drawbacks of the analyzed tools.* ***Practical relevance.*** *Results of this study can be used by specialists in the field of parallel and distributed computing for the analysis and evaluation of the reliability and efficiency of computational systems used by them.*

Key words: *distributed computing environment, simulation modeling, toolkits.*

Information about Authors

Feoktistov Aleksandr Gennadyevich – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Senior Research Officer of the Laboratory of Parallel and Distributed Computing Systems. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS. Field of research: conceptual programming, distributed computing, simulation modeling, multi-agent technologies. E-mail: agf65@yandex.ru

Korsukov Aleksandr Sergeevich – Ph.D. of Engineering Sciences. Research Officer of the Laboratory of Parallel and Distributed Computing Systems. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS. Field of research: distributed computing, multi-agent technologies, web programming. E-mail: alexask@mail.ru

Dyadkin Yuriy Alekseevich – Post-graduate Student of the Laboratory of Parallel and Distributed Computing Systems. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS. Field of research: distributed computing, conceptual programming, simulation modeling. E-mail: dyadkin_ua@inbox.ru

Address: Russia, 664033, Irkutsk, Lermontov Str., 134.

УДК 658.51

Автоматизированное управление загрузкой оборудования мелкосерийного производства в составе внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы

Догадина Е. П., Кропотов Ю. А.

Постановка задачи: *Одним из способов повышения эффективности промышленного предприятия является применение автоматизированных систем управления производственными процессами. Поэтому вопросам создания более совершенных автоматизированных систем управления производствами посвящается последнее время всё большее число работ и научных исследований. В то же время существующие методы и алгоритмы автоматизированного управления были созданы без учета появления новых информационных производственных технологий. Поэтому возникает задача создания методов на основе новых подходов к решению вопросов управления производствами и разработки новых алгоритмов, позволяющих осуществлять более эффективное управление производственными процессами.* ***Объектом исследования*** *является промышленное предприятие с последовательной временной и ячеистой пространственной структурой организации производства. При этом данная структура характерна для предприятий мелкосерийного производства.* ***Целью работы*** *является разработка алгоритма и программного обеспечения для автоматизированного управления загрузкой оборудования, предназначенного для мелкосерийного производства, и внедрение его в существующее на предприятии внешнее математическое обеспечение информационно-управляющей системы.* ***Используемые методы:*** *В работе использовался аппарат теории массового обслуживания, методы оптимизации глобального поиска, аддитивный метод свертки критериев.* ***Научная новизна*** *алгоритма заключается в осуществлении многокритериального управления процессами производства, представленными на базе теории массового обслуживания, с целью оперативной замены оборудования с отказом в работе на резервное. Кроме того, разрабатываемый алгоритм должен быть реализован в виде современного программного обеспечения, которое будет иметь высокое быстродействие, наглядность полученных результатов, а также возможность интеграции в существующее внешнее математическое обеспечение информационно-управляющей системы промышленного предприятия.* ***Результат:*** *разработано программное обеспечение, которое включает в себя наглядное представление о ходе изготовления продукции, возможность корректировки процесса производства с учетом определенных условий и ограничений, накладываемых на производственный процесс.* ***Практическая значимость:*** *разработанный алгоритм и программное обеспечение загрузкой оборудования при отказах позволит в сжатые сроки осуществлять перепланирование процесса производства, что дает возможность выполнить заказ в установленное время даже при возникновении непредвиденных ситуаций (отказ оборудования, длительный ремонт, высокий уровень износа).*

Ключевые слова: *автоматизированное управление, повышение эффективности, загрузка оборудования, усовершенствованное планирование, диаграмма Ганта, производственные мощности.*

Постановка задачи

Работа направлена на разработку алгоритма управления загрузкой оборудования при отказах в составе внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы промышленного предприятия.

Состояние единицы оборудования промышленного предприятия характеризуется качественной оценкой в зависимости от текущих значений параметров технического состояния его отдельных ресурсо-определяющих узлов, оцененных относительно их идеального состояния. Отказ единицы оборудования объекта происходит из-за появления в нем дефекта, выхода параметра технического состояния, определяющего работоспособность

объекта, за установленные пределы. Кроме этого, в качестве периода отказа оборудования будем понимать графики простоя оборудования из-за ремонта и планового осмотра.

На достаточно крупных предприятиях выбор резервного оборудования производится из нескольких тысяч текущих, в зависимости от большого количества критериев. Процесс поиска наилучшего по параметрам и характеристикам оборудования без использования предложенного алгоритма является достаточно трудоемким и иногда неосуществимым. Поэтому одной из важных задач для предприятий является оптимизация производственных процессов, в том числе автоматизация загрузки оборудования в случае отказов по поточным линиям и временным интервалам.

Разрабатываемый алгоритм и программное обеспечение управления загрузкой оборудования при отказах позволяет планировать и перепланировать производственные процессы с учетом особенностей параметров и характеристик используемого резервного оборудования для замены текущего. Предлагаемый алгоритм и программное обеспечение управления дают возможность представить детальную картину производства посредством графика загрузки оборудования, учитывая условие проверки оборудования на пригодность к работе.

Современное состояние исследований и разработок в соответствующей области

Поскольку разрабатываемый алгоритм управления загрузкой оборудования при отказах будет являться основой для разработки программного обеспечения, входящего в состав существующей на предприятии информационно-управляющей системы, то и рассмотрение вопроса об аналогичных исследованиях и работах будет производиться в области автоматизированных систем управления процессами производства.

В современных информационных системах управления и планирования предприятием широкое распространение получили такие системы планирования как APS. Системы APS (Advanced Planning and Scheduling – усовершенствованное планирование) – это системы синхронного оптимизационного планирования производства, которые ориентированы на интеграцию планирования звеньев цепочки поставок, учитывающие все особенности и ограничения производства.

Под синхронным планированием понимается планирование производства, осуществляемое одновременно с учетом ограничений по мощностям и ресурсам (машины, инструменты, люди). Оптимизация в системах APS базируется на эвристиках и/или на сложных математических моделях, которые создаются для конкретной отрасли, конкретного предприятия. При этом тонкая настройка алгоритмов оптимизации может быть осуществлена непосредственно самими пользователями. Большинство APS-систем являются инструментами имитационного моделирования производственной деятельности и применяются для поддержки принятия решений на уровне оперативного управления производством [1-2].

В настоящее время на рынке представлены APS-системы как российского производства, такие как Гольфстрим компании АСКОН, так и зарубежного: ORTEMS, Preactor APS (Preactor International Ltd) [3, 4, 5].

Чтобы выйти на уровень планирования APS-систем, предприятию необходимо адаптировать структуру управления к требованиям автоматизации, сформировать соответствующую идеологию мышления среди обслуживающего персонала, подготовить технические средства, упорядочить материальные и информационные потоки. Разрабатываемый алгоритм и программное обеспечение для управления загрузкой оборудования при отказах является прототипом одного из модулей APS-систем (модуль Finite Capacity Scheduling – детальное планирование загрузки производственных мощностей).

Математическая модель производственного процесса мелкосерийного производства

В работе рассматривается последовательная временная и ячеистая пространственная структуры организации производства. Данная структура характерна для предприятий мелкосерийного производства.

Временная структура организации производства определяется составом элементов производственного процесса и порядком их взаимодействия во времени. Форма организации производства с последовательной передачей предметов труда представляет собой такое сочетание элементов производственного процесса, при котором обеспечивается движение обрабатываемых изделий по всем производственным участкам партиями произвольной величины. Предметы труда на каждую последующую операцию передаются лишь после окончания обработки всей партии на предшествующей операции. Данная форма является наиболее гибкой по отношению к изменениям, возникающим в производственной программе, позволяет достаточно полно использовать оборудование, что дает возможность снизить затраты на его приобретение.

Пространственная структура организации производства определяется количеством технологического оборудования, сосредоточенного на рабочей площадке (числом рабочих мест), и расположением его относительно направления движения предметов труда в окружающем пространстве. В зависимости от количества технологического оборудования (рабочих мест) различают производственную систему с цеховой, линейной или ячеистой структурой. Ячеистая пространственная структура организации производства объединяет признаки линейной и цеховой, т.е. оборудование (рабочие места) могут располагаться как последовательно, так и параллельно потоку заготовок, что предполагает их специализацию по признаку технологической однородности. В этом случае партия деталей, обрабатываемая на участке, может передаваться с одного рабочего места на другое последовательно или направляется на одно из свободных рабочих мест, где проходит необходимый цикл обработки.

Разработаем математическую модель производственного процесса с последовательной ячеистой структурой на базе теории массового обслуживания. Рассматриваемую структуру организации производства можно

представить на базе нестационарных многофазных одноканальных и многоканальных систем массового обслуживания с ожиданием и с отказом.

Для описания функционирования производственных процессов будем использовать следующие основные характеристики: ёмкость источника заявок $N_0(t)$, длина очереди заявок $Q_0(t)$ и число устройств обслуживания $M_0(t)$ [1, 2].

В каждый момент времени производственный процесс может находиться в одном из состояний, определяемых такими характеристиками, как число функционирующих устройств обслуживания $M(t)$, число занятых устройств $Z(t)$ и число заявок в очереди $Q(t)$. Пусть $S(m,z,q)$ представляет собой состояние, когда в системе используется m устройств, из них занято обслуживанием z устройств и q заявок находится в очереди.

Для описания интенсивностей поступления заявок в систему и интенсивностей обслуживания заявок введем векторные величины $\lambda(t)$ и $\mu(t)$.

Структурная схема функционирования процессов производства с помощью аппарата теории массового обслуживания представлена на рис. 1.

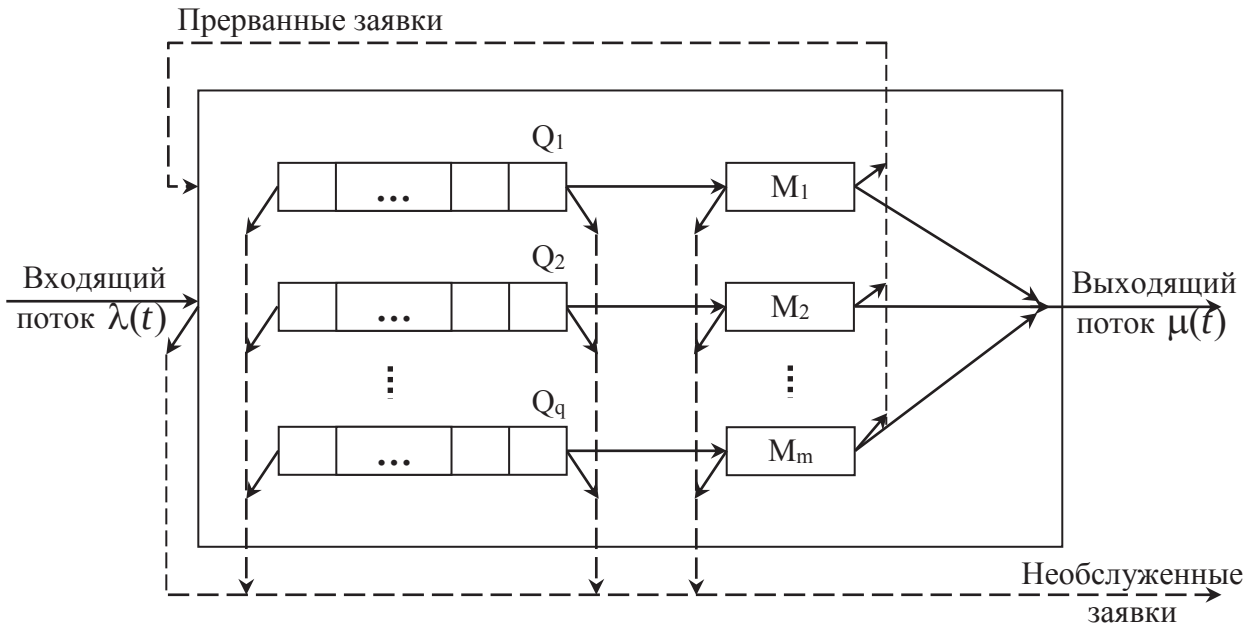


Рис. 1. Структурная схема функционирования производственных процессов на основе математического аппарата теории массового обслуживания

Разработаем математическую модель функционирования производственных процессов с последовательной ячеистой структурой на основе систем дифференциальных уравнений Колмогорова на рассматриваемом интервале времени функционирования $t \in [0,T]$ [1, 2].

$$\frac{dp_a(t)}{dt} = -\sum_{\substack{a,b\in N' \\ b\neq a}} d_{ab}(t)\cdot p_a(t) + \sum_{\substack{a,c\in N' \\ c\neq a}} d_{ca}(t)\cdot p_c(t) \qquad (1)$$

где $N^{'}$ – множество пар индексов состояний $N^{'} = \{(a,b) \in N^2 | d_{ab} = (S_a, S_b)\}$ и $N = \{0,1,2,..\}$.

Использование в математической модели переменных a, b, c говорит о том, что система находится в состояниях $S(m_a, z_a, q_a)$, $S(m_b, z_b, q_b)$ и $S(m_c, z_c, q_c)$ соответственно. Марковская цепь переходов по состояниям $S(m_a, z_a, q_a)$, $S(m_b, z_b, q_b)$ и $S(m_c, z_c, q_c)$ представляет собой полный орграф.

Начальное состояние выражено как

$$p_a(0) = p_{a0} > 0, \quad a \in N. \tag{2}$$

Также необходимо соблюдать условие нормировки

$$\sum_{a \in N} p_a(t) = 1. \tag{3}$$

Данная математическая модель имеет ряд особенностей [2]:

1) характеристики системы и интенсивности поступления и обслуживания заявок представлены в векторной форме, что расширяет круг исследуемых заявок;
2) состояния системы представляют собой состояния, когда в системе используются значения трех характеристик, а именно: число используемых устройств; число занятых под обслуживанием устройств; число заявок, находящихся в очереди.
3) плотности вероятности перехода системы из одного состояния в другое являются функциями характеристик, задающих исходные состояния для перехода, и интенсивностей потоков, происходящих в системе.

Плотность $d_{ab}(a \neq b)$ перехода из состояния S_a в состояние S_b определена следующим образом

$$d_{ab} = \begin{cases} \mu_a(t), b = a-1, t \in [0,T]; \\ \lambda_a(t), b = a+1, t \in [0,T]; \\ 0, a \neq b, a = 0, 1, 2.... \end{cases}$$

С помощью данной математической модели производственных процессов (1–3) определены дополнительные характеристики производственной системы функционирования, такие как среднее число функционирующих устройств в момент времени t, среднее число занятых каналов и среднее число обслуживаемых заявок в момент времени t, среднее число заявок в очереди и в системе в момент времени t [1, 2, 6, 7, 8].

Разработка математической модели и алгоритма управления параметрами производственного процесса мелкосерийного производства

На основе математической модели процессов с последовательной ячеистой структурой разработан алгоритм управления параметрами производственных процессов.

При управлении параметрами производственных процессов выполняются следующие функции [8]:

1) определяется вектор $X = (X_1, X_2, ..., X_n)$ управляемых параметров системы;
2) задается множество $\Omega_{доп}$ допустимых значений вектора $X = (X_1, X_2, ..., X_n)$;
3) формируются дополнительные ограничения, накладываемые на производственный процесс, в виде неравенств $\psi_i(p(t), X) \le 0, \quad i = \overline{1,l}$;
4) задаются критерии $K = (K_1, K_2, ..., K_r)$ для задачи многокритериальной векторной оптимизации управляемых параметров производственного процесса $X = (X_1, X_2, ..., X_n)$.

В качестве управляемых параметров производственного процесса $X = (X_1, X_2, ..., X_n)$ можно выделить следующие [9, 10]:

- параметры поступления заявок (интенсивность входного потока $\lambda(t)$, емкость источника заявок $N(t)$ и т.п.);
- параметры обслуживания заявок (интенсивность обслуживания $\mu(t)$, число каналов обслуживания $M(t)$ заявок, длина очереди $Q(t)$ и т.п.);
- параметры исследуемой системы, определяемые как функции параметров поступления и обслуживания заявок (стоимость обслуживания всей системы или одного канала, издержки простоя и эксплуатации, эффективность работы системы и т.п.).

Разработанная математическая модель управления параметрами производственного процесса с последовательной ячеистой структурой имеет вид [2, 8]

$$K = f(p(t), X) \to \min(\max), \tag{4}$$

$$K = (K_1, K_2, ..., K_r),$$

$$\psi_i(p(t), X) \le 0, \quad i = \overline{1,l}, \tag{5}$$

$$X = (\lambda, \mu, m, q) \in \Omega_{доп}, \tag{6}$$

$$\frac{dp(t)}{dt} = f(X(t), p(t)), \tag{7}$$

$$p_a(0) = p_{a0}, a \in N, \tag{8}$$

$$\sum_{a \in N} p_a(t) = 1, \tag{9}$$

где K – вектор-функция выбранных критериев оптимальности производственных процессов, X – вектор оптимизируемых параметров системы, от которого зависят плотности вероятностей переходов системы, λ – вектор интенсивностей входных потоков заявок, μ – вектор интенсивностей их обслуживания, m – число обслуживающих устройств, q – длина очереди системы, $p(t)$ – вектор-функция вероятностей состояний системы на рассматриваемом интервале времени функционирования $t \in [0, T]$,

определяемая моделью вида (7)–(9).

Система ограничений (5) и выражение (6) определяют область допустимых решений задачи.

Основными особенностями предлагаемой математической модели управления параметрами производственного процесса с последовательной ячеистой структурой являются:

1) возможность высокой размерности модели, зависящей от числа уравнений системы (1), что актуально для большинства практических задач;
2) наличие дискретных и векторных компонент в составе вектора управляемых параметров X (6).

Требуется разработать алгоритм управления параметрами производственных процессов в зависимости от поведения целевой функции (4)–(9). Для реализации алгоритма управления производственными процессами мелкосерийного типа производства потребовалось внести некоторые модификации в реализацию метода глобального поиска на базе генетического алгоритма.

Разрабатываемый алгоритм управления параметрами производственных процессов состоит из следующих шагов [2, 11, 12, 13].

1. Т.к. в составе вектора управляемых параметров X значения $X_1, X_2, ..., X_n$ могут быть не только дискретными, но и векторными $X_1(t), X_2(t), ..., X_n(t)$, то необходимо пересмотреть привычную терминологию генетического алгоритма в связи с данной особенностью. Введем термин «хромосома», в качестве которой представляется каждое значение $X_1(t), X_2(t), ..., X_n(t)$ вектора оптимизируемых параметров $X = (X_1, X_2, ..., X_n) \in \Omega_{доп}$.
2. Под особью $X_{i,}, i = 1..N_{pop}$ (N_{pop} – число популяций) понимается соответствующее значение вектора $(X_{i,1}, X_{i,2}, ..., X_{i,n}) \in \Omega_{доп}$, компоненты которого являются в данном случае генами.
3. Функция соответствия, оценивающая хромосомы по степени их приспособленности к выполнению критерия оптимизации, реализована на основе метода рулетки. Функция соответствия хромосомы определяется для каждой особи в отдельности и представляет собой значение целевой функции, вычисленного с помощью векторной свертки, в зависимости от критериев.
4. Выбранные гены (значения вектора $(X_{i,1}, X_{i,2}, ..., X_{i,n})$) для скрещивания не должны совпадать, а также значение этих генов должно быть в пределах области допустимых значений $\Omega_{доп}$.
5. Для осуществления мутации необходимо выбрать ген, который подвергается мутации, и обозначить его порядковый номер в популяции.
6. В качестве условия завершения процесса используем достижение заданного числа поколений.

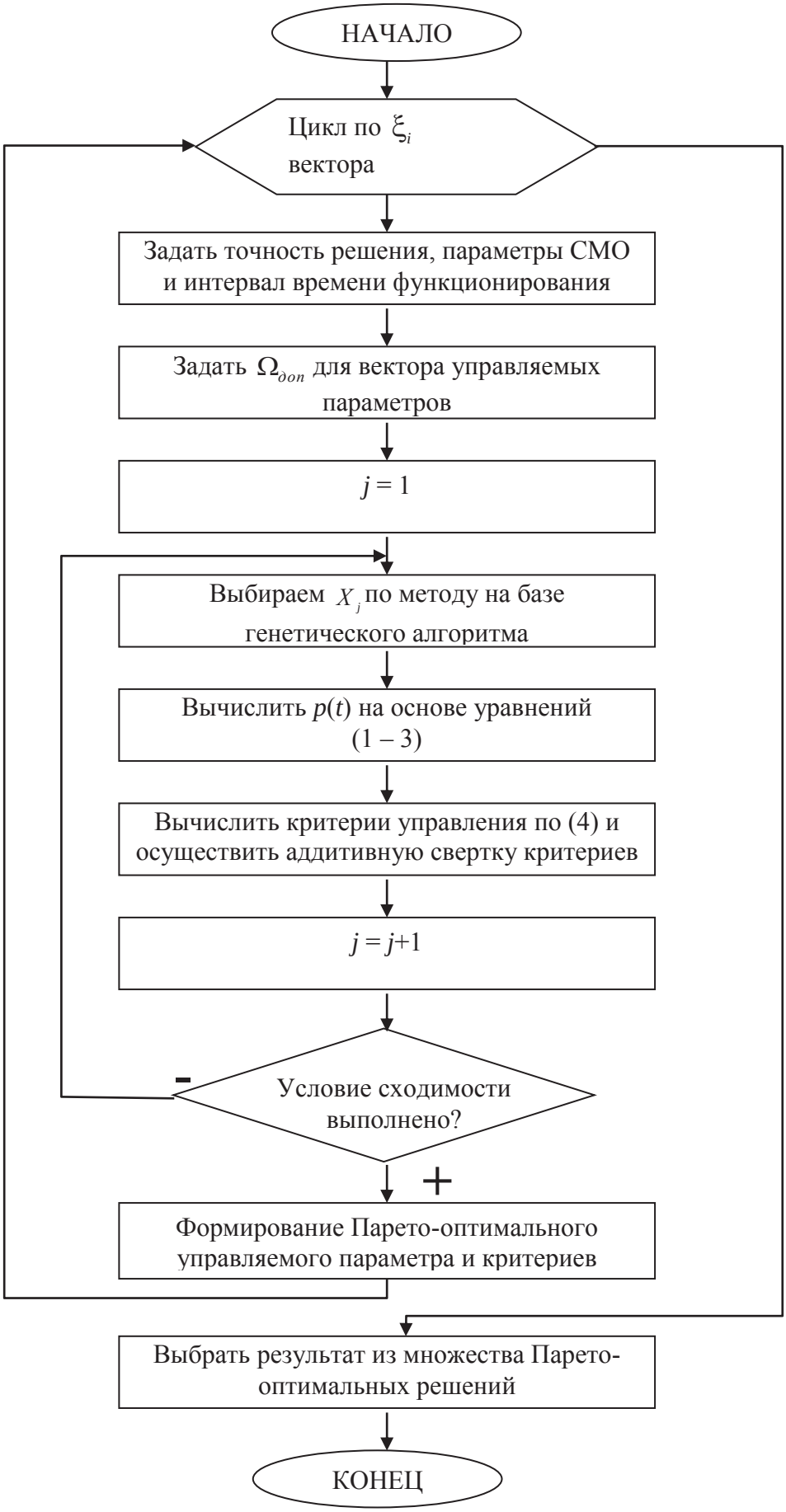


Рис. 2. Алгоритм управления параметрами производственных процессов

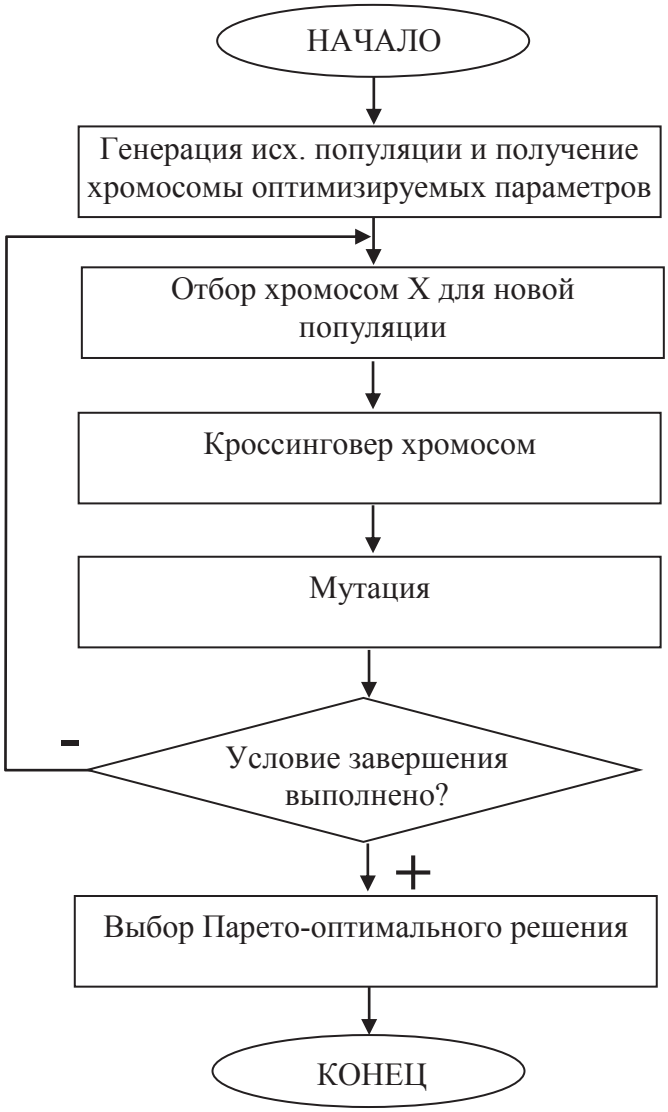


Рис. 3. Принцип работы генетического алгоритма

На рис. 2 представлен общий алгоритм управления параметрами производственных процессов.

На рис. 3 представлен принцип работы генетического алгоритма, входящего в состав алгоритма управления параметрами производственных процессов.

На рис. 2 видно, что осуществляется решение задачи многокритериального управления производственными процессами.

$$F(\xi, K(X)),$$

$$X = (X_1, X_2, ..., X_n) \in \Omega_{доп},$$

где $\xi = (\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n)$ – весовые коэффициенты относительной важности критериев.

В данной работе весовые коэффициенты относительной важности критериев задаются в соответствии с условиями

$$0 \le \xi_j \le 1,\ j = 1...n$$

$$\sum_{j=1}^{n} \xi_j = 1,\ j = 1...n.$$

Пример применения алгоритма управления параметрами производственного процесса мелкосерийного производства

Рассмотрим пример реализации алгоритма управления производственными процессами с последовательной ячеистой структурой, характерной для мелкосерийного типа производства, применительно к конкретному производству. Преимуществом данного алгоритма является возможность его интеграции в состав внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы предприятия.

Сущность интеграции разрабатываемого алгоритма и программного обеспечения к нему в существующую информационно-управляющую систему предприятия представлена на рис. 4. В данном случае данные об оборудовании ($Об_1$, $Об_2$, .., $Об_n$) поступают из автоматизированной информационно-управляющей системы, существующей на предприятии. Блок многокритериальной оптимизации, представленной на рис. 4, осуществляется на базе разработанного алгоритма управления параметрами производственного процесса. Управляемые параметры алгоритма представлены в блоке вычисляемых данных.

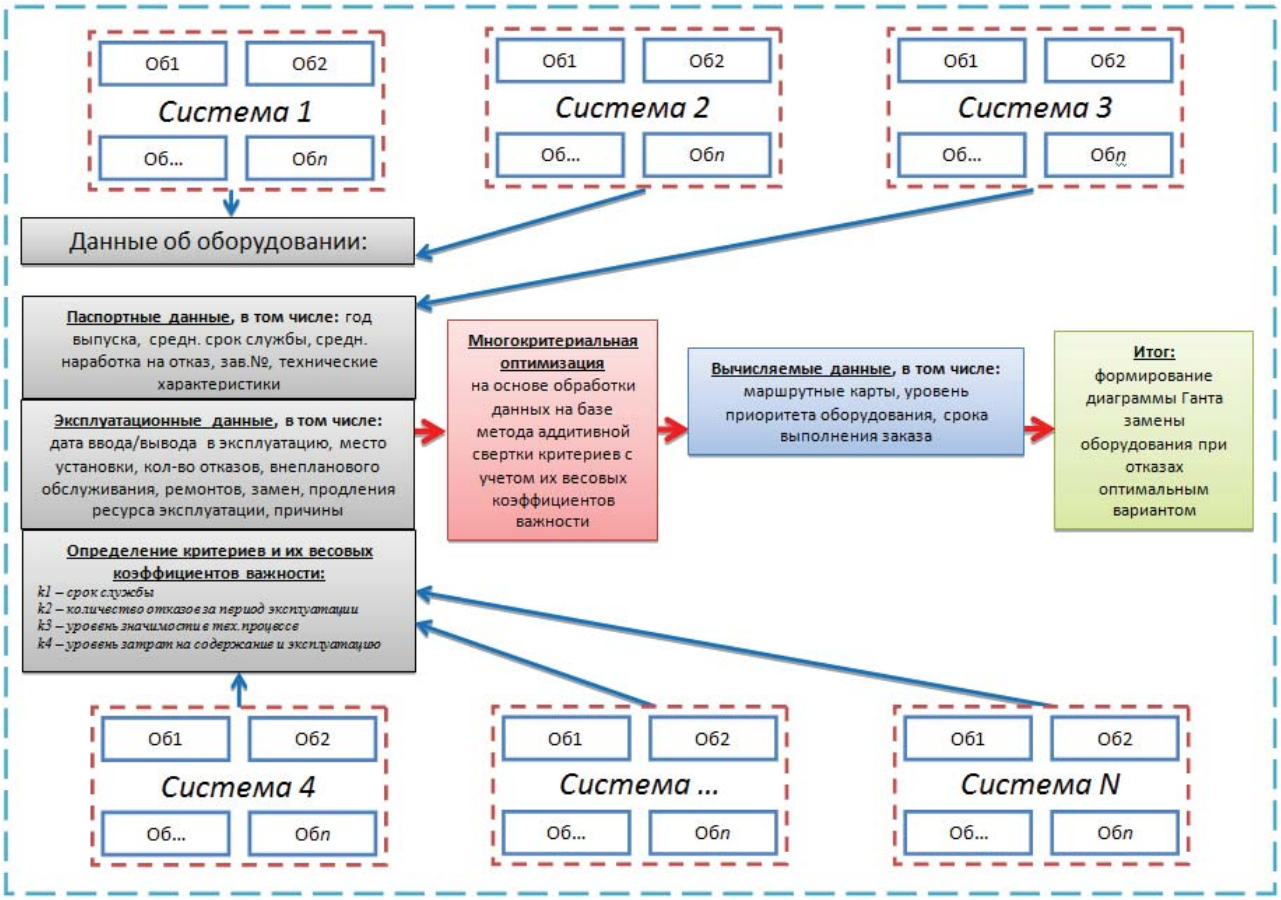


Рис. 4. Интеграция разрабатываемого алгоритма и программного обеспечения к нему в существующую информационно-управляющую систему предприятия

Программное обеспечение, разработанное на базе алгоритма управления производственными процессами, осуществляет работу с базой данных, содержащей нормативно-справочную информацию. Нормативно-справочная

информация в данные базы может быть внесена как одним оператором (который отвечает за разработку плана), так и непосредственно внесена из соответствующих отделов (подразделений) предприятия (отдел оборудования и ремонта, бюро оснастки, отдел главного конструктора и т.д.), при условии, что технические средства позволяют.

При разработке программного обеспечения необходимо учитывать следующие условия [8, 9, 10].

Условие, когда запрещается прерывать выполнение операции, записывается в виде:

$$t_{O_{im}}^{нач} + T_{O_{im}} = t_{O_{im}}^{кон},$$

где $t_{O_{im}}^{нач}$ – момент начала обработки операции O_i на оборудовании m, $T_{O_{im}}$ – время обработки операции O_i на оборудовании m, $t_{O_{im}}^{кон}$ – момент окончания обработки операции O_i на оборудовании m.

Условие, когда момент начала выполнения следующей операции по обработке изделия при последовательном виде движения не может начаться раньше, чем завершится обработка данной операции, записывается выражением:

$$t_{O_{im}}^{нач} \geq t_{O_{i-1m}}^{кон}$$

Условие, когда момент начала выполнения следующей операции по обработке изделия при последовательно-параллельном виде движения должен превышать момент начала выполнения предыдущей операции на минимальный возможный интервал времени ($t_{\min}$), записывается в виде:

$$t_{O_{i-1m}}^{кон} - t_{O_{im}}^{нач} \geq t_{\min}$$

Следует отметить, что не обязательно добиваться строгой аналитической формулировки некоторых ограничений, особенно отражающих динамические зависимости, т. к. алгоритмическое соблюдение приведенных выше ограничений не вызывает никаких затруднений.

Таким образом, задача заключается в том, чтобы для производственного предприятия с заданными маршрутами обработки изделий необходимо построить такой вариант управления, который удовлетворял бы заданным условиям и ограничениям, и был наиболее близок к выбранному критерию оптимальности. Для начала моделирования плана работ пользователю необходимо назначить параметры расчета, такие как интервал планирования, параметры оценки нахождения оборудования в работе, а также параметры, связанные со спецификой производственного процесса, такие как вид движения производства, количество наладчиков оборудования, принятые временные перерывы на производстве.

На рис. 5 представлен план загрузки оборудования на одной поточной линии. Под поточной линией понимается комплекс оборудования, взаимосвязанного и работающего согласовано с заданным ритмом по единому производственному процессу.

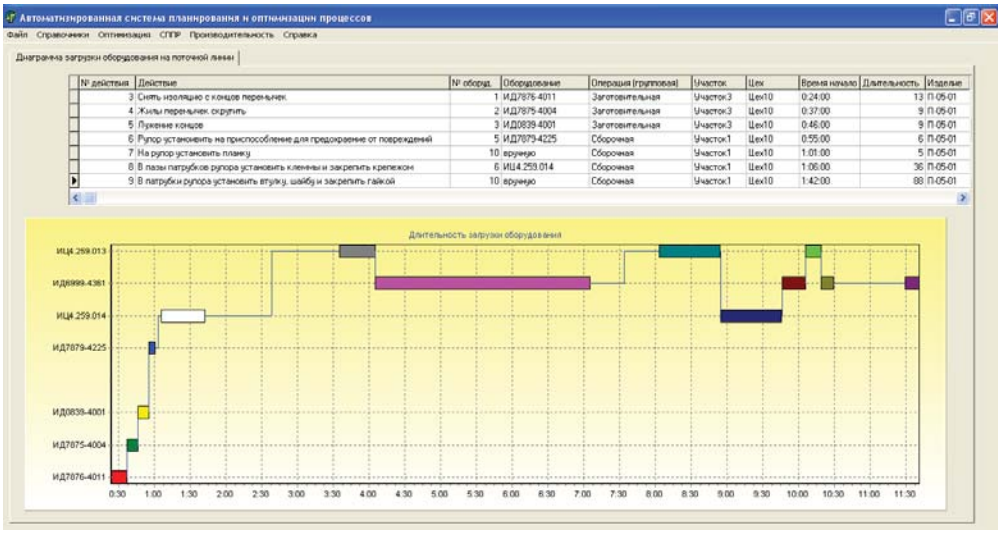


Рис. 5. План загрузки оборудования на одной поточной линии

Разработанное программное обеспечение может выполнять следующие функции:

- возможность масштабирования диаграммы Ганта;
- возможность ручной корректировки длительности операций при изготовлении изделия;
- возможность смещения времени начала и завершения операции;
- возможности корректировки (переноса) процесса изготовления с одного оборудования на другое.

При построении графика загрузки оборудования учитывается условие проверки оборудования на пригодность к работе. Если пользователь составляет график и какое-то оборудование, участвующее в графике, находится в ремонте или не исправно, то программой выдается соответствующее предупреждение.

Разработанное программное обеспечение позволяет оценить и скорректировать загрузку оборудования по поточным линиям и временным интервалам.

Реализация программного обеспечения велась на основе объектно-ориентированного языка программирования Delphi и СУБД Firebird.

Выводы

В данной работе представлена разработка алгоритма управления параметрами производственного процесса мелкосерийного производства. На базе данного алгоритма реализовано программное обеспечение управления загрузкой оборудования, входящее в состав внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы промышленного предприятия. Разработанное программное обеспечение управляет загрузкой оборудования по поточным линиям и временным интервалам.

С помощью разработанного алгоритма управления параметрами производственного процесса мелкосерийного производства экономится время на автоматизацию управления графиком производства с учетом требуемых производственных ограничений, а также осуществляется возможность

оперативно реагировать на непредвиденные обстоятельства в ходе выполнения производственного процесса.

Литература

1. Догадина Е. П., Кропотов Ю. А., Суворова Г. П. Математическая модель определения вероятностей состояний системы обслуживания // Радиотехника. 2009. № 11. С. 103-105.

2. Догадина Е. П. Функциональная модель управления производственными процессами с последовательной ячеистой структурой // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2011. № 1. С. 119-120.

3. Гольфстрим – MRP система автоматизированного управления производством [Электронный ресурс]. – URL: http://gulfstream-mrp.ru (дата обращения: 30.10.2016).

4. APS планирование с системой Ortems [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ortems.ru (дата обращения: 30.10.2016).

5. Products - Preactor International Limited - A Siemens [Электронный ресурс]. – URL: http://www.preactor.com/Products.aspx#.WCV0tnrd28A (дата обращения: 30.10.2016).

6. Кропотов Ю. А., Быков А. А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 60-65.

7. Ермолаев В. А., Ерёменко В. Т., Карасёв О. Е., Кропотов Ю. А. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 1. С. 57-62.

8. Догадина Е. П., Кропотов Ю. А. Определение парето-оптимального множества реализации работы на примере применения генетического алгоритма // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 142-149.

9. Догадина Е. П., Коноплев А. Н. Многокритериальное управление процессами мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2011. № 1. С. 121-123.

10. Догадина Е. П., Коноплев А. Н. Метод свертки критериев при представлении оптимизируемого параметра в качестве вектора // В мире научных открытий. 2010. № 6.1 (12). С. 53-54.

11. Белов А. А., Кропотов Ю. А., Проскуряков А. Ю. Автоматизированный анализ и обработка временных рядов данных о загрязняющих выбросах в системе экологического контроля // Информационные системы и технологии. 2010. № 6 (62). С. 28-35.

12. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Аппроксимация закона распределения вероятности отсчетов сигналов акустических помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 2. С. 61-63.

13. Догадина Е. П. Программный комплекс автоматизации управления производственными процессами на базе стохастических методов локального поиска // Радиопромышленность. 2012. № 2. С. 154-159.

References

1. Dogadina E. P., Kropotov U. A., Suvorova G. P. Mathematical model of the determination of probability of the conditions of the system of the service. *Radiotekhnika*, 2009, no. 11, pp. 103-105 (in Russian).

2. Dogadina E. P. Functional model of management production process with consequent cellular structure. *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*, 2011, no. 1, pp. 119-120 (in Russian).

3. Gulfstream – MRP computer-aided production management. Available at: http://gulfstream-mrp.ru (accessed: 30 October 2016) (in Russian).

4. APS planning system Ortems. Available at: http://www.ortems.ru (accessed: 30 October 2016) (in Russian).

5. Products - Preactor International Limited - A Siemens. Available at: http://www.preactor.com/Products.aspx#.WCV0tnrd28A (accessed: 30 October 2016) (in Russian).

6. Kropotov Y. A., Bykov A. A. Algorithm of suppression of acoustic noise and the concentrated hindrances with formant band distribution rejection. *Voprosy radioehlektroniki*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 60-65 (in Russian).

7. Ermolaev V. A., Eremenko V. T., Karasev O. E., Kropotov Y. A. Model identification of discrete linear systems with variables, slowly varying parameters. *Radiotekhnika i ehlektronika*, 2010, vol. 55, no. 1, pp. 57-62 (in Russian).

8. Dogadina E. P., Kropotov U. A. Determination Steamed Ensemble to Realization of the Work on Example of the Using the Genetic Algorithm. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, 2015, no. 4, pp. 142-149 (in Russian).

9. Dogadina E. P., Konoplev A. N. Mnogokriterialinoe management process production equipments. *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*, 2011, no. 1, pp. 121-123 (in Russian).

10. Dogadina E. P., Konoplev A. N. Method of the folding of the criterion at condition of the presentation of the optimized parameter in the manner of vector. *V mire nauchnykh otkrytij*, 2010, vol. 12, no. 6.1, pp. 53-54 (in Russian).

11. Belov A. A., Kropotov Y. A., Proskuryakov A. Y. The automated analysis and processing time numbers of the data about polluting emissions in system of the ecological control. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 2010, vol. 62, no. 6, pp. 28-35 (in Russian).

12. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Approximation of the distribution law of probability samples of the signals of acoustic interference. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy*, 2011, no. 2, pp. 61-63 (in Russian).

13. Dogadina E. P. Programme complex to automations of management production process on base of the stochastic methods of local searching for. *Radiopromyshlennosti*, 2012, no. 2, pp. 154-159 (in Russian).

Статья поступила 23 ноября 2016 г.

Информация об авторах

Догадина Елена Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: системы автоматизации, проектирования и управления; оптимизация. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: delena86@yandex.ru

Кропотов Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные и информационно-управляющие системы. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Адрес: Россия, 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

The Automat Control of Loading Equipment at Small-scale Production for the External Mathematical Software of the Information Management System

E. P. Dogadina, Y. A. Kropotov

Purpose. *One of methods of increase in efficiency of industrial enterprise is application of automated control systems for production processes. Therefore the increasing number of works and scientific research is devoted to questions of creation of more perfect automated control systems for productions lately. In too time the existing algorithms of automated management were created without emergence of new information production technologies. Therefore there is the problem of creating methods on the basis of new approaches to solving the issues of production control. And also need to develop new algorithms to implement a more efficient management of production processes.* ***Object of the research*** *are industrial enterprises with the consecutive temporary and the cellular spatial structure of production organization. This structure is characteristic for the principles of small-lot production.* ***The purpose of paper*** *is development of the algorithm and the software for automated control of loading of the equipment intended for small-lot production. This software is used in the external software of management information system existing at the entity.* ***Methods.*** *In paper used the apparatus of the Queuing theory, optimization methods, global search, an additive method of convolution of criteria.* ***Scientific novelty of paper*** *consists in implementation of multicriteria process management of production, provided based on the theory of queues, for the purpose of operational replacement of the equipment with failure on reserve. Besides, the developed algorithm and the software shall be realized on the basis of use of modern software products. This software products have high speed, presentation of the received results, and also ability to integrate into the existing external software of management information system of industrial enterprise.* ***Results.*** *The software which includes the control algorithm of process of manufacture of products, with possibility of adjustment of a production process taking into account the certain conditions and restrictions imposed on production process is developed.* ***Practical importance****: the developed algorithm and the software loading of the equipment in case of refusals will allow do replanning of a production process that gives the chance to execute the order at the scheduled time even in case of unforeseen situations (equipment failure, long repair, high level of depreciation).*

Key words*: automated control, raise efficiency, loading equipment, improved planning, Gantt chart, production capacity.*

Information about Authors

Elena Petrovna Dogadina – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: systems to automations, designing and management; optimization. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: delena86@yandex.ru

Yurij Anatolievich Kropotov – Dr. of Engineering Sciences, Full Professor. Head of the Department «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication information and control systems. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Address: Russia, 602264, Murom, st. Orlovskaya, h. 23.

УДК 623.624

Оператор преобразования трафика для преднамеренного повышения структурной сложности информационных потоков

Макаренко С. И., Коровин В. М., Ушанев К. В.

Постановка задачи. *Развитие теории информационной безопасности и информационного противоборства требует формирования новых информационно-технических воздействий (ИТВ). Эти новые воздействия могут использоваться для тестирования устойчивости и безопасности телекоммуникационных систем, а также для разработки способов их защиты. Наиболее распространенным типом ИТВ на телекоммуникационные системы являются удаленные сетевые атаки. Проведенный анализ способов обнаружения удаленных сетевых атак показал, что в подавляющем большинстве случаев такое обнаружение основано на анализе интенсивности трафика в сети. Новые ИТВ, обладающие свойством бескомпроматности и скрытности, должны обеспечивать неизменность интенсивности трафика при проведении удаленной атаки. К таким ИТВ можно отнести атаки, ориентированные на усложнение структуры трафика. Они основаны на известных фактах снижения своевременности функционирования маршрутизаторов, при обработке в них трафика сложной структуры в десятки раз. Вместе с тем, известные ИТВ, ориентированные на усложнение структуры трафика, требуют внедрения дополнительных пакетов в потоки трафика, что не позволяет им обеспечить высокий уровень бескомпроматности и скрытности от систем обнаружения вторжений, использующих способы анализа интенсивности трафика.* ***Целью работы является*** *разработка научно-методического аппарата (НМА) для обоснования ИТВ, основанных на полном перехвате трафика с последующим преобразованием его структуры в направлении ее усложнения. Такой НМА позволит обеспечить неизменность интенсивности потока трафика, обеспечить формирование структуры трафика с гораздо более высоким уровнем сложности, и, соответственно, более высокий уровень снижения своевременности его обработки в узлах сети.* ***Используемые методы.*** *В основу научно-методического аппарата для обоснования ИТВ, использующего усложнение структуры трафика, положен метод функционального преобразования трафика, ранее обоснованный в работах Г.И. Линца и представителей его научной школы.* ***Результаты и их новизна.*** *В работе обоснован оператор преобразования трафика из простейшего потока в поток со сложной структурой, имеющий распределение Парето. Проведено исследование этого оператора. Выявлено, что преобразование трафика из простого в сложный состоит из двух процессов. Первый процесс – «сжатие» интервалов между пакетами и формирование «пачек» трафика. Второй процесс – «разрежения» интервалов между пакетами и формирование «длинных пауз» между «пачками» пакетов. Исследование процессов преобразования выявило, что процесс «разрежения» интервалов между пакетами в области больших значений интервалов входного трафика, возникает с небольшой вероятностью и негативно отражается на задержках пакетов трафика. В связи с этим, процессом «разрежения» пакетов трафика при обосновании ИТВ можно пренебречь. Исследование процесса «сжатия» пакетов трафика выявило, что при прямом использовании оператора преобразования возникают отрицательные задержки пакетов. Проведено исследование этих задержек, сформированы предложения по исключению отрицательных задержек.* ***Практическая значимость.*** *Полученный оператор преобразования трафика из простейшего потока в поток со сложной структурой составит основу НМА для обоснования новых ИТВ. Такие ИТВ будут обладать свойством бескомпроматности и скрытности по отношению к существующим способам обнаружения сетевых атак, основанных на анализе интенсивности трафика в сети. Эти новые ИТВ могут использоваться для тестирования устойчивости и безопасности телекоммуникационных систем, а также для разработки способов их защиты.*

Ключевые слова: *информационная безопасность, информационное противоборство, сетевые атаки, обнаружение вторжений, способы обнаружения сетевых атак, информационно-техническое воздействие, преобразование трафика, сложный трафик, трафик сложной структуры.*

Актуальность

В настоящее время актуальным направлением исследований является разработка моделей и методов оценки функционирования систем связи в условиях воздействия на них различного рода деструктивных факторов [1]. В настоящее время широко известны работы по оценке функционирования систем и сетей связи при воздействии на них радиоэлектронных помех. Однако, как показано в работах [2, 3], в связи с активным развитием теоретических основ информационной безопасности и информационного противоборства, становится актуальным поиск новых видов информационно-технических воздействий (ИТВ) с целью последующего их использования как для развития моделей противника, на основе которых будут обосновываться способы защиты, так и для развития отечественной методологии информационного противоборства.

Как показано в работе [4], одним из перспективных и высокоэффективных ИТВ является создание сетевых удаленных атак, направленных на отдельные объекты сети. Вместе с тем, использование таких атак приводит к существенному изменению интенсивности общего трафика в сети, что делает возможным успешное обнаружение такого типа ИТВ и успешное их блокирование системами обнаружения вторжений (IDS – Intrusion Detection System).

В работе [5] на основе анализа источников [6-7] проведена классификация аномалий трафика при проведении ИТВ типа «удаленная сетевая атака». Эта классификация приведена на рис. 1, а выявленные соответствия аномалий обобщенны в таблице 1.

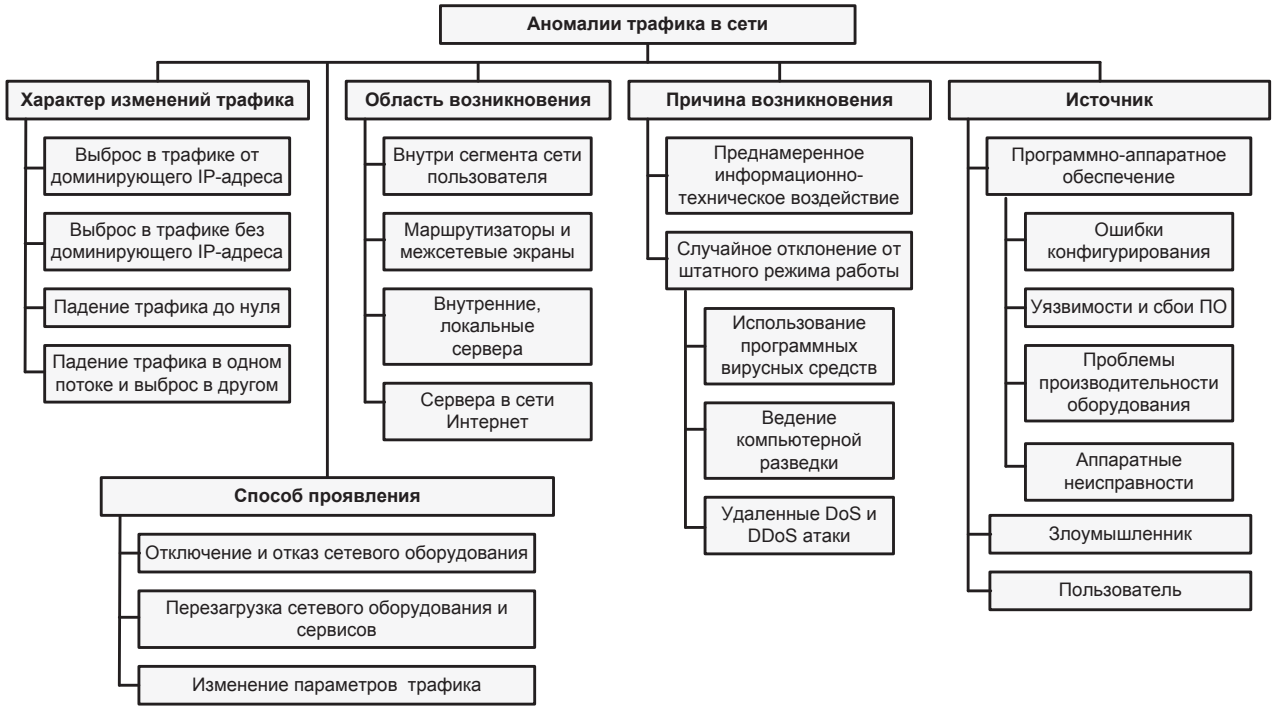


Рис. 1. Классификация аномалий трафика при проведении ИТВ типа «удаленная сетевая атака» [5]

Таблица 1. Классификация аномалий трафика при проведении ИТВ типа «удаленная сетевая атака» [5]

Тип и причина аномалии	Описание	Характеристики изменений трафика
Альфа-аномалия	Необычно высокий уровень трафика типа «точка-точка».	Лавинообразный рост (выброс) интенсивности трафика как по количеству потоков, так и по интенсивности передачи пакетов в них по одному доминирующему направлению «источник-назначение». Небольшая продолжительность (до 10 минут).
DoS, DDoS-атака	Распределённая атака типа «отказ в обслуживании» на один сетевой узел.	Лавинообразный рост интенсивности трафика, как по количеству потоков, так и по интенсивности передачи пакетов в них, от множества источников к одному адресу назначения.
Перегрузка	Необычно высокий спрос на один сетевой ресурс или сервис.	Скачек интенсивности трафика к одному доминирующему IP-адресу и/или доминирующему порту. Обычно кратковременная аномалия.
Сканирование сети/портов	Сканирование сети по определённым открытым портам или сканирование одного узла по всем портам с целью поиска уязвимостей.	Скачкообразное изменение интенсивности трафика внутри потоков и по их количеству от одного доминирующего IP-адреса.
Деятельность червей	Вредоносная программа, которая самостоятельно распространяется по сети и использует уязвимости ОС.	Лавинообразный рост трафика без доминирующего адреса назначения, но всегда с одним или несколькими доминирующими портами назначения.
«Точка-мультиточка»	Распространение контента от одного сервера многим пользователям.	Рост интенсивности трафика от доминирующего источника к нескольким узлам назначения.
Отключения	Сетевые неполадки, которые вызывают падение в трафике между одной парой «источник-назначение».	Падение интенсивности трафика обычно до нуля. Может быть долговременным и включать все потоки «источник-назначение» от (или к) одного маршрутизатора.
Переключения потока	Необычное переключение потоков трафика с одного входящего маршрутизатора на другой.	Падение интенсивности в одном потоке трафика и ее мгновенный рост в другом. Может затрагивать несколько потоков трафика.

Анализ приведенных в таблице данных позволяет сделать вывод, что интенсивность трафика существенным образом зависит от типа ИТВ, что делает возможным не только идентификацию факта атаки, но и распознавание конкретного ее типа.

В настоящее время идентификация и распознавание ИТВ на основе анализа трафика является сложившимся актуальным направлением исследований. Для выявления фактов ИТВ на основе анализа интенсивности сетевого трафика используются следующий научно-методический аппарат (НМА):

- трендовый анализ (например, работы И.М. Ажмухамедова и А. Н. Марьенкова [9, 10]);
- традиционные статистические подходы, основанные, прежде всего, на корреляционном анализе (например, работы О.И. Шелухина, А.А. Талалаева, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумова [11, 12]);
- методы на основе вейвлет-анализа (например, работы О.И. Шелухина, А.С. Филиновой, А.В. Гармашева [13-15]);
- подходы на основе классификаторов с использованием теории нечетких множеств (например, работа И. М. Ажмухамедова, А. Н. Марьенкова [16]);
- методы фрактального анализа (например, работы М.А. Басараба, И.С. Строганова [17], О.И. Шелухина, А.А. Антонян [18], M. Mazurek, D. Pawel [19], P. Tarrio, A.M. Bernardos, J.R. Casar [20]);
- методы теории конечных автоматов, которые создаются на основе генетических алгоритмов (например, работа В.П. Фраленко [21]);
- анализ трафика на основе нейронных сетей (например, работы О.И. Шелухина, А.И. Чернышева [22], А.А. Талалаева, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумова, Ю.Г. Емельяновой [23, 24, 30], А.К. Большева, В.В. Яновского [25], J.Z. Lei, A. Ghorbani G. Wang, J. Hao, J. Ma, L. Huang [26-28], J. Cannady [29]), в том числе на основе нейро-нечетких систем (например, работы A.N. Toosi, M. Kahani, R. Monsefi [30], Z.A. Orang [31], A. Zainal, M.A. Maarof, S. M. Shamsuddin [32]);
- анализ трафика на основе бионических подходов, которые в свою очередь базируются на технологиях искусственных иммунных систем (например, работы S.A. Hofmeyr и S. Forrest [33, 34]);
- гибридные подходы, объединяющие несколько вариантов и способов анализа трафика (например, работы И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумова [35], А.А. Браницкого, И.В. Котенко [36], Y.P. Zhou [37], S.T. Powers, J. He [38]).

Необходимо отметить, что большинство исследователей приходят к выводу о сложности и слабой формализуемости задачи достоверной идентификации ИТВ. В связи с этим, во все большем числе работ для идентификации ИТВ на основе анализа интенсивности трафика используются методы теорий интеллектуальных систем. Обзор использования интеллектуальных методов для решения задач идентификации ИТВ представлен в работе П.А. Корнева, А.Н. Пылькина и А.Ю. Свиридова [39]. При этом в работах Ю.Г. Емельяновой, А.А. Талалаева, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумова А.А. Кондратьева [21, 24, 35, 40-42]

представлен НМА и структура комплекса обнаружения вторжений на основе таких методов теорий интеллектуальных систем, как нейросетевой анализ и использование генетических алгоритмов.

В связи с тем, что вышерассмотренные подходы к идентификации ИТВ основаны на анализе интенсивности сетевого трафика, то бескомпроматное и эффективное ИТВ не должно вести к изменению этой интенсивности. Вариантом такого ИТВ является сетевая атака, ориентированная на изменение структуры трафика, при том же уровне интенсивности.

В работах [43, 44] указывается на существенное снижение своевременности обслуживания трафика со сложной структурой в узлах маршрутизации и коммутации пакетов.

При этом под трафиком сложной структуры понимается поток, у которого коэффициент вариации интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов больше единицы (c_τ>1), где:

$$c_\tau = \sigma(\tau)/m(\tau),$$

c_τ – коэффициент вариации значений интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов трафика; $m(\tau)$ – математическое ожидание (МОЖ) значений интервалов τ времени между поступлениями отдельных пакетов трафика; $\sigma(\tau)$ – среднее квадратичное отклонение (СКО) значений интервалов τ времени между поступлениями отдельных пакетов трафика.

Под своевременностью обслуживания трафика в узле сети будем понимать время от момента прихода начала пакета в узел, до момента покидания пакетом узла. Это время определяется задержкой при ожидании пакета в буфере узла и временем его обработки в коммутационном устройстве. При этом время обработки в коммутационном устройстве определяется объемом пакета и, как правило, для этого времени принимается допущение об экспоненциальном законе его распределения.

Результаты сравнительного анализа своевременности обслуживания в узле по показателю времени обслуживания трафика на основе моделей систем массового обслуживания *M*/*M*/1 и *Pa*/*M*/1, представленные в работах [43, 44], где *Pa* – модель сложного трафика в виде потока с Парето распределением, показали следующее.

1. Область, в которой происходит существенное снижение своевременности обслуживания трафика со сложной структурой, определяется параметром формы α в Парето распределении (меньшие значения α соответствуют более высокому уровню сложности трафика) и уровнем загрузки узла сети ρ. Эта область аппроксимируется выражением $\alpha(\rho) \le 0{,}956 + 1{,}114\rho$ при $\alpha \in [1{,}2;\ 2]$ и загрузке $\rho \in [0{,}1;\ 0{,}9]$ – см. рис. 2.

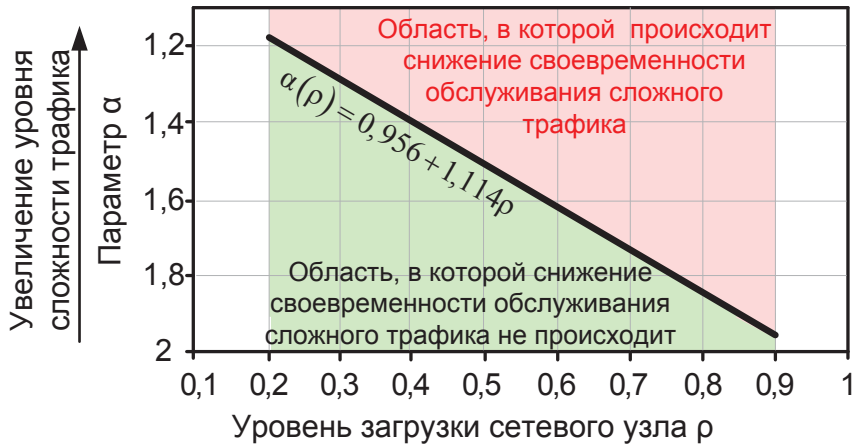


Рис. 2. Область {α, ρ}, в которой происходит существенное снижение своевременности обслуживания трафика со сложной структурой [43]

2. Своевременность обслуживания сложного трафика, представленного потоком с Парето-распределением моментов поступления заявок, со значениями параметра формы $1,3 \le \alpha \le 2$ по показателю «время задержки пакета в узле» в диапазоне загрузки узла $0,6 \le \rho \le 0,9$, может быть аппроксимирована следующей функцией (рис. 3):

$$T_{\text{зад par}}(\alpha,\rho) = A_{\rho}(\alpha)\cdot\exp\left[\left(5,52\cdot10^{3}\exp(-4,652\alpha)+10,74\right)\rho\right]+ \\ +\left(3,451\cdot10^{5}\exp(-8,301\alpha)+1,88\right), \qquad (1)$$

где

$$A_{\rho}(\alpha)=\begin{cases}\dfrac{4,435\cdot10^{-4}}{1+2,225\cdot10^{6}e^{-6,889\alpha}}, \text{ при } 1,668<\alpha\le 2;\\ \dfrac{1,384\cdot10^{-4}}{1+1,01\cdot10^{19}e^{-28,471\alpha}}, \text{ при } 1,3\le\alpha\le 1,668.\end{cases}$$

При этом в выражении (1) за единицу принято время обслуживания в системах массового обслуживания *M*/*M*/1 и *Pa*/*M*/1.

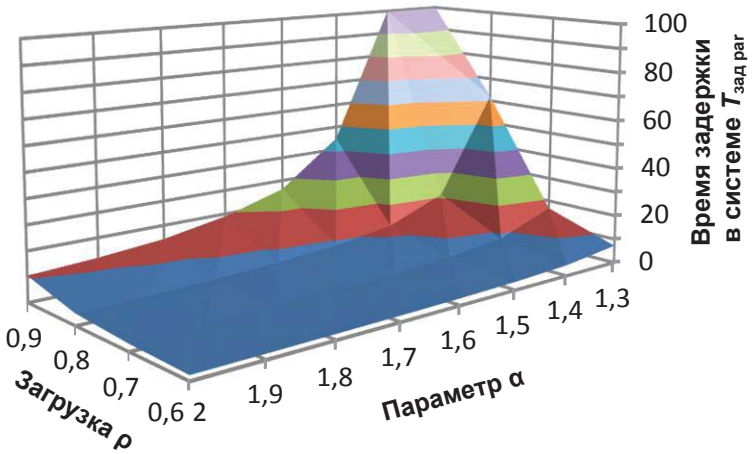


Рис. 3. Своевременность обслуживания сложного трафика по показателю «время задержки пакета в узле» [44]

3. Сравнительный анализ времени задержки в системах массового обслуживания *M*/*M*/1 и *Pa*/*M*/1 показал, что своевременность обслуживания сложного трафика, представленного потоком с Парето-распределением моментов поступления заявок в разы ниже, чем простого, представленного простейшим потоком с экспоненциальным распределением (рис. 4).

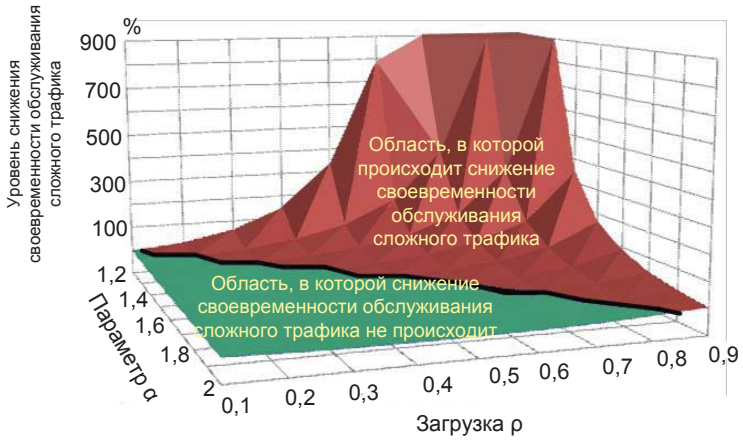


Рис. 4. Уровень снижения своевременности обслуживания трафика со сложной структурой по отношению к трафику с экспоненциальным распределением [43]

Эти выводы вполне согласуются с исследованиями других авторов, в которых регистрируется факты снижения своевременности обработки сложного трафика. К примерам таких исследований можно привести работы известных специалистов – Ю.И. Рыжикова [45, 46], П.А. Будко [47], Л.А. Фомина [48, 58, 59], В.Н. Тарасова, Н.Ф. Бахаревой [49, 50], О.И. Шелухина [51], А.Н. Назарова, К.И. Сычева [52], Е.А. Новикова [62-65].

Таким образом ИТВ, основанное на формировании потоков трафика сложной структуры, может быть использовано для преднамеренного создания условий, направленных на повышение времени обработки информационных потоков в узлах маршрутизации, и как следствие, снижения своевременности обслуживания потоков трафика ниже значений, определяемых требованиями к системе связи.

В работе [53] предложен вариант ИТВ, основанный на формировании структуры информационных потоков трафика с высоким уровнем сложности, за счет внедрения дополнительных имитационных потоков. Однако у этого ИТВ есть ряд недостатков. Во-первых, ИТВ, основанное на внедрении дополнительных пакетов, будет приводить к росту интенсивности трафика, что приведет к идентификации такого ИТВ на основе вышеприведенных способов обнаружения сетевых аномалий. Во-вторых, как показывают исследования этого ИТВ, проведенные в работе [53], доля внедряемого трафика не может быть более 12%, иначе происходит «разваливание потока» – внедряемые пакеты начинают замещать собой «нормальные пакеты». При этом достигаются относительно невысокие значения уровня сложности трафика $c_\tau \rightarrow 2{,}5$.

Для устранения этих недостатков предлагается ИТВ, основанное на полном перехвате трафика с последующим преобразованием его структуры в сторону ее усложнения. Это позволит, с одной стороны, обеспечить неизменность интенсивности потока трафика, а значит, сделает такое ИТВ бескомпоматным относительно способов идентификации сетевых атак на основе анализа интенсивности трафика. С другой стороны – обеспечит формирование структуры трафика с гораздо более высоким уровнем сложности, а соответственно и более высокий уровень снижения своевременности его обработки в узлах сети. Схема системы, осуществляющей такое ИТВ, представлена на рис. 5.

Рис. 5. Схема системы, осуществляющей ИТВ
на основе преобразования структуры трафика

Постановка задачи

Цель работы – разработка ИТВ типа «удаленная сетевая атака», основанного на перехвате трафика и преобразовании его структуры в направлении усложнения. Задача работы – разработка новых элементов НМА теории информационного противоборства для обоснования параметров такого ИТВ. Эта задача может быть декомпозирована на ряд частных задач:

1) обосновать оператор преобразования трафика;
2) исследовать оператор преобразования трафика;
3) предложить рекомендации по рациональному практическому применению оператора преобразования трафика.

Как показано в обзоре [54], для представления сложного трафика можно использовать различные модели – ON-OFF модели; потоки с распределениями Парето, Вейбула, Гамма, потоки Кокса, и другие подходы. В рамках решаемой задачи предлагается использовать поток, в котором время между приходом заявок имеет Парето-распределение. Выбор Парето-распределения в качестве модели сложного трафика обусловлено следующими соображениями.

Во-первых, как показано в работе [43], сложный трафик с коэффициентом вариации $c_\tau>1$ может быть представлен моделью потока с Парето-распределением

$$G(\tau) = 1 - \left(\frac{k}{\tau}\right)^{\alpha}, k > 0, \alpha > 0, \tau > k,$$

где τ – интервал времени между поступлением очередных заявок в потоке с распределением Парето; k – коэффициент масштаба; α – параметр формы распределения Парето.

Зависимость между коэффициентом вариации c_τ и параметром α распределения Парето в диапазоне αϵ[1,2; 2] с погрешностью до 3,27% может быть аппроксимирована выражением [21]

$$c_\tau(\alpha) = 1{,}41 \cdot 10^4 \cdot e^{-5{,}384 \cdot \alpha} + 1{,}52,$$

откуда

$$\alpha = \frac{1}{5{,}384} \ln\left(\frac{c_\tau + 1{,}52}{1{,}41 \cdot 10^4}\right).$$

Во-вторых, как показано в большинстве работ по сложному трафику (например, в работах [47, 52]), самоподобный трафик с коэффициентом Херста H также может быть представлен моделью потока с Парето-распределением. При этом зависимость между коэффициентом Херста в диапазоне Hϵ[0,5; 1] и параметром α имеет вид [47]

$$\alpha = 3 - 2H.$$

В-третьих, корректность и адекватность моделирования сложного трафика потоком с Парето-распределением моментов поступления заявок подтверждается аналогичным подходом, используемым различными исследователями в работах [47, 55, 57].

В качестве модели входного трафика, который подвергается преобразованию, используется простейший поток, который давно и традиционно используется для моделирования информационных потоков в сетях в теории телетрафика, с функцией распределения:

$$F(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau},$$

Для формализации задачи в работе введены следующие обозначения:

τ – интервал времени между поступлением смежных очередных пакетов трафика;

$\tau_{вх}$ – интервал времени между поступлением пакетов входного потока трафика, который будет подвергнут преобразованию;

$\tau_{вых}$ – интервал времени между поступлением пакетов выходного потока трафика, который уже преобразован;

$\Delta\tau = \tau_{вых} - \tau_{вх}$ – задержка пакета при выполнении преобразования;

$\Delta\tau_{min}$ – минимальное значение задержки пакета трафика при выполнении преобразования;

$\Delta\tau_{max}$ – максимальное значение задержки пакета трафика при выполнении преобразования;

$f(\Delta\tau)$ – плотность распределения задержки пакетов трафика при выполнении преобразования;

λ – параметр экспоненциального распределения;

α – параметр формы распределения Парето;

k – коэффициент масштаба распределения Парето;

H – коэффициент Херста, определяющий уровень самоподобия трафика;

ρ – загрузка сетевого узла;

m – математическое ожидание;

σ – среднее квадратическое отклонение;

c_τ – коэффициент вариации трафика, его дисперсионная характеристика, определяющая структурную сложность трафика.

Обоснование оператора преобразования трафика

Для обоснования оператора преобразования трафика был использован метод функционального преобразования трафика, впервые предложенный в работе Г.И. Линца, Л.А. Фомина, С.А. Скоробогатова [58]. В ней метод функционального преобразования трафика предлагался в качестве направления снижения структурной сложности входного трафика. Дальнейшее развитие метод функционального преобразования получил в работах Г.И. Линца и его коллег [57, 59, 60], где на основе этого метода решается задача обеспечения инвариантности мультисервисной сети к структуре входного трафика.

Вместе с тем, анализ исследований Г.И. Линца и его коллег [57-60] показал, что полученные в них результаты носят общетеоретический характер, а разработанный НМА функционального преобразования трафика трудно применим на практике. В частности этим НМА не учитываются требования по качеству обслуживания (QoS – Quality of Service) трафика (задержка преобразования, требуемый объем буфера преобразователя, вероятность отказа в обслуживании), а также сохранение вероятностно-временных параметров преобразования (равенство математических ожиданий входного и выходного потоков трафика, только положительный сдвиг во времени поступивших пакетов, невозможность преобразования всех пакетов и т.д.).

В работе К.В. Ушанева, С.И. Макаренко [56] решена задача разработки НМА преобразования трафика с учетом требований по QoS и вышеуказанных дополнительных параметров, но применительно к задаче снижения структурной сложности трафика. Вместе с тем, в этой работе, так же как и в работах Г.И. Линца, не рассматривается задача преобразования структуры трафика в направлении его усложнения.

Таким образом, для обоснования оператора преобразования трафика в направлении усложнения его структуры будет использован метод функционального преобразования трафика, рассмотренный в работах Г.И. Линца и его коллег [57-60]. Дальнейшее совершенствование процесса преобразования трафика на основе обоснованного оператора будет вестись с учетом требований по QoS и параметров преобразования, в соответствии с наработками, представленными в работе [56].

В соответствии с поставленной задачей, входной поток трафика моделируется простейшим потоком и имеет экспоненциальное время распределения между поступлениями очередных заявок:

$$F(\tau_{вх}) = 1 - e^{-\lambda\tau_{вх}}. \quad (2)$$

Выходной поток трафика моделируется потоком сложной структуры и имеет Парето-распределение значений времени между поступлениями очередных заявок:

$$G(\tau_{вых}) = 1 - \left(\frac{k}{\tau_{вых}} \right)^{\alpha}, k > 0, \alpha > 0, \tau > k. \quad (3)$$

Сформируем оператор φ, который задает отображение:

$$\varphi : F(\tau_{вх}) \rightarrow G(\tau_{вых}). \quad (4)$$

С учетом свойства инвариантности дифференциалов вероятности можно записать:

$$f(\tau_{вх}) d\tau_{вх} = g(\tau_{вых}) d\tau_{вых}, \quad (5)$$

откуда в общем виде можно получить оператор преобразования:

$$g(\tau_{вых}) = f(\tau_{вх}) \left| \frac{d\tau_{вх}}{d\tau_{вых}} \right|. \quad (6)$$

Проинтегрировав выражение (5), получим

$$\int_0^{\tau} f(\tau_{вх}) d\tau_{вх} = \int_0^{\tau} g(\tau_{вых}) d\tau_{вых}. \quad (7)$$

Последнее выражение определяет равенство функций вероятности входного и выходного процессов:

$$F(\tau_{вх}) = G(\tau_{вых}). \quad (8)$$

Определим оператор преобразования из (8) с учетом того, что функция $G(\tau_{вых})$ определяется выражением (3):

$$F(\tau_{вх}) = 1 - \left(\frac{k}{\tau_{вых}} \right)^{\alpha},$$

откуда получим оператор преобразования произвольного экспоненциального распределения $F(\tau_{вх})$ в поток с Парето-распределением:

$$\tau_{вых} = \left(\frac{k^{\alpha}}{1 - F(\tau_{вх})} \right)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (9)$$

Из последнего выражения определим оператор преобразования потока φ с экспоненциальным распределением в поток с распределением Парето, с учетом того, что функция $F(\tau_{вх})$ определяется выражением (2):

$$\tau_{вых} = \varphi(\tau_{вх}) = \left(\frac{k^{\alpha}}{1 - \left(1 - e^{-\lambda \tau_{вх}}\right)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = k\, e^{\frac{\lambda \tau_{вх}}{\alpha}}. \quad (10)$$

Введем дополнительные условия для преобразования (10), определяемые физикой процесса преобразования трафика:

1) введем ограничения на нормировку параметров. Все параметры и результаты нормируем к параметру входного распределения, приняв его за значение единицы: $m(\tau_{вх})=1/\lambda=1$;
2) введем ограничения на уровень сложности преобразуемого трафика, который, в соответствии с работой [43], определяется по параметру α, причем $1<\alpha\leq 2$ (большему значению параметра α соответствует меньший уровень сложности трафика);

3) введем допущение о равенстве математических ожиданий входного и выходного потоков, что соответствует требованию обеспечения инвариантности средней интенсивности входящего и выходящего потоков:

$$\frac{1}{\lambda}=\frac{\alpha k}{\alpha-1},$$

откуда, с учетом ограничения № 1, получим соотношение между параметрами α и *k* в Парето-распределении для одного и того же λ=1:

$$k=\frac{\alpha-1}{\alpha}. \qquad (11)$$

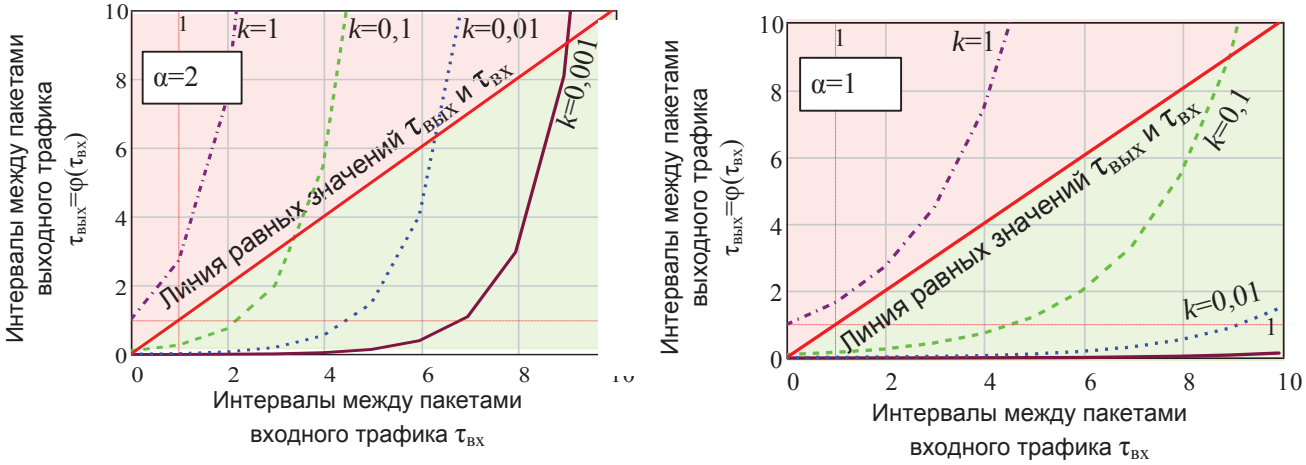
С учетом ограничения № 2 получим, что параметр *k* в условиях нормировки имеет область значений $0<k\leq 1$, при области определения $1<\alpha\leq 2$.

В условиях учета реальных, а не нормированных значений λ, параметр *k* будет определяться по формуле:

$$k=\frac{\alpha-1}{\alpha\cdot\lambda}.$$

Исследование оператора преобразования трафика на предмет выявления в нем типовых процессов

Исследуем оператор преобразования φ, определяемый выражением (10). При этом учтем ограничения на сложность трафика $1<\alpha\leq 2$. Результаты исследования оператора преобразования $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$, для предельных значений сложности трафика α=1 и α=2, для параметра $0<k\leq 1$ представлены на рис. 6.



а. б.

Рис. 6. Результаты исследования оператора преобразования $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ для предельных значений сложности трафика:
а) низкий уровень сложности трафика α=2;
б) наиболее сложный трафик α=1.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6, позволяет сделать вывод о том, что область определения оператора $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ можно разделить на две подобласти:

1) область D_1 ($\tau_{вых}\leq\tau_{вх}$), в которой преобразование $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ направленно на «сжатие» интервалов между пакетами и формирование «пачек» трафика, что соответствует росту вероятности коротких интервалов между приходом пакетов выходного трафика;
2) область D_2 ($\tau_{вых}>\tau_{вх}$), в которой преобразование $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ направленно на «разрежение» интервалов между пакетами и формирование «длинных пауз» между «пачками», что соответствует формированию более длинного «хвоста» плотности распределения интервалов времени между пакетами выходного трафика.

При анализе процессов преобразования также необходимо учитывать, что параметр k в распределении Парето (3), которому соответствует выходной трафик, принимает не произвольные значения, а определяется выражением (11) при условии $m(\tau_{вх})=1/\lambda=1$. С учетом этого, процессы преобразования трафика на основе оператора $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ фактически зависят только от параметра сложности трафика α.

На рис. 7 представлены графики, соответствующие процессам «разрежения» и «сжатия» в операторе преобразования, при значениях:

- $\alpha=1{,}2$ (наиболее сложный трафик);
- $\alpha=1{,}6$ (стандартный уровень сложности Интернет трафика);
- $\alpha=2$ (низкий уровень сложности трафика);

при расчетном значении $k=(\alpha-1)/\alpha$ для каждого α.

Также на рис. 7. представлены вероятности для значений $\tau_{вх}=m(\tau_{вх})+\sigma(\tau_{вх})=2$ и $\tau_{вх}=m(\tau_{вх})+2\sigma(\tau_{вх})=3$, которые соответственно равны $P(\tau_{вх}\leq2)=0{,}865$ и $P(\tau_{вх}\leq3)=0{,}95$. Таким образом можно утверждать, что с вероятностью $P=0{,}95$ значения интервалов входного трафика $\tau_{вх}$ не превысят значения 3 при нормировании $m(\tau_{вх})=1/\lambda=1$.

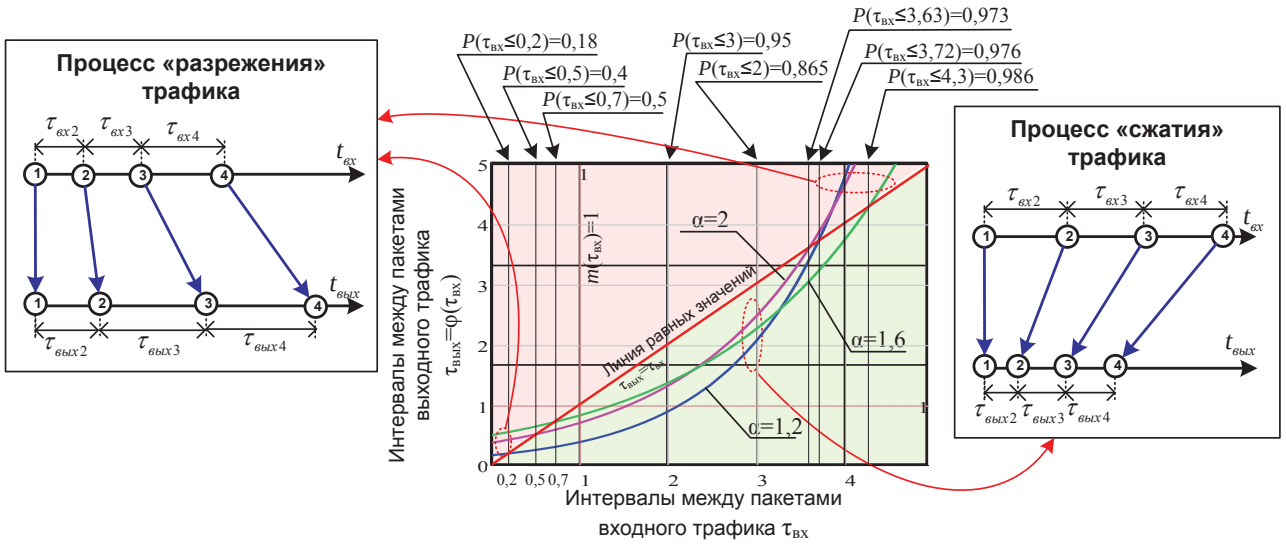


Рис. 7. Процессы преобразования при различных значениях уровня сложности трафика α

Анализ рис. 7 позволяет сделать вывод, что при преобразовании трафика, как правило, с большой вероятностью будет выполняться процесс «сжатия» трафика, чем его «разрежение» (таблица 2).

Таким образом, процесс «сжатия» интервалов выходного трафика по сравнению с интервалами входного трафика является основным процессом преобразования, который проводится с тем большей вероятностью, чем больше требуемая сложность формируемого сложного трафика. Процесс «сжатия» приводит к тому, что отдельные пакеты входного простейшего потока объединяются в «пачки» пакетов.

Вместе с тем, анализ процесса позволяет предположить, что оператор преобразования $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ не может быть применен в явном виде для прямого «сжатия» трафика, так как может случиться ситуация, когда поступивший пакет должен быть оправлен раньше времени своего поступления (рис. 7). Это требует отдельного, более глубокого исследования процесса «сжатия» при формировании трафика.

Таблица 2. Вероятности процессов «сжатия» и «разрежения» трафика при его преобразовании

Уровень сложности выходного трафика	Вероятность процесса «разрежения» пакетов трафика	Вероятность процесса «сжатия» пакетов трафика
Низкий уровень сложности трафика $\alpha=2$	0,524	0,476
Стандартный уровень сложности Интернет трафика $\alpha=1,6$	0,427	0,573
Наиболее высокий уровень сложности трафика $\alpha=1,2$	0,194	0,806

Кроме того, анализ графиков на рис. 6 позволяет сделать вывод о том, что после некоторого значения $\tau_{вх}$, процесс «сжатия» сменяется процессом «разрежения», при этом увеличивающимся значениям $\tau_{вх}$ соответствуют все более и более возрастающие значения $\tau_{вых}$. При этом вероятность процесса «разрежения» пакетов в области высоких значений $\tau_{вх}$ весьма мала:

- для формирования трафика с низким уровнем сложности с $\alpha=2$ вероятность процесса «разрежения» пакетов – $P(\tau_{вх}>4,3)=0,014$;
- для формирования трафика с нормальным уровнем сложности с $\alpha=1,6$ вероятность процесса «разрежения» пакетов – $P(\tau_{вх}>3,63)=0,027$;
- для формирования трафика с высоким уровнем сложности с $\alpha=1,2$ вероятность процесса «разрежения» пакетов – $P(\tau_{вх}>3,72)=0,024$.

Как видно, вероятность поступления пакетов с интервалами $\tau_{вх}>3$ весьма мала. Вместе с тем, поступление пакетов с интервалом $\tau_{вх}$, находящегося в диапазоне $\tau_{вх}>3,5$, которому соответствует процесс «разрежения» трафика,

приводит к тому, что оператор преобразования $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ формирует для таких значений $\tau_{вх}$ неоправданно высокие значения $\tau_{вых}$ (достигают значений десятков и сотен условных единиц). В результате, из-за необходимости соблюдать последовательность пакетов в выходном трафике, новые пакеты, поступающие в это время, вынуждены ожидать в системе преобразования. Это приводит к быстрому накоплению очереди пакетов и росту среднего времени задержки пакетов в системе преобразования трафика.

Исследование процесса «сжатия» трафика в операторе преобразования

Для рассмотрения процессов «сжатия» трафика введем параметр задержки пакета как разность между интервалом отправки пакета и интервалом поступления пакета (рис. 8):

$$\Delta\tau=\tau_{вых}-\tau_{вх}.$$

С учетом выражения (10):

$$\Delta\tau(\tau_{вх})=k\,e^{\frac{\lambda\tau_{вх}}{\alpha}}-\tau_{вх}. \quad (12)$$

Таким образом, параметр задержки пакета $\Delta\tau(\tau_{вх})$ в системе преобразования является детерминированной функцией от случайного аргумента $\tau_{вх}$, который, в свою очередь, имеет экспоненциальное распределение. Это позволяет аналитически вывести и исследовать функцию плотности распределения $f(\Delta\tau(\tau_{вх}))$.

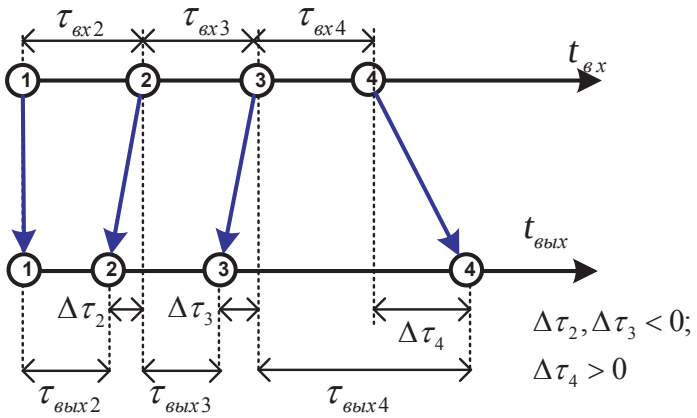


Рис. 8. Задержка $\Delta\tau=\tau_{вых}-\tau_{вх}$ в системе преобразования трафика

Для получения плотности вероятности $f(\Delta\tau(\tau_{вх}))$ для детерминированной функции $\Delta\tau(\tau_{вх})$ от случайного аргумента используем известное выражение [61]:

$$f(\Delta\tau)=f_{\tau_{вх}}\left(\tau_{вх}(\Delta\tau)\right)\left|\frac{d\tau_{вх}(\Delta\tau)}{d\Delta\tau}\right|. \quad (13)$$

Применение этого выражения требует непрерывности и монотонности функции $\Delta\tau(\tau_{вх})$ [61]. Исследуем функцию $\Delta\tau(\tau_{вх})$ на интервалы монотонности, найдя точки ее перегиба.

Первая производная функции $\Delta\tau(\tau_{вх})$ равна:

$$\frac{d}{d\tau_{вх}}\Delta\tau\left(\tau_{вх}\right)=\frac{\lambda k}{\alpha}e^{\frac{\lambda\tau_{вх}}{\alpha}}-1.$$

Эта производная обращается в ноль при:

$$\tau_{вх}=\frac{\alpha}{\lambda}\ln\left(\frac{\alpha}{\lambda k}\right). \qquad (14)$$

Таким образом, функция $\Delta\tau(\tau_{вх})$ имеет два интервала монотонности $\tau_{вх}\in\left[0;\frac{\alpha}{\lambda}\ln\left(\frac{\alpha}{\lambda k}\right)\right]$ и $\tau_{вх}\in\left[\frac{\alpha}{\lambda}\ln\left(\frac{\alpha}{\lambda k}\right);\infty\right)$.

Рассмотрим функцию $\Delta\tau(\tau_{вх})$ на первом из этих интервалов т.к. значения $\tau_{вх}\to 0$ соответствуют наиболее высоким значениям функции плотности вероятности $f(\tau_{вх})$ – см. рис. 9.

В явном виде использование выражения (13) по отношению к $\Delta\tau(\tau_{вх})$ невозможно. Т.к. выражение (12) для $\Delta\tau(\tau_{вх})$ является трансцендентным, что не позволяет выразить функцию $\tau_{вх}(\Delta\tau)$ в явном аналитическом виде. Для преодоления этого затруднения представим экспоненциальную функцию в выражении (12) через разложение в ряд Тейлора, ограничившись двумя членами ряда:

$$\Delta\tau\left(\tau_{вх}\right)=k\,e^{\frac{\lambda\tau_{вх}}{\alpha}}-\tau_{вх}=k\left(1+\sum_{i=1}^{2}\left[\frac{1}{i!}\left(\frac{\lambda\tau_{вх}}{\alpha}\right)^{i}\right]\right)-\tau_{вх}=$$

$$=\left(\frac{\lambda^2 k}{2\alpha^2}\right)\tau_{вх}^2+\left(\frac{\lambda k}{\alpha}-1\right)\tau_{вх}+k. \qquad (15)$$

Выражение (15) позволяет со степенью адекватности, достаточной для инженерных расчетов, представить функцию $\Delta\tau(\tau_{вх})$. На интервале $\tau_{вх}\le 2$ (вероятность $P(\tau_{вх}\le 2)=0{,}865$) погрешность представления выражением (15), точной функции $\Delta\tau(\tau_{вх})$ не превышает 20%. Причем наибольшую точность приближения выражение (15) показывает в области $\tau_{вх}\to 0$, которая соответствует наиболее вероятным значениям $\tau_{вх}$. Кроме того, точка перегиба (14) при любых $\alpha=1..2$ и $k=(\alpha-1)/\alpha$ соответствует условию $\tau_{вх}>2$. Таким образом, интервал $\tau_{вх}\le 2$, на котором выражение (15) задается с достаточным уровнем адекватности, полностью принадлежит первому интервалу монотонности, определенному ранее.

Для формирования функции $\tau_{вх}(\Delta\tau)$, обратной функции $\Delta\tau(\tau_{вх})$, найдем корни квадратного уравнения (15):

$$\tau_{вх\,1}\left(\Delta\tau\right)=\frac{2\alpha^2}{\lambda^2 k}\left(\frac{2\alpha^2-2\alpha\lambda k}{4\alpha^2}+\frac{\sqrt{\alpha^2-2\alpha\lambda k-\lambda^2k^2+2\lambda^2k\,\Delta\tau}}{2\alpha}\right);$$

$$\tau_{вх\,2}\left(\Delta\tau\right)=\frac{2\alpha^2}{\lambda^2 k}\left(\frac{2\alpha^2-2\alpha\lambda k}{4\alpha^2}-\frac{\sqrt{\alpha^2-2\alpha\lambda k-\lambda^2k^2+2\lambda^2k\,\Delta\tau}}{2\alpha}\right). \qquad (16)$$

Графический вид функций $\tau_{вх\,1}(\Delta\tau)$ и $\tau_{вх\,2}(\Delta\tau)$ представлен на рис. 9. В связи с тем, что диапазону $\tau_{вх}\leq 2$ соответствует функция $\tau_{вх\,2}(\Delta\tau)$, то именно она будет рассматриваться в дальнейшем.

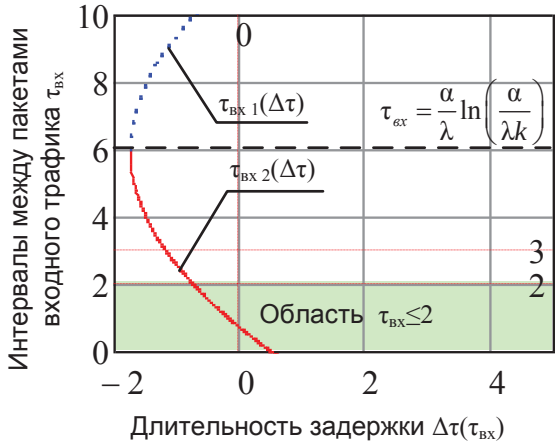


Рис. 9. Графики функций $\tau_{вх\,1}(\Delta\tau)$ и $\tau_{вх\,2}(\Delta\tau)$

Для нахождения дифференциала $d\tau_{вх}/d\Delta\tau$ в выражении (13) продифференцируем функцию $\tau_{вх\,2}(\Delta\tau)$, определяемую выражением (16):

$$\frac{d\tau_{вх}(\Delta\tau)}{d\Delta\tau}=\frac{d\tau_{вх\,2}(\Delta\tau)}{d\Delta\tau}=\frac{-a}{\sqrt{a^2-2a\lambda k-\lambda^2k^2+2\lambda^2k\,\Delta\tau}}. \qquad (17)$$

Окончательно выражение (13) для плотности вероятности $f(\Delta\tau)$ с учетом выражений (16) и (17) будет иметь вид:

$$f(\Delta\tau)=\lambda\cdot\exp\left[-\frac{2a^2}{\lambda\,k}\left(\frac{2a^2-2a\lambda k}{4a^2}-\frac{\sqrt{a^2-2a\lambda k-\lambda^2k^2+2\lambda^2k\,\Delta\tau}}{2a}\right)\right]\times$$

$$\times\left|\frac{-a}{\sqrt{a^2-2a\lambda k-\lambda^2k^2+2\lambda^2k\,\Delta\tau}}\right|. \qquad (18)$$

Исследуем функцию (17).

Из рис. 9 видно, что минимальное значение функция $\Delta\tau(\tau_{вх})$ принимает в точке перегиба: $\tau_{вх}=\frac{\alpha}{\lambda}\ln\left(\frac{\alpha}{\lambda k}\right)$. Таким образом, с учетом выражения (12), можно сделать вывод, что область определения функции $f(\Delta\tau)$ ограничена слева значением:

$$\Delta\tau_{\min}\left(\tau_{вх}=\frac{\alpha}{\lambda}\ln\left(\frac{\alpha}{\lambda k}\right)\right)=-\frac{1}{\lambda}\left(\alpha\ln\left(\frac{\alpha}{\lambda k}\right)-1\right), \qquad (19)$$

которое зависит от параметров распределения Парето α и входного потока λ.

Также из рис. 9 видно, что верхнее значение области определения $f(\Delta\tau)$ определяется из выражения (12) при $\Delta\tau(\tau_{вх}=0)$. Откуда:

$$\Delta\tau_{\max}(\tau_{вх}=0)=k. \qquad (20)$$

Область определения функции плотности вероятности $f(\Delta\tau)$, ограниченная графиками $\Delta\tau_{min}$ и $\Delta\tau_{max}$, определяемых выражениями (19) и (20) соответственно, при допущениях о нормировке $m(\tau_{вх})=1/\lambda=1$ и $k=(\alpha-1)/\alpha$ представлена на рис. 10.

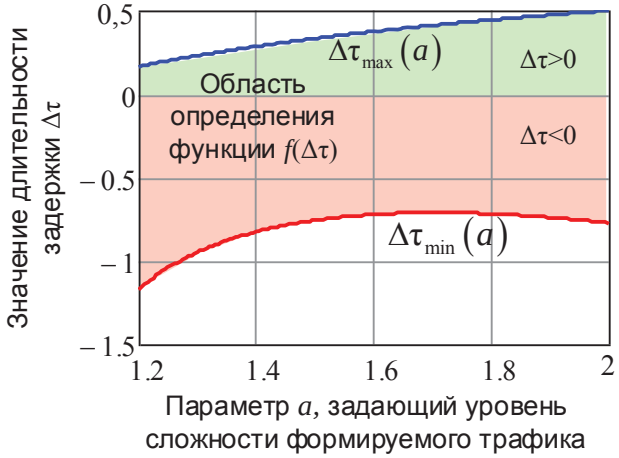


Рис. 10. Область определения функции плотности вероятности $f(\Delta\tau)$, ограниченная графиками $\Delta\tau_{min}$ и $\Delta\tau_{max}$, в зависимости от параметра α

Из рис. 10 видно, что максимального значения $\Delta\tau_{min}\approx -0,7$ достигает при $\alpha\approx 1,7$. При этом для всего диапазона $\alpha=1,2\ldots2$ эта нижняя граница области определения $f(\Delta\tau)$ лежит в диапазоне $\Delta\tau<0$. Более того, видно, что большая часть области определения лежит в диапазоне $\Delta\tau<0$, что не позволяет использовать оператор преобразования $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ в этой области, т.к. задержки поступающих пакетов не могут быть отрицательными.

Рассмотрим поведение функции плотности вероятности $f(\Delta\tau)$ на области ее определения.

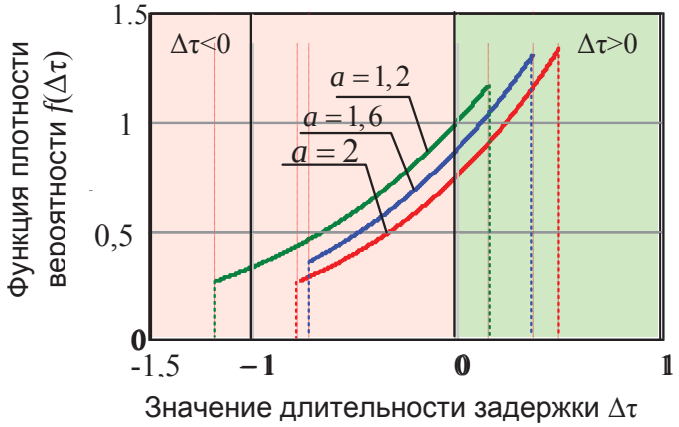


Рис. 11. Графики плотности вероятности $f(\Delta\tau)$ при различных значениях уровня сложности α формируемого трафика

Дело в том, что значения $\Delta\tau_{max}$ в области определения $f(\Delta\tau)$ соответствуют значениям $\tau_{вх}\to 0$, которые при экспоненциальном законе распределения $\tau_{вх}$, являются наиболее вероятными. И при высокой вероятности

группирования величины $\Delta\tau$ в диапазоне $\Delta\tau>0$ можно ограничиться применением оператора преобразования только в этой области.

На рис. 11 представлены графики плотности вероятности $f(\Delta\tau)$ при различных значениях уровня сложности формируемого трафика α=1,2, 1,6, 2, при допущениях о нормировке $m(\tau_{вх})=\lambda=1$ и $k=(\alpha-1)/\alpha$.

В таблице 3 приведены параметры плотностей вероятности $f(\Delta\tau)$ при вышеуказанных значениях α. Отсутствие равенства единице крайнего столбика в таблице 3 объясняется введенными вверху допущениями о сужении области определения и рассмотрении при исследовании только функции $\tau_{вх\,2}(\Delta\tau)$.

Таблица 3. Параметры плотности вероятности $f(\Delta\tau)$ при различных значениях уровня сложности α формируемого трафика

Уровень сложности формируемого трафика	Область определения функции $f(\Delta\tau)$		Вероятность того, что значение $\Delta\tau$ попадет в заданную область		
	$\Delta\tau_{min}$	$\Delta\tau_{max}$	$[\Delta\tau_{min}, 0]$	$[0, \Delta\tau_{max}]$	$[\Delta\tau_{min}, \Delta\tau_{max}]$
Низкий уровень сложности трафика α=2	–0,773	0,5	0,363	0,508	0,871
Стандартный уровень сложности Интернет трафика α=1,6	–0,721	0,375	0,417	0,403	0,82
Высокий уровень сложности трафика α=1,2	–1,169	0,167	0,65	0,178	0,828

Таким образом, оператор преобразования $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ не может быть применен в чистом виде для прямого «сжатия» трафика, так как при этом с вероятностью $P(\Delta\tau<0)\approx0,5$ возникает ситуация, когда поступивший пакет должен быть отправлен раньше времени своего поступления (рис. 11, табл. 3). В связи с этим, процессы преобразования трафика в направлении его усложнения требуют дальнейших исследований.

Рекомендации по рациональному практическому применению оператора преобразования трафика

Проведенное исследование оператора преобразования трафика позволило сформировать следующие рекомендации по рациональному практическому применению оператора преобразования трафика для разработки соответствующего ИТВ, а также рекомендации по направлениям дальнейших исследований.

1) В операторе преобразования трафика φ предлагается ввести параметр дополнительной задержки всех поступающих входных пакетов. Это необходимо, чтобы компенсировать отрицательные значения задержки пакетов в системе преобразования, которые невозможно реализовать в реальной системе. Значение этой задержки и порядок ее использования в составе оператора преобразования является направлением дальнейшего исследования. Вместе с тем, уже сейчас ясно, что этот параметр должен зависеть от уровня

сложности формируемого сложного трафика α и соответствовать минимальному значению $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ при $\tau_{вх}=0$. Вместе с тем, при введении такой задержки, необходимо учитывать требования по обеспечению QoS трафика при использовании ИТВ, основанного на преобразовании структуры трафика в направлении ее усложнения.

2) При реализации ИТВ, основанного на преобразовании структуры трафика, необходимо обеспечивать не только требуемый уровень сложности выходного трафика, но и обеспечивать соответствие параметров выходного трафика требованиям QoS, иначе протоколы системы связи примут решения о недостаточном качестве соединения и его разрыве. В связи с этим, дальнейшим направлением исследования является согласование процесса преобразования трафика (по параметрам времени задержки пакетов в системе преобразования и вероятность отказа в обслуживании) с требованиями по QoS для преобразуемого трафика.

3) Исследование процессов «разрежения» трафика в области высоких значений $\tau_{вх}$ показало, что вероятность поступления пакетов с такими интервалами весьма мало. Например: $P(\tau_{вх}>2)=0{,}135$ и $P(\tau_{вх}>3)=0{,}05$. Вместе с тем, поступление пакетов с интервалом $\tau_{вх}$, находящемся в диапазоне $\tau_{вх}>3$, которому соответствует процесс «разрежения» трафика, приводит к тому, что оператор преобразования $\tau_{вых}=\varphi(\tau_{вх})$ формирует для таких значений $\tau_{вх}$ неоправданно высокие значения $\tau_{вых}$ (достигают значений десятков и сотен условных единиц). В результате, из-за необходимости соблюдать последовательность пакетов в выходном трафике, новые пакеты, поступающие в это время, вынуждены ожидать в системе преобразования. Это приводит к быстрому накоплению очереди пакетов и росту среднего времени задержки пакетов в системе преобразования трафика, которое не совместимо с требованиями QoS. В связи с этим, предлагается при инженерной реализации системы преобразования трафика не использовать преобразование для входных пакетов, поступающих с интервалами $\tau_{вх}>2$ (при доле преобразованных пакетов 86,5%) или $\tau_{вх}>3$ (при доле преобразованных пакетов 95%).

Выводы

Современные системы IDS для обнаружения ИТВ типа «удаленная сетевая атака» широко используют анализ интенсивности трафика, поступающего от различных узлов сети. Для обеспечения бескомпроматности ИТВ необходимо обеспечить неизменность интенсивности трафика, поступающего от атакующего узла. Таким ИТВ может быть воздействие, ориентированное на усложнение структуры трафика при обеспечении инвариантности его интенсивности. Использование такого ИТВ позволит обеспечить существенное снижение своевременности обработки потоков трафика в узлах сети до 7-9 раз!

Ранее разработанное ИТВ, ориентированное на усложнение структуры трафика [53], использовало внедрение в поток передаваемого трафика дополнительных имитационных пакетов. Однако у этого ИТВ есть ряд недостатков. Во-первых, такое ИТВ, основанное на внедрении дополнительных

пакетов будет приводить к росту интенсивности трафика, что приведет к его выявлению. Во-вторых, при таком ИТВ достигаются относительно невысокие значения уровня сложности трафика.

Для устранения этих недостатков предлагается ИТВ, основанное на полном перехвате трафика с последующим преобразованием его структуры в сторону ее усложнения. Это позволит обеспечить неизменность интенсивности потока трафика, обеспечить формирование структуры трафика с гораздо более высоким уровнем сложности, и, соответственно, более высокий уровень снижения своевременности его обработки в узлах сети.

Для разработки такого ИТВ, основанного на преобразовании структуры трафика, предлагается использовать метод функционального преобразования трафика, впервые предложенный в работе Г.И. Линца, Л.А. Фомина, С.А. Скоробогатова [58].

В работе обоснован оператор преобразования трафика из простейшего потока в поток со сложной структурой, имеющий распределение Парето. Проведено исследование этого оператора. Выявлено, что преобразование трафика из простого в сложный состоит из двух процессов. Это процесс «сжатия» интервалов между пакетами и формирование «пачек» трафика, что соответствует росту вероятности коротких интервалов между пакетами выходного сложного трафика. И процесс «разрежения» интервалов между пакетами и формирование «длинных пауз» между «пачками» пакетов, что соответствует формированию «длинного хвоста» плотности распределения интервалов выходного сложного трафика.

Исследование процессов преобразования выявило, что процесс «разрежения» интервалов между пакетами в области больших значений интервалов входного трафика возникает с небольшой вероятностью и негативно влияет на процесс преобразования. В связи с этим, данным процессом при формировании инженерной системы ИТВ можно пренебречь. Исследование процесса «сжатия» пакетов трафика выявило, что при прямом использовании оператора преобразования возникают отрицательные задержки пакетов в системе ИТВ, что противоречит физическому смыслу процесса. Проведено исследование этих задержек, построена функция плотности вероятности, проведен анализ области ее определения. Сформированы предложения по исключению отрицательных задержек при преобразовании трафика. Кроме того, сформированы направления дальнейших исследований, направленных на доработку процесса преобразования трафика и согласования его с требованиями по QoS, используемыми в сети.

Литература

1. 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.

2. Макаренко С. И., Чукляев И. И. Терминологический базис в области информационного противоборства // Вопросы кибербезопасности. № 1(2). 2014. С. 13-21.

3. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Информационные конфликты – анализ работ и методологии исследования // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 95-178. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/04-Makarenko.pdf (дата обращения 17.09.2016).

4. Макаренко С. И. Информационное оружие в технической сфере: терминология, классификация, примеры // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 292-376. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/11-Makarenko.pdf (дата обращения 05.12.2016).

5. Микова С. Ю., Оладько В. С., Нестеренко М. А. Подход к классификации аномалий сетевого трафика // Инновационная наука. 2015. № 11. С. 78-80.

6. Багров Е. В. Мониторинг и аудит информационной безопасности на предприятии // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. 2011. № 5. С. 54-56.

7. Артамонов В. А. Обнаружение сетевых аномалий через реконструкцию сетевого трафика // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2007. Т. 76. № 1. С. 127-130.

8. Шелухин О. И., Сакалема Д. Ж., Филинова А. С. Обнаружение вторжений в компьютерные сети (сетевые аномалии). Учебное пособие для вузов / Под ред. О.И. Шелухина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 220 с.

9. Ажмухамедов И. М., Марьенков А. Н. Поиск и оценка аномалий сетевого трафика на основе циклического анализа // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 20. № 2. С. 17-26.

10. Ажмухамедов И. М., Марьенков А. Н. Выявление аномалий в вычислительных сетях общего пользования на основе прогнозирования объема сетевого трафика // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2012. № 3. С. 35-39.

11. Шелухин О. И., Судариков Р. А. Анализ информативных признаков в задачах обнаружения аномалий трафика статистическими методами // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 3. С. 14-18.

12. Талалаев А. А., Тищенко И. П., Фраленко В. П., Хачумов В. М. Распределённая система защиты облачных вычислений от сетевых атак // Вестник СибГУТИ. 2013. № 3. С. 46-62.

13. Шелухин О. И., Филинова А. С. Сравнительный анализ алгоритмов обнаружения аномалий трафика методами дискретного вейвлет-анализа // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 9. С. 89-97.

14. Шелухин О. И., Гармашев А .В. Обнаружение аномальных выбросов телекоммуникационного трафика методами дискретного вейвлет-анализа // Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. Т. 17. № 2. С. 15-26.

15. Шелухин О. И., Гармашев А. В. Обнаружение DOS и DDOS-атак методом дискретного вейвлет-анализа // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. № 1. С. 44-46.

16. Ажмухамедов И. М., Марьенков А. Н. Определение аномалий объема сетевого трафика на основе аппарата нечетких множеств // Вестник

Астраханского государственного технического университета. 2011. № 1. С. 48-50.

17. Басараб М. А., Строганов И. С. Обнаружение аномалий в информационных процессах на основе мультифрактального анализа // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 4 (7). С. 30-40.

18. Шелухин О. И., Антонян А. А. Анализ изменений фрактальных свойств телекоммуникационного трафика вызванных аномальными вторжениями // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 6. С. 61-64.

19. Mazurek M., Dymora P. Network anomaly detection based on the statistical self-similarity factor for HTTP protocol // Przegląd Elektrotechniczny. 2014. Vol. 90. № 1. P. 127-130.

20. Tarrío P., Bernardos A. M., Casar J. R. Weighted least squares techniques for improved received signal strength based localization // Sensors. 2011. Т. 11. № 9. С. 8569-8592.

21. Фраленко В. П. Обнаружение сетевых атак с помощью генетически создаваемых конечных автоматов // Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. 2012. № 4. С. 96-102.

22. Шелухин О. И., Чернышев А. И. Исследование и моделирование нейросетевых алгоритмов обнаружения аномальных вторжений в компьютерные сети // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 12. С. 102-106.

23. Талалаев А. А., Тищенко И. П., Фраленко В. П., Хачумов В. М. Эксперименты по нейросетевому мониторингу и распознаванию сетевых атак // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2010. № 15. С. 81-86.

24. Талалаев А. А., Тищенко И. П., Фраленко В. П., Хачумов В. М. Разработка нейросетевого модуля мониторинга аномальной сетевой активности // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2011. № 7. С. 32-38.

25. Большев А. К., Яновский В. В. Применение нейронных сетей для обнаружения вторжений в компьютерные сети // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2010. № 1. С. 129-135.

26. Lei J. Z., Ghorbani A. Network Intrusion Detection Using an Improved Competitive Learning Neural Network // Proc. of Second Annual Conf. on Communication Networks and Services Research. 2004. P. 190-197.

27. Wang G., Hao J., Ma J., Huang L. A New Approach to Intrusion Detection Using Artificial Neural Net-works and Fuzzy Clustering // Expert Systems with Applications. 2010. Vol. 37. No. 9. P. 6225-6232.

28. Lei J. Z., Ghorbani A. A. Improved Competitive Learning Neural Networks for Network Intrusion and Fraud Detection // Neurocomputing. 2012. Vol. 75. No. 1. P. 135-145.

29. Cannady J. Artificial Neural Networks for Misuse Detection // Proc. of National Information Systems Security Conf. 1998. P. 368-381.

30. Toosi A. N., Kahani M., Monsefi R. Network Intrusion Detection Based on Neuro-Fuzzy Classification // Proc. of Intern. Conf. on Computing and Informatics. 2006. P. 1-5.

31. Orang Z. A., et al. Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Alert Management of Intrusion Detection Systems // Intern. Journal of Computer Network and Information Security. 2012. Vol. 4. No. 1. P. 32-38.

32. Zainal A., Maarof M. A., Shamsuddin S. M. Ensemble Classifiers for Network Intrusion Detection System // Information Assurance and Security. 2009. Vol. 4. P. 217-225.

33. Hofmeyr S. A., Forrest S. Architecture for an Artificial Immune System // Journal of Evolutionary Computation. 2000. Vol. 8. No. 4. P. 443-473.

34. Hofmeyr S. A. An Immunological Model of Distributed Detection and its Application to Computer Security: PhD dissertation. – Department of Computer Sciences, University of New Mexico. 1999. – 113 p.

35. Тищенко И. П., Фраленко В. П., Хачумов В. М. Программно-инструментальные средства обнаружения и распознавания сетевых атак // Прикладная физика и математика. 2013.·№ 4. С. 70-85.

36. Браницкий А. А., Котенко И. В. Обнаружение сетевых атак на основе комплексирования нейронных, иммунных и нейронечетких классификаторов // Информационно-управляющие системы. 2015. № 4. С. 69-77.

37. Zhou Y. P. Hybrid Model Based on Artificial Immune System and PCA Neural Networks for Intrusion Detection // Asia-Pacific Conf. on Information Processing. 2009. Vol. 1. P. 21-24.

38. Powers S. T., He J. A Hybrid Artificial Immune System and Self Organising Map for Network Intrusion Detection // Information Sciences. 2008. Vol. 178. No. 15. P. 3024-3042.

39. Корнев П. А., Пылькин А. Н., Свиридов А. Ю. Применение инструментария искусственного интеллекта в системах обнаружения вторжений в вычислительные сети // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 1715.

40. Емельянова Ю. Г., Талалаев А. А., Тищенко И. П., Фраленко В. П. Нейросетевая технология обнаружения сетевых атак на информационные ресурсы // Программные системы: теория и приложения. 2011. № 3 (7). С. 3-15.

41. Кондратьев А. А., Тищенко И. П., Фраленко В. П. Разработка распределенной системы защиты облачных вычислений // Программные системы: теория и приложения. 2011. № 4 (8). С. 61-70.

42. Емельянова Ю. Г., Фраленко В. П. Анализ проблем и перспективы создания интеллектуальной системы обнаружения и предотвращения сетевых атак на облачные вычисления // Программные системы: теория и приложения. 2011. № 4 (8). С. 17-31.

43. Ушанев К. В. Имитационные модели системы массового обслуживания типа $Pa/M/1$, $H_2/M/1$ и исследование на их основе качества обслуживания трафика со сложной структурой // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 217-251.

44. Ушанев К. В., Макаренко С. И. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания *Pa*/*M*/1 на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 1. С. 42-65. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/03-Ushanev.pdf (дата обращения 01.12.2016).

45. Рыжиков Ю. И. Расчет систем обслуживания с групповым поступлением заявок // Информационно-управляющие системы. 2007. № 2. С. 39-49.

46. Рыжиков Ю. И. Полный расчет системы обслуживания с распределениями Кокса // Информационно-управляющие системы. 2006. № 2. С. 38-46.

47. Будко П. А., Рисман О. В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем. Математические модели и методы оптимизации. – СПб.: ВАС, 2011. – 476 с.

48. Малофей О. П., Фомин Л. А., Родионов В. В., Ряднов Д. С. Моделирование самоподобного трафика при построении сетей NGN // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2009. № 11. С. 176-186.

49. Бахарева Н. Ф., Карташевский И. В., Тарасов В.Н. Анализ и расчет непуассоновских моделей трафика в сетях ЭВМ // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Т. 7. № 4. С. 61-66.

50. Тарасов В. Н., Бахарева Н. Ф., Горелов Г. А. Математическая модель трафика с тяжелохвостным распределением на основе системы массового обслуживания H_2/M/1 // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 3. С. 36-41.

51. Шелухин О. И., Иванов Ю. А., Пастухов А. С. Исследование влияния самоподобия ON-OFF источников на скорость интернет-трафика // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2008. Т. 4. № 1-2. С. 97-100.

52. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. – Красноярск: «Поликом», 2010. – 389 с.

53. Макаренко С. И. Преднамеренное формирование информационного потока сложной структуры за счет внедрения в систему связи дополнительного имитационного трафика. // Вопросы кибербезопасности. № 3 (4). 2014. С. 7-13.

54. Макаренко С. И. Анализ математических моделей информационных потоков общего вида и степени их соответствия трафику сетей интегрального обслуживания // Вестник Воронежского государственного университета. 2012. Т. 8. № 8. С. 28-35.

55. Задорожный В. Н., Долгушин Д. Ю., Юдин Е. Б. Аналитико-имитационные методы решения актуальных задач системного анализа больших сетей / Под ред. В. Н. Задорожного – Омск: Издательство ОмГТУ, 2013. – 324 с.

56. Ушанев К. В., Макаренко С. И. Преобразование структуры трафика с учетом требований по качеству его обслуживания // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. № 2. С. 74-84.

57. Линец Г. И. Методы структурно-параметрического синтеза, идентификации и управления транспортными телекоммуникационными сетями для достижения максимальной производительности: Автореф. дис. … д-ра техн. наук. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2013. – 34 с.

58. Линец Г. И., Фомин Л. А., Скоробогатов С. А. Снижение влияния самоподобности трафика в пакетных сетях // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 11. С. 38-42.

59. Линец Г. И., Фомин Л. А., Скоробогатов С. А., Криволапов Р. В. Способ снижения влияния самоподобности в сетевых структурах и устройство для его осуществления // Патент на изобретение № 2413284. 27.02.2011.

60. Линец Г. И., Фомин Л. А., Говорова С. В., Меденец В. В. Построение мультисервисных сетей на основе функциональных преобразований трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 4. С. 40-45.

61. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, 2002. – 575 с.

62. Новиков Е. А., Павлов А. Р., Зиннуров С. Х. Метод оперативного планирования частотно-временного ресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 5. С. 14-23.

63. Новиков Е. А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2 (69). С. 79-86.

64. Новиков Е. А., Косяков Е. Н., Павлов А. Р. Динамическое резервирование радиоресурса в сетях спутниковой связи при передаче самоподобного трафика // Труды Научно-исследовательского института радио. 2014. № 2. С. 49-60.

65. Жуков С. Е., Новиков Е. А., Павлов А. Р. Метод динамического распределения радиоресурса ретранслятора в сетях спутниковой связи с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении // Труды Научно-исследовательского института радио. 2014. № 1. С. 74-80.

References

1. Mikhailov R. L., Makarenko S. I. Estimating Communication Network Stability under the Conditions of Destabilizing Factors Affecting it. *Radio and telecommunication systems*, 2013, no. 4, pp. 69-79 (in Russian).

2. Makarenko S. I., Chucklyaev I I. The Terminological Basis of the Informational Conflict Area. *Voprosy kiberbezopasnosti*, vol. 2, no. 1, 2014, pp. 13-21 (in Russian).

3. Makarenko S. I., Mikhailov R. L. Information Conflicts – Analysis of Papers and Research Methodology. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016,

no. 3, pp. 95-178. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/04-Makarenko.pdf (accessed 17 September 2016) (in Russian).

4. Makarenko S. I. Information Weapon in Technical Area – Terminology, Classification and Examples. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 3, pp. 292-376. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/11-Makarenko.pdf (accessed 05 December 2016) (in Russian).

5. Mikova S. Iu., Oladko V. S., Nesterenko M. A. Podkhod k klassifikatsii anomalii setevogo trafika [The approach to classification of anomalies in network traffic]. *Innovatsionnaia nauka*, 2015, no. 11, pp. 78-80 (in Russian).

6. Bagrov E. V. Monitoring i audit informatsionnoi bezopasnosti na predpriiatii [Monitoring and auditing of information security in the enterprise]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia 10: Innovatsionnaia deiatel'nost*, 2011, no. 5, pp. 54-56 (in Russian).

7. Artamonov V. A. Obnaruzhenie setevykh anomalii cherez rekonstruktsiiu setevogo trafika [Detection of network anomalies through the reconstruction of network traffic]. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2007, no. 1, pp. 127-130 (in Russian).

8. Sheluhin O. I., Sakalema D. Zh., Filinova A. S. *Obnaruzhenie vtorzhenii v komp'iuternye seti (setevye anomalii)* [Intrusion detection in computer networks (network anomalies)]. Moscow, Goriachaia liniia - Telekom Publ., 2013. 220 p. (in Russian).

9. Azhmukhamedov I. M., Marenkov A. N. Poisk i otsenka anomalii setevogo trafika na osnove tsiklicheskogo analiza [Search and evaluation of anomalies in network traffic]. *Engineering journal of Don*, 2012, vol. 20, no. 2, pp. 17-26 (in Russian).

10. Azhmukhamedov I. M., Marenkov A. N. Vyiavlenie anomalii v vychislitel'nykh setiakh obshchego pol'zovaniia na osnove prognozirovaniia ob"ema setevogo trafika [Anomaly detection in computer networks based on the prediction of network traffic]. *Information Security Problems. Computer Systems*, 2012, no. 3, pp. 35-39 (in Russian).

11. Sheluhin O. I., Sudarikov R. A. Analysis of diagnostic criteria for statistical network anomaly detection. *T-Comm*, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 14-18 (in Russian).

12. Talalaev A. A., Tishchenko I. P., Fralenko V. P., Khachumov V. M. Distributed security system for cloud protection from network attacks. Vestnik SibGUTI, 2013, no. 3, pp. 46-62 (in Russian).

13. Sheluhin O. I., Filinova A. S. The comparative analysis of detection algorithms detection of traffic anomalies methods of the discrete wavelet-analysis. *T-Comm*, 2014, vol. 8, no. 9, pp. 89-97 (in Russian).

14. Sheluhin O. I., Garmashev A. V. Detection of abnormal spikes in network traffic by methods of discrete wavelet analysis. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy*, 2012, vol. 17, no. 2, pp. 15-26 (in Russian).

15. Shelukhin O. I., Garmashev A. V. Obnaruzhenie DOS i DDOS-atak metodom diskretnogo veivlet-analiza [Detection DOS and DDOS attacks using discrete wavelet analysis]. *T-Comm*, 2011, no. 1, pp. 44-46 (in Russian).

16. Azhmukhamedov I. M., Marienkov A. N. Network traffic anomaly detection based on fuzzy sets apparatus. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2011, no. 1, pp. 48-50 (in Russian).

17. Basarab M. A., Stroganov I. S. Anomaly detection in information processes based on multifractal analysis. Voprosy kiberbezopasnosti, 2014, vol. 7, no. 4, pp. 30-40 (in Russian).

18. Sheluhin O. I., Antonian A. A. Analysis of changes in the fractal properties of telecommunication traffic caused by abnormal invasions. *T-Comm*, 2014, vol. 8, no. 6, pp. 61-64 (in Russian).

19. Mazurek M., Dymora P. Network anomaly detection based on the statistical self-similarity factor for HTTP protocol. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2014, vol. 90, no. 1, pp. 127-130.

20. Tarrío P., Bernardos A. M., Casar J. R. Weighted least squares techniques for improved received signal strength based localization. *Sensors*, 2011, vol. 11, no. 9, pp. 8569-8592.

21. Fralenko V. P. Intrusion Detection using Genetically Generated Finite Automata. *Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship. Series Mathematics. Informatics. Physics*, 2012, no. 4, pp. 96-102 (in Russian).

22. Shelukhin O. I., Chernyshev A. I. Research and modeling neural network algorithm for detecting an abnormal intrusion. *T-Comm*, 2014, vol. 8, no. 12, pp. 102-106 (in Russian).

23. Talalaev A. A., Tishchenko I. P., Fralenko V. P., Khachumov V. M. Eksperimenty po neirosetevomu monitoringu i raspoznavaniiu setevykh atak [Experiments on neural network monitoring and detection of network attacks] // *Information counteraction to the terrorism threats*, 2010, no. 15, pp. 81-86 (in Russian).

24. Talalaev A.A., Tishchenko I. P., Fralenko V. P., Khachumov V. M. Working out neural of the module of monitoring of abnormal network activity. *Neyrokompyutery: razrabotka i primenenie*, 2011, no. 7, pp. 32-38 (in Russian).

25. Bolshev A. K., Yanovskiy V. V. Using artificial neural networks in network intrusion detection. *Vestnik of St. Petersburg State University. Series 10. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2010, no. 1, pp. 129-135 (in Russian).

26. Lei J. Z., Ghorbani A. Network Intrusion Detection Using an Improved Competitive Learning Neural Network. *Proc. of Second Annual Conf. on Communication Networks and Services Research*, 2004, pp. 190-197.

27. Wang G., Hao J., Ma J., Huang L. A New Approach to Intrusion Detection Using Artificial Neural Net-works and Fuzzy Clustering. *Expert Systems with Applications*, 2010, vol. 37, no. 9. pp. 6225-6232.

28. Lei J. Z., Ghorbani A. A. Improved Competitive Learning Neural Networks for Network Intrusion and Fraud Detection. *Neurocomputing*, 2012, vol. 75, no. 1, pp. 135-145.

29. Cannady J. Artificial Neural Networks for Misuse Detection. *Proc. of National Information Systems Security Conf*, 1998, pp. 368-381.

30. Toosi A. N., Kahani M., Monsefi R. Network Intrusion Detection Based on Neuro-Fuzzy Classification. *Proc. of Intern. Conf. on Computing and Informatics*, 2006, pp. 1-5.

31. Orang Z. A., et al. Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Alert Management of Intrusion Detection Systems. *Intern. Journal of Computer Network and Information Security*, 2012, vol. 4. no. 1, pp. 32-38.

32. Zainal A., Maarof M. A., Shamsuddin S. M. Ensemble Classifiers for Network Intrusion Detection System. *Information Assurance and Security*, 2009, vol. 4, pp. 217-225.

33. Hofmeyr S. A., Forrest S. Architecture for an Artificial Immune System. Journal of Evolutionary Computation, 2000, vol. 8, no. 4, pp. 443-473.

34. Hofmeyr S. A. *An Immunological Model of Distributed Detection and its Application to Computer Security: PhD dissertation*. Department of Computer Sciences, University of New Mexico. 1999. 113 p.

35. Tishchenko I. P., Fralenko V. P., Khachumov V. M. Software and tools for network attacks detection and identification. *Applied Physics and Mathematics*, 2013, no. 4, pp. 70-85 (in Russian).

36. Branitskiy A. A., Kotenko I. V. Network Attack Detection Based on Combination of Neural, Immune and Neuro-fuzzy Classifiers. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2015, no. 4, pp. 69-77 (in Russian).

37. Zhou Y. P. Hybrid Model Based on Artificial Immune System and PCA Neural Networks for Intrusion Detection. *Asia-Pacific Conf. on Information Processing*, 2009, vol. 1, pp. 21-24.

38. Powers S. T., He J. A Hybrid Artificial Immune System and Self Organising Map for Network Intrusion Detection. Information Sciences, 2008, vol. 178, no. 15, pp. 3024-3042.

39. Kornev P. A., Pylkin A. N., Sviridov A. U. Using artificial intelligence in intrusion detection systems. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 6, pp. 1715 (in Russian).

40. Yemelyanova Yu. G., Talalaev A. A., Tishchenko I. P., Fralenko V. P. Neyrosetevaya tekhnologiya obnaru-zheniya setevykh atak na informatsionnye resursy [Neural network intrusion detection technology to in-formation resources]. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya*, 2011, vol. 7, no. 3, pp. 3-15 (in Russian).

41. Kondratev A. A., Tishchenko I. P., Fralenko V. P. Razrabotka raspredelennoy sistemy zashchity oblachnykh vychisleniy [Development of a distributed cloud computing security]. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya*, 2011, vol. 8, no. 4, pp. 61-70 (in Russian).

42. Yemelyanova Yu. G., Fralenko V. P. Analiz problem i perspektivy sozdaniya intellektualnoy sistemy obnaruzheniya i predotvrashcheniya setevykh atak na oblachnye vychisleniya [Analysis of the problems and prospects of creating an intelligent system to detect and prevent network attacks on cloud computing]. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya*, 2011, vol. 8, no. 4, pp. 17-31 (in Russian).

43. Ushanev K. V. Simulation Models of Queuing Systems of Type *Pa*/*M*/1, H_2/*M*/1 and Research on the Basis of their Quality of Service Traffic with a Complicated Structure. *Systems of Control, Communication and Security,* 2015, no. 4, pp. 217-251 (in Russian).

44. Ushanev K.V., Makarenko S. I. The Timeliness Indicators of Traffic Service in Queue Systems Pa/M/1 Based on Approximation of Imitating Modeling Results. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 1, pp. 42-65. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/03-Ushanev.pdf (accessed 01 December 2016) (in Russian).

45. Ryzhikov Y. I. Raschet sistem obsluzhivanija s gruppovym postupleniem zajavok [Calculation of Systems of Service with Group Receipt of Demands]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2007, no. 2, pp. 39-49 (in Russian).

46. Ryzhikov Y. I. Polnyj raschet sistemy obsluzhivanija s raspredelenijami Koksa [Full Calculation of System of Service with Cox's Distributions]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2006, no. 2, pp. 38-46 (in Russian).

47. Budko P. A., Risman O. V. *Mnogourovnevyj sintez informacionno-telekommunikacionnyh sistem. matematicheskie modeli i metody optimizacii* [Multilevel Synthesis of Information and Telecommunication Systems. Mathematical Models and Methods of Optimization]. Saint-Petersburg, Military Academy of Communications, 2011. 476 p. (in Russia).

48. Malofej O. P., Fomin L. A., Rodionov V. V., Rjadnov D. S. Modelirovanie samopodobnogo trafika pri postroenii setej NGN [Modeling of a Self-Similar Traffic at Creation of the NGN Networks]. *Izvestiya Southern Federal University. Engineering Sciences*, 2009, no. 11, pp. 176-186 (In Russian).

49. Bakhareva N. F., Kartashevskii I. V., Tarasov V. N. Analiz i raschet nepuassonovskih modelej trafika v setjah EVM [The Analysis and Calculation of Not-Poisson Traffic Models in Computer Networks]. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 2009, vol. 7, no. 4, pp. 61-66 (in Russian).

50. Tarasov V. N., Bakhareva N. F., Gorelov G. A. Matematicheskaja model' trafika s tjazhelohvostnym raspredeleniem na osnove sistemy massovogo obsluzhivanija [The Mathematical Model of Traffic with Heavy Tail Distribution on the Basis of Queuing System Type of H_2/M/1]. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 3, pp. 36-41 (in Russian).

51. Sheluhin O. I., Ivanov Y. A., Pastuhov A. S. Issledovanie vlijanija samopodobija ON-OFF istochnikov na skorost' internet-trafika [Research of Influence of Self-simIlarity of ON-OFF of Sources on Internet Traffic Speed]. *Elektrotehnicheskie i informacionnye kompleksy i sistemy*, 2008, vol. 4. no. 1-2, pp. 97-100 (in Russian).

52. Nazarov A. N., Sychev K. I. *Modeli i metody rascheta pokazatelej kachestva funkcionirovanija uzlovogo oborudovanija i strukturno-setevyh parametrov setej svjazi sledujushhego pokolenija* [The Models and the Methods of Measuring of Quality Indicators of Nodal Equipment Functioning and Network Structural Parameters of Next Generation Networks]. Krosnoyarsk, Polykom Publ., 2010. 389 p. (in Russian).

53. Makarenko S. I. Premeditated formation of the traffic of difficult structure due to implementation in the communication system of additional imitative traffic. *Voprosy kiberbezopasnosti*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 7-13 (in Russian).

54. Makarenko S. I. Analyzing of Mathematical Models of General type Data Streams and Degree of their Conformity to Integral Service Net Traffic. *Proceedings of Voronezh State University,* 2012, vol. 8, no. 8, pp. 28-35 (in Russian).

55. Zadorozhnii V. N., Dolgushin D. U., Udin E. B. *Analitiko-imitatsionnye metody resheniia aktual'nykh zadach sistemnogo analiza bol'shikh setei* [Analytical-Imitating Methods of the Decision of Actual Problems of the System Analysis of the Big Networks]. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 2013. 324 p. (in Russian).

56. Ushanev K. V., Makarenko S. I. Traffic structure conversion with requirements for the traffic service quality. *Radio and telecommunication systems*, 2015, no. 2, pp. 74-84 (In Russian).

57. Linec G. I. *Metody strukturno-parametricheskogo sinteza, identifikacii i upravlenija transportnymi telekommunikacionnymi setjamin dlja dostizhenija maksimal'noj proizvoditel'nosti***.** Diss. dokt. tehn. nauk [The Methods of Structural Parametric Synthesis, Identification and Control of Transport Telecommunication Networks for Achievement of the Maximum Productivity. Extended Abstract of Dr. habil. Thesis]. Stavropol, Northern-Caucasus State University, 2013. 34 p. (in Russian).

58. Linec G. I., Fomin L. A., Skorobogatov S. A. Snizhenie vlijanija samopodobnosti trafika v paketnyh setjah [Lowering of Influence of Self-Similitude of Traffic on Package Networks]. *Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 38-42 (in Russian).

59. Linec G. I., Fomin L. A., Skorobogatov S. A., Krivolapov R. V. *Sposob snizhenija vlijanija samopodobnosti v setevyh strukturah i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija* [The Way of Lowering Self-Similitude on Network Structures and the Device for Its Realization]. Patent Russia, no. 2413284, 27 February 2011. (in Russian).

60. Linec G. I., Fomin L. A., Govorova S. V., Medenec V. V**.** *Postroenie mul'tiservisnyh setej na osnove funkcional'nyh preobrazovanij trafika* [Creation of Multiservice Networks on the Basis of the Functional Transformations of Traffic]. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 4, pp. 40-45 (in Russian).

61. Venttsel E. S. *Teoriia veroiatnostei* [Probability theory]. Moscow, Vysshaia Shkola Publ., 2002. 575 p. (in Russian).

62. Novikov E. A., Pavlov A. R., Zinnurov S. H. Method of operative planning of the satellite repeater's time-and-frequency resource under non stationary ingress flow. *Aerospace Instrument Making*, 2014, no. 5, pp. 14-23 (in Russian).

63. Novikov E. A. Operative distribution of satellite repeater radio resource in terms of non-stationary ingress flow with account of time lagged control. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2014, vol. 69, no 2, pp. 79-86 (in Russian).

64. Novikov E. A., Kosyakov E. N., Pavlov A. R. Dynamic reservation of a radio resource in satellite communication networks by transfer of the self-similar traffic. *Trudi NIIR*, 2014, no. 2, pp. 49-60 (in Russian).

65. Zhukov S. E., Novikov E. A., Pavlov A. R. Method of radio resource dynamic distribution in networks of satellite communication taking into account heterogeneity of a traffic and delay at management. *Trudi NIIR*, 2014, no. 1, pp. 74-80 (in Russian).

Статья поступила 09 декабря 2016 г.

Информация об авторах

Макаренко Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры сетей и систем связи космических комплексов. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: устойчивость сетей и систем связи к преднамеренным деструктивным воздействиям; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E - mail: mak-serg@yandex.ru

Коровин Виталий Михайлович – кандидат технических наук. Старший преподаватель кафедры сетей и систем связи космических комплексов. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: цифровая стеганография, прием и обработка сложных радиотехнических сигналов; математическое моделирование процессов в системах связи. E - mail: 9112116532@mail.ru

Ушанев Константин Владимирович – кандидат технических наук. Инженер лаборатории кафедры систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: передача и обработка трафика со сложной и самоподобной структурой. E - mail: stan_007@mail.ru

Адрес: Россия, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская д. 13.

The Traffic Transformation Operator for Deliberate Increase of the Structural Complexity of the Information Stream

S. I. Makarenko, V. M. Korovin, K. V. Ushanev

Statement of the problem. *Theory of information security and theory of information warfare evolve and require the development of new models of cyber-attacks. These new cyber-attacks can be used to test resilience and security of the telecommunication systems. Analysis of means of identifying cyber-attacks showed that their detection is based on the analysis of intensity of the network traffic. Thus, the new cyber attacks that have a high stealth, it must ensure that the traffic intensity remain the same in during the attack. Such cyber-attacks can be based on the formation of the complexity structure of traffic that is transmitted on the network.* ***The aim of the paper*** *is development of the scientific-methodological apparatus for the research of cyber-attacks which are based on the transformation of the traffic structure to make it more complicated. This scientific-methodological apparatus will keep the same intensity of traffic, but to ensure the formation of traffic patterns with a much higher level of complexity. This traffic processed in the individual network nodes and reduces of timeliness of the network as a whole.* ***Methods used.*** *The scientific-methodological apparatus for the research of cyber attacks is based on the method of functional transformation of traffic.* ***Results and novelty.*** *The traffic transformation operator that proposed in paper from the elementary stream makes a stream with a complex structure. This operator was researched. The research revealed that the traffic transformation consists of two processes. The first process is compression*

of the intervals between packets and formation of the "packs" of traffic. The second process is "rarefaction" of the intervals between the packets and formation of the long pauses between "packs" of packets. Proposals for the use of these two processes to substantiate the parameters of cyber-attacks made in the paper. ***Practical significance.*** *The traffic transformation operator is the basis of scientific-methodological apparatus for the study of a new cyber attacks. Such a cyber attack will be covert in relation to existing means for attack detection which is based on the analysis of the network traffic intensity. These new cyber-attacks can be used to test resilience and security of telecommunication systems, and to develop protection methods.*

Key words: *information security, information warfare, network attack, intrusion detection, methods of detecting network attacks, information technology impact, converting traffic, complex traffic, complex structure.*

Information about Authors

Sergey Ivanovich Makarenko – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent. 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. E–mail: mak-serg@yandex.ru

Vitaly Mikhaylovich Korovin – Ph.D. of Engineering Sciences. Senior Lecturer at the Department of Networks and Communication Systems of Space Systems. A. F. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: digital steganography, reception and processing of complex radio signal; mathematical modeling of processes in communication systems. E - mail: 9112116532@mail.ru

Konstantin Vladimirovich Ushanev – Ph.D. of Engineering Sciences. The Engineer of the Laboratory of the Department of the Space Electronic Warfare Systems. A. F. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: the transmission and servicing of the complicated structure traffic and self-similar structure traffic. E-mail: stan_007@mail.ru

Address: Russia, 197198, Saint-Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.

УДК 62–50:519.7/8

Многомерные интервалы и их применение в технике, экономике и социальной сфере

Левин В.И.

Актуальность. *В последние десятилетия в гражданской и военной сферах все чаще встречаются новые технологии, связанные с изучением неопределенности. Эти технологии широко применяются в технике, экономике, социальной сфере. Для их поддержки необходимы новые математические модели и методы. В связи с этим данная статья, посвященная разработке новой модели неопределенности (многомерный интервал) и математических методов ее изучения, является актуальной.* ***Цель статьи*** *заключается в детальной разработке новой математической модели неопределенности – многомерного интервала, являющегося множеством конечного числа независимых интервалов неопределенности, системы алгебраических операций над многомерными интервалами и правил выполнения этих операций.* ***Метод.*** *Для достижения поставленной цели предложено распространить на изучение многомерных интервалов известный в интервальной математике метод изучения интервалов, основанный на определении алгебраических операций над интервалами в виде теоретико-множественного обобщения соответствующих операций над вещественными числами.* ***Новизна.*** *Новизна работы заключается в предложенной новой математической модели неопределенности систем в виде многомерных интервалов, совместно с математическим аппаратом, позволяющим выполнять различные операции над многомерными интервалами и тем самым дающим возможность выполнять математическое моделирование систем с неопределенностью.* ***Результат****. В статье детально разработана новая математическая модель неопределенности – многомерный интервал. Определены алгебраические операции над многомерными интервалами, выведены правила их выполнения. Предложен алгоритм изучения неопределенных систем с многомерно-интервальными параметрами.*

Ключевые слова: *модель неопределенности, интервал, многомерный интервал, моделирование неопределенных систем.*

Введение

Известно, что во время Второй Мировой войны в практику военных действий были введены многие новые технологии, связанные с присущей этим действиям неопределенностью. Сюда относятся обнаружение воздушных целей с помощью радаров, шифровка и дешифровка сообщений, управление огнем зенитной артиллерии, расчет процессов при изготовлении и испытаниях атомного оружия и др. Изучение неопределенности потребовало применения соответствующих математических методов – теории вероятностей, теории случайных процессов и т.д. После войны эти работы продолжились и распространились на гражданские области – технику, экономику, а также и социальную сферу. При этом значительно расширилось понятие неопределенности, оно стало включать не только случайность возможных исходов, которая количественно изучается вероятностными методами, но и неединственность исходов или их незнание, дрейф переменных, семантическую неопределенность целей, многокритериальность принятия решений, недоопределенность модели или структуры исследуемой системы и т.д. Новые виды неопределенности изучаемых систем привели к разработке новых

математических методов их изучения: теория нечетких множеств, многозначная логика, сверхслучайные процессы и др. Одним из самых популярных методов стала также интервальная математика, которая занимается изучением величин, определяемых с точностью до интервалов возможных значений [1, 2]. Но отдельные интервалы, изучаемые в интервальной математике, не могут охватить все случаи, встречающиеся на практике. Например, ситуация, характеризующая условия проведения военной операции, может задаваться несколькими независимыми интервалами, каждый из которых определяет множество возможных значений одного из параметров условий. Такими параметрами могут быть, например, время, температура, сила ветра и т.д. Аналогично, неопределенная ситуация, характеризующая технологический процесс производства, может определяться набором интервалов, задающих температуру процесса, давление, скорость движущихся механизмов и т.д. Во всех этих примерах мы имеем неопределенные объекты нового вида – совокупности совместно рассматриваемых независимых интервалов, задающих области возможных значений параметров различной природы. Такие объекты естественно называть многомерными интервалами. Настоящая статья полностью посвящена теории и возможным применениям многомерных интервалов. Вместе с предыдущей статьей автора [3], посвященной полиинтервалам, ее можно рассматривать как вклад в дальнейшее развитие интервальной математики.

1. Постановка задачи

Как подход к изучению неопределенных систем, интервальная математика строится, как известно, на основе понятия интервала, рассматриваемого как множество всех возможных значений неполностью определенной величины $\tilde{a}$, задаваемой только ее нижней a_1 и верхней a_2 границами. Соответственно этому величина $\tilde{a}$ записывается в форме ограниченного интервала неопределенности вида множества

$$\tilde{a} \equiv [a_1, a_2] = \{a \mid a_1 \le a \le a_2\}. \quad (1)$$

Здесь предполагается, что неизвестное «истинное» значение неопределенной величины $\tilde{a}$ достоверно лежит в пределах интервала $[a_1, a_2]$, не выходя за его границы a_1 и a_2. Причем все значения в пределах этого интервала считаются равновозможными в том смысле, что нет никаких оснований предпочитать одно значение другому. Здесь понятие равновозможности не означает задание равномерного вероятностного или иного распределения возможных значений внутри данного интервала. Над интервалами вида (1) вводятся алгебраические операции, аналогичные соответствующим операциям над числами. Для этого используется следующая теоретико-множественная конструкция

$$\tilde{a} \circ \tilde{b} = \{a \bullet b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, \quad \circ \tilde{a} = \{\bullet a \mid a \in \tilde{a}\}, \tag{2}$$

т.е. любая операция над интервалами $\circ$ определяется на основе соответствующей операции над точными величинами $\bullet$, при условии, что конкретные значения этих величин пробегают все возможные значения из соответствующих интервалов. Из определения (2) получаются следующие правила выполнения операций над интервалами:

$$[a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [a_1 + b_1, a_2 + b_2]; \quad [a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [a_1 - b_2, a_2 - b_1];$$
$$k \cdot [a_1, a_2] = \begin{cases} [ka_1, ka_2], & k > 0, \\ [ka_2, ka_1], & k < 0; \end{cases} \quad [a_1, a_2] \cdot [b_1, b_2] = [\min_{i,j}(a_i \cdot b_j), \max_{i,j}(a_i \cdot b_j)]; \tag{3}$$
$$[a_1, a_2] / [b_1, b_2] = [a_1, a_2] \cdot [1/b_2, 1/b_1], \text{ при } 0 \notin [b_1, b_2].$$

Продолжим развитие интервальной математики, введя понятие многомерного интервала как совокупности (множества) совместно рассматриваемых независимых интервалов

$$\tilde{M} = \{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, ..., \tilde{a}_p\}, \text{ где } \tilde{a}_1, \tilde{a}_2, ..., \tilde{a}_p - \text{ интервалы вида (1), т.е. } \tilde{a}_i = [a_{i1}, a_{i2}]. \tag{4}$$

Операции над многомерными интервалами определим аналогично операциям над интервалами, используя теоретико-множественные конструкции вида (2). Пусть $\tilde{M}$ – многомерный интервал вида (4), имеющий размерность p, а

$$\tilde{N} = \{\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, ..., \tilde{b}_p\}, \text{ где } \tilde{b}_1, \tilde{b}_2, ..., \tilde{b}_p - \text{ интервалы вида (1), т.е. } \tilde{b}_i = [b_{i1}, b_{i2}], - \tag{5}$$

другой многомерный интервал вида (4) той же размерности. Тогда операции над многомерными интервалами определятся в виде

$$\tilde{M} \circ \tilde{N} = \{\tilde{a}_i \bullet \tilde{b}_i \mid \tilde{a}_i \in \tilde{M}, \tilde{b}_i \in \tilde{N}\}, \quad \circ \tilde{M} = \{\bullet \tilde{a}_i \mid \tilde{a}_i \in \tilde{M}\}. \tag{6}$$

Здесь $\tilde{M}$ – p-мерный интервал вида (4), $\tilde{N}$ – p-мерный интервал того же вида (5), но с другими составляющими его одиночными интервалами вида (1). Задача данной работы состоит в том, чтобы, исходя из определения операций над многомерными интервалами, вывести правила выполнения этих операций, аналогичные правилам (3) операций над интервалами.

2. Решение задачи

Формулы (6) показывают, что выполнение операций над многомерными интервалами может быть сведено к выполнению соответствующих операций над одиночными интервалами. Именно, для выполнения операции $\circ$ над парой многомерных интервалов $\tilde{M}, \tilde{N}$ нужно выполнить соответствующую операцию $\bullet$ для каждой пары $\tilde{a}_i, \tilde{b}_i$ их одиночных интервалов с одинаковыми номерами i и объединить полученные результаты в единое множество, которое и будет искомым результатом $\tilde{M} \circ \tilde{N}$. Аналогично, для выполнения операции $\circ$ над одним многомерным интервалом $\tilde{M}$ нужно выполнить соответствующую операцию $\bullet$ для каждого его одиночного интервала $\tilde{a}_i$ и объединить полученные результаты в единое множество, которое и даст искомый результат $\circ \tilde{M}$. Используя изложенный алгоритм, можно без труда установить правила для конструктивного

выполнения различных операций над многомерными интервалами, имеющие вид формул и по форме аналогичные правилам (3) операций над одиночными интервалами.

Начнем с установления формулы для конструктивного выполнения операции сложения многомерных интервалов. Для этого достаточно применить изложенный выше алгоритм, учитывая, что в данном случае операция $\circ$ есть сложение двух многомерных интервалов $\tilde{M}$ и $\tilde{N}$, а операция $\bullet$ представляет собой сложение двух одиночных интервалов $\tilde{a}_i, \tilde{b}_i$, из которых состоят $\tilde{M}$ и $\tilde{N}$ (см. (5), (6)), выполняемое по соответствующей формуле (3), в результате получим искомую формулу

$$\tilde{M}+\tilde{N} \equiv \{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, ..., \tilde{a}_p\} + \{\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, ..., \tilde{b}_p\} = \{\tilde{a}_1 + \tilde{b}_1, \tilde{a}_2 + \tilde{b}_2, ..., \tilde{a}_p + \tilde{b}_p\},$$
$$\text{где } \tilde{a}_i + \tilde{b}_i = [a_{i1} + b_{i1}, a_{i2} + b_{i2}], \quad i = \overline{1, p}. \tag{7}$$

Аналогично устанавливаются формулы для конструктивного выполнения остальных операций над многомерными интервалами. Формула для конструктивного выполнения вычитания многомерных интервалов такова:

$$\tilde{M}-\tilde{N} \equiv \{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, ..., \tilde{a}_p\} - \{\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, ..., \tilde{b}_p\} = \{\tilde{a}_1 - \tilde{b}_1, \tilde{a}_2 - \tilde{b}_2, ..., \tilde{a}_p - \tilde{b}_p\},$$
$$\text{где } \tilde{a}_i - \tilde{b}_i = [a_{i1} - b_{i2}, a_{i2} - b_{i1}], \quad i = \overline{1, p}. \tag{8}$$

Формула для конструктивного выполнения операции умножения многомерного интервала на число

$$k\tilde{M} \equiv k\{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, ..., \tilde{a}_p\} = \{k\tilde{a}_1, k\tilde{a}_2, ..., k\tilde{a}_p\}, \text{ где } k\tilde{a}_i = \begin{cases} [ka_{i1}, ka_{i2}], & k > 0, \\ [ka_{i2}, ka_{i1}], & k < 0, \end{cases} \quad i = \overline{1, p}. \tag{9}$$

Выражение для конструктивного выполнения операции умножения многомерных интервалов

$$\tilde{M} \cdot \tilde{N} \equiv \{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, ..., \tilde{a}_p\} \cdot \{\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, ..., \tilde{b}_p\} = \{\tilde{a}_1 \cdot \tilde{b}_1, \tilde{a}_2 \cdot \tilde{b}_2, ..., \tilde{a}_p \cdot \tilde{b}_p\},$$
$$\text{где } \tilde{a}_i \cdot \tilde{b}_i = [a_{i1}, a_{i2}] \cdot [b_{i1}, b_{i2}] = \left[\min_{r,s} (a_{ir} \cdot b_{is}), \max_{r,s} (a_{ir} \cdot b_{is}) \right], \quad i = \overline{1, p}, \quad r, s = 1,2. \tag{10}$$

Формула для конструктивного выполнения операции деления многомерных интервалов

$$\tilde{M} / \tilde{N} \equiv \{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, ..., \tilde{a}_p\} / \{\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, ..., \tilde{b}_p\} = \{\tilde{a}_1 / \tilde{b}_1, \tilde{a}_2 / \tilde{b}_2, ..., \tilde{a}_p / \tilde{b}_p\},$$
$$\text{где } \tilde{a}_i / \tilde{b}_i = [a_{i1}, a_{i2}] \cdot [1/b_{i2}, 1/b_{i1}], \quad i = \overline{1, p}. \tag{11}$$

В формуле (11) выражение для частного двух интервалов $\tilde{a}_i / \tilde{b}_i$ в виде произведения двух интервалов вычисляется по последней формуле (10).

Формулы (7)–(11) определяют правила конструктивного выполнения всех введенных выше алгебраических операций над многомерными интервалами путем сведения этих операций к соответствующим, хорошо известным операциям над одиночными интервалами.

Теперь мы можем изложить алгоритм решения различных задач, связанных с исследованием систем, имеющих многомерные интервальные характеристики.

Шаг 1. Построение математической модели, представляющей решение задачи как вычисление и анализ некоторой функции $\widetilde{F}$ от аргументов – многомерных интервалов.

Шаг 2. Составление по построенной модели блок-схемы алгоритма вычисления и анализа функции $\widetilde{F}$.

Шаг 3. Вычисление и анализ, по составленной блок-схеме алгоритма, многомерной интервальной функции $\widetilde{F}$, с применением формул (7)–(11) выполнения различных операций над многомерными интервалами.

Пример. Работник служит в двух фирмах: A и B. В обеих фирмах его месячная заработная плата выплачивается в двух различных валютах – рублях и долларах США. При этом в фирме A она составляет 55000 ± 1000 рублей плюс 1000 ± 100 долларов, в фирме B – 60000 ± 1500 рублей плюс 1200 ± 100 долларов. Нужно определить суммарную месячную зарплату работника.

Решение. *Шаг 1.* В фирме A первую зарплату работника можно представить в виде интервала $\widetilde{a}_1 = [a_{11}, a_{12}] = [54000, 56000]$, а вторую зарплату – как интервал $\widetilde{a}_2 = [a_{21}, a_{22}] = [900, 1100]$. Аналогично, в фирме B первую зарплату работника можно представить в виде интервала $\widetilde{b}_1 = [b_{11}, b_{12}] = [58500, 61500]$, а вторую – в виде интервала $\widetilde{b}_2 = [b_{21}, b_{22}] = [1100, 1300]$. Тогда месячную зарплату работника в фирмах A и B можно представить соответственно следующими двумерными интервалами

$$\widetilde{M} = \{\widetilde{a}_1, \widetilde{a}_2\} = \{[54000, 56000], [900, 1100]\},\ \widetilde{N} = \{\widetilde{b}_1, \widetilde{b}_2\} = \{[58500, 61500], [1100, 1300]\}.$$

Суммарная месячная зарплата работника $\widetilde{P}$ равна сумме его месячных зарплат в фирмах A и B, т.е. $\widetilde{P} = \widetilde{M} + \widetilde{N}$. После подстановки значений $\widetilde{M}$ и $\widetilde{N}$ окончательно получаем

$$\widetilde{P} = \{\widetilde{a}_1, \widetilde{a}_2\} + \{\widetilde{b}_1, \widetilde{b}_2\} = \{[54000, 56000], [900, 1100]\} + \{[58500, 61500], [1100, 1300]\}.$$

Последняя формула и есть математическая модель решения задачи в виде вычисления суммы двух двумерных интервалов.

Шаг 2. Блок-схема алгоритма вычисления функции-модели, полученной на шаге 1 алгоритма, очевидна и содержит одну ступень, на которой вычисляется сумма двух двумерных интервалов.

Шаг 3. Вычисляем двумерную интервальную функцию-модель, найденную на шаге 1. Эта функция есть сумма двух двумерных интервалов. Применяя формулу (7) сложения p-мерных интервалов для случая $p = 2$, находим искомое значение

$$\widetilde{P} = \{\widetilde{a}_1, \widetilde{a}_2\} + \{\widetilde{b}_1, \widetilde{b}_2\} = \{[54000,56000], [900,1100]\} +$$
$$+ \{[58500,61500], [1100,1300]\} = \{[112500,117500], [2000,2400]\}.$$

Таким образом, суммарная месячная зарплата работника находится в интервалах $[112500, 117500]$ рублей и $[2000, 2400]$ долларов или, в иной форме записи, 115000 ± 2500 и 2200 ± 200 долларов.

3. Обсуждение

Как мы видели выше, дальнейшее развитие концепции интервальной неопределенности [1] приводит к понятию многомерного интервала, характеризующего более сложную неопределенность, имеющую вид множества

независимых интервалов неопределенности. Такая неопределенность характеризуется тем, что параметр системы не просто принимает какое-то, заранее неизвестное значение внутри заданного интервала, а имеется целое множество интервалов, внутри каждого из которых и принимают свои, заранее неизвестные значения соответствующие параметры системы. Эта, более сложная модель неопределенности систем встречается достаточно часто в военном деле, технике, экономике и других областях и потому заслуживает изучения. Это изучение естественно проводить, используя подходы, имеющиеся в интервальной математике [1, 2] и развивая их в направлении учета множественности интервалов. Подобно тому, как интервальная математика базируется на алгебре интервалов, математика многомерных интервалов базируется на алгебре таких интервалов. При этом, так же, как в алгебре интервалов, в алгебре многомерных интервалов существуют простые зависимости между сложностью (длиной) операндов и сложностью результатов операции.

4. Заключение

В данной статье сформулирована задача изучения новой модели неопределенности – так называемого многомерного интервала, обобщающей известную модель неопределенности – интервал – на случай существования нескольких независимых, рассматриваемых совместно интервалов неопределенности. С помощью известной из интервальной математики теоретико-множественной конструкции, аналогично операциям над интервалами, введены операции над многомерными интервалами. Разработана методика сведения операций над многомерными интервалами к операциям над интервалами. С ее помощью выведены формулы для конструктивного выполнения всех операций над многомерными интервалами и построен соответствующий алгоритм. На примере из экономики проиллюстрирована практическая польза разработанной теории и методов.

Литература

1. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М: Мир, 1987. – 370 с.

2. Левин В.И. Интервальная математика и исследование систем в условиях неопределенности. – Пенза: Изд-во Пензенского технологического ин-та, 1998. – 55 с.

3. Левин В.И. Полиинтервалы, их исчисление и применение // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 3. – С. 239–246.

References

1. Alefeld, G., Herzberger, Ju., *Einführung in die Intervallrechnung* [Introduction to the Interval Computations]. Zürich, B.I.-Wissenschaftsverlag, 1974, 398 s. (in German).

2. Levin V.I. *Intervalnaya matematika i issledovanie system v usloviyah neopredelennosti* [Interval Mathematics and Research of Systems in Condition of

Uncertainty], Penza, Penza Technological Institute Publishing, 1998, 55 p. (in Russian).

3. Levin V. I. Polyintervals: Calculus and Applications. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 3, pp. 239-246. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/07-Levin.pdf (accessed 20 December 2016) (in Russian).

Информация об авторе

Левин Виталий Ильич – доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor. Заслуженный деятель науки РФ. Пензенский государственный технологический университет. Область научных интересов: логика; математическое моделирование в технике, экономике, социологии, истории; принятие решений; оптимизация; теория автоматов; теория надежности; распознавание; история науки; проблемы образования. E-mail: vilevin@mail.ru

Адрес: 440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11.

Multidimensional Intervals and Their Application to Engineering, Economy and Social Area

V. I. Levin

Relevance. *In recent decades there are more and more new technologies in the civilian and military spheres which associated with studying of uncertainty. These technologies are widely used in engineering, economics, social sphere. To support their new mathematical models and methods are needed. In this regard, this article dedicated to the development of new model of uncertainty (multidimensional interval) and mathematical methods of its study is relevant.* ***The purpose*** *of the article is in the detailed design of a new adequate mathematical model of uncertainty – multidimensional interval, which is a set of a finite number of independent intervals of uncertainty, the system of algebraic operations on multidimensional intervals and rules to perform these operations.* ***Method.*** *To accomplish this goal we propose to extend to study multidimensional intervals the method from the interval mathematics based on the determination of algebraic operations on intervals in form of set-theoretic generalization of operations on real numbers.* ***Novelty.*** *The novelty of the work lies in the proposed new mathematical model of uncertainty of systems in form of multidimensional intervals, together with mathematical tools allowing to perform various operations on multidimensional intervals and thereby enabling them to perform mathematical modeling of uncertain systems.* ***Result.*** *The article detailed developed a new mathematical model of uncertainty – multidimensional interval. The algebraic operations on multidimensional intervals are determined and rules for their implementation are output. The algorithm of study of uncertain systems with parameters in form of multidimensional intervals is presented.*

Keywords: *model of uncertainty, interval value, multidimensional interval, modeling of systems with uncertainty.*

Information about Author

Vitaly Ilyich Levin – the Doctor of Engineering Sciences, Professor, PhD, Full Professor. Honored worker of science of the Russian Federation. Penza State Technological University. Field of Research: logic; mathematical modeling in technics, economy, sociology, history; decision-making; optimization; automata theory; theory of reliability; history of science; problems of education. E-mail: vilevin@mail.ru

Address: 440039, Russia, Penza, pr. Baydukova / Gagarin st., 1a/11.

УДК 004.021

Разработка методики выявления факторов, наиболее сильно влияющих на надежность электронных устройств

Полесский С. Н., Маякова О. Ю., Алейников А. В.

Постановка задачи: *В целях определения уровня надежности электронного устройства необходимо разработать методику анализа результатов расчета его показателей надежности, таких как вероятность безотказной работы или средняя наработка на отказ, позволяющую оценивать какой из параметров сильнее всего оказывает влияние на итоговое значение эксплуатационной интенсивности отказов отдельного типа электрорадиоизделий. В результате анализа надежности компонентов всех уровней электронного устройства инженером должны быть получены величины показателей надежности, граничные значения управляемых параметров, а также должны быть выданы рекомендации о тех или иных изменениях, необходимых для повышения надежности электронного устройства.* ***Целью работы*** *является разработка методики анализа результатов расчетов показателей надежности. Данная методика, в отличие от уже известных, позволит проанализировать рассчитанные значения показателей и с помощью относительной функции чувствительности определить вклад, вносимый конкретными параметрами: температурой, номиналами элементов, их рабочим напряжением, током, мощностью, величиной допуска, в то время как ранее вносимый вклад оценивался по численному значению отдельного поправочного коэффициента.* ***Результат:*** *применение разработанной методики анализа результатов расчета надежности электронных устройств позволяет конкретизировать рекомендации по изменению параметров в целях повышения надежности элементов, входящих в состав рассматриваемого электронного устройства.*

Ключевые слова: *электронные устройства, электрорадиоизделие, интенсивность отказов, поправочный коэффициент, относительная функция чувствительности, надежность, методика анализа результатов расчета надежности.*

Актуальность

Для практической реализации методологии управления надежностью электронных устройств (ЭУ) [1, 2], только численных значений показателей надежности недостаточно. Для целенаправленного управления надежностью ЭУ инженеру необходимо получить следующую информацию рекомендательного характера:

- достигнутый уровень показателей надежности как ЭУ в целом, так и его компонентов (групп и электрорадиоизделий (ЭРИ));
- рекомендуемый вид и параметры резервирования как ЭУ в целом, так и его компонентов (групп и ЭРИ).

Кроме того, для ЭРИ необходимо определить:

- максимально-допустимые значения рабочей температуры и коэффициента электрической нагрузки и (или) рабочих токов, напряжений, мощностей, номиналов емкостей, индуктивностей, сопротивлений;
- рекомендуемый вид уровня качества как для отечественных ЭРИ, так и для ЭРИ иностранного производства;
- предельные значения внешних воздействующих факторов (климатических, механических и др.).

Постановка задачи

В целях повышения надежности ЭУ необходимо разработать соответствующую методику анализа результатов расчетов его надежности, позволяющий оценивать какой из параметров сильнее всего оказывает влияние на итоговое значение эксплуатационной интенсивности отказов (ИО) отдельного ЭРИ. В связи с этим была разработана методика автоматизированного анализа результатов расчетов показателей надежности ЭУ. Данная методика позволяет проводить анализ результатов расчетов надежности ЭУ, имеющего до 4-х уровней укрупнения (само ЭУ, компоненты 1 уровня, компоненты 2 уровня, компоненты 3 уровня, ЭРИ) и различные виды резервирования.

Описание методики

Для оценки эффективности применения ранее упомянутых типовых рекомендаций, была разработана методика анализа результатов расчета надежности [3, 4, 5], схема которой приведена на рис. 1.

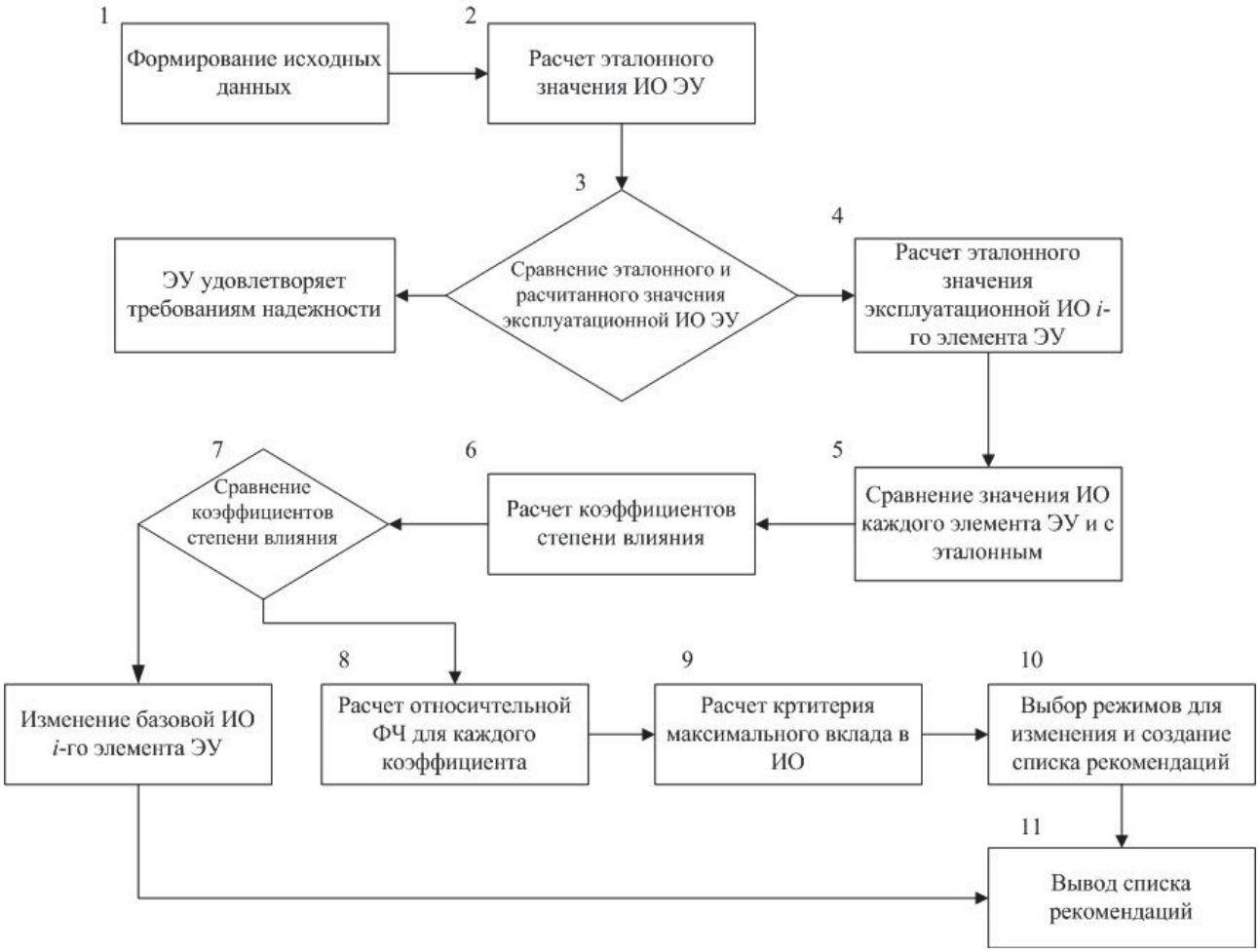


Рис. 1. Схема методики анализа результатов расчета надежности ЭУ

Ниже приведено подробное описание функций данной методики.

1. Ввод исходных данных – данных из ТЗ на ЭУ (заданные значения средней наработки на отказ и вероятности безотказной работы (ВБР)), а также значения ИО ЭУ и входящих в его состав отдельных элементов, рассчитанного в автоматизированном комплексе АСОНИКА-К [6, 7].

2. Расчет эталонного значения эксплуатационной ИО ЭУ

$$\lambda_{ЭУ}^{ТЗ} = \frac{1}{T_0} \ или \ \lambda_{ЭУ}^{ТЗ} = \frac{\ln P}{t}, \quad (1)$$

где T_0 – средняя наработка на отказ, ч; P – ВБР ЭУ, отн. ед.; t – время эксплуатации ЭУ, ч.

3. Сравнение эталонного $\lambda_{ЭУ}^{ТЗ}$ и рассчитанного $\lambda_{ЭУ}^{расч}$ значений эксплуатационной ИО ЭУ. Если $\lambda_{ЭУ}^{ТЗ} \geq \lambda_{ЭУ}^{расч}$, то ЭУ удовлетворяет заданным требованиям ТЗ по надежности. В противном случае необходимо выяснить, какой именно элемент оказывает наибольшее влияние на надежность всего ЭУ.

4. Расчет эталонного значения эксплуатационной ИО i-го элемента ЭУ:

$$\lambda_{э,i}^{ТЗ} = \frac{\lambda_{ЭУ}^{ТЗ}}{N}, \quad (2)$$

где N – количество элементов ЭУ.

5. В цикле по $i=0…N$ рассматриваются по очереди рассчитанные значения ИО каждого элемента и сравниваются с эталонным. Если $\lambda_{э,i}^{ТЗ} \geq \lambda_{э,i}^{расч}$, то увеличивается шаг цикла, иначе данный i-ый элемент оказывает наибольшее влияние на надежность всего ЭУ, и необходимо рассмотреть подробнее его математическую модель (ММ) ИО.

6. Расчет величин, характеризующих степень влияния:

$$A = \frac{\lambda_{э,i}^{расч}}{\lambda_{э,i}^{ТЗ}}; \ B = \frac{\lambda_{э,i}^{'}}{\lambda_{э,i}^{ТЗ}}, \quad (3)$$

где A - коэффициент, характеризующий влияние поправочных коэффициентов, отн. ед.; B - коэффициент, характеризующий влияние базовой ИО i-го элемента $\lambda_{б,i}$, отн. ед.; $\lambda_{э,i}^{'}$ - эксплуатационная ИО i-го компонента при единичных значениях поправочных коэффициентов, 1/ч.

7. Сравнение двух коэффициентов A и B, на основании которого принимается решение о дальнейших действиях: если A меньше, то необходимо изменить базовую ИО i-го компонента, другими словами сменить тип элемента, иначе необходимо изменить режимы работы. Также в обоих случаях можно применить резервирование.

8. При условии, что $A \geq B$ необходимо определить какой именно из произведения M штук поправочных коэффициентов оказывает наибольшее влияние на величину ИО i-го элемента. Для этого в цикле по $j=0…M$ для каждого коэффициента рассчитывается относительная функция чувствительности (ФЧ) [8, 9]:

$$S_{q_j}^{K_j} = A^{K_j} \frac{q_j}{K_j}, \quad (4)$$

где $A^{K_j} = \frac{\partial \lambda_{э,i}}{\partial K_j}$ - абсолютная ФЧ j-го поправочного коэффициента K_j, отн. ед.; K_j - j-ый поправочный коэффициент (например, коэффициент режима), отн. ед.; q_j - j-ый параметр (например, температура, рабочий ток, рабочее напряжение и т.д.) j-го поправочного коэффициента.

9. На данном этапе определяется, какой из коэффициентов вносит наибольший вклад в ИО. Для этого производится расчет критерия по формуле:

$$H = \max_{i \in [0;M]} \left(S_i(x) \right), \quad (5)$$

где $S_i(x)$ – относительная ФЧ i-го поправочного коэффициента.

Коэффициент, имеющий наибольшую относительную ФЧ, сильнее всего оказывает влияние на величину эксплуатационной ИО при изменении его параметра.

10. В зависимости от распределения величины относительной ФЧ, принимается решение, какие режимы можно поменять и в каких пределах. Если изменения вносились относительно базовой ИО, а не поправочных коэффициентов, то будет формироваться список производителей с более высокими показателями надежности элементов. Создается полный список рекомендаций.

11. Вывод и предложение сформированного списка рекомендаций инженеру.

Пример применения методики

В качестве примера рассмотрим применение описанной методики к схеме двойного Т-образного фильтра (рис. 2).

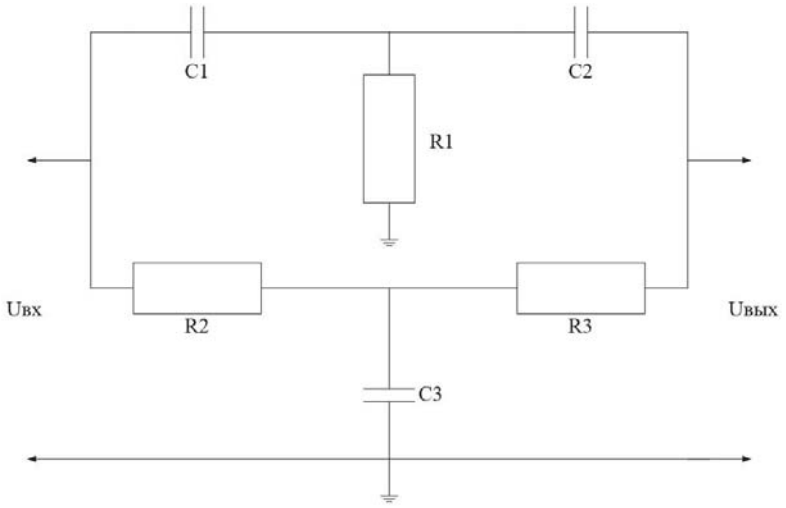


Рис. 2. Электрическая схема двойного Т-образного фильтра

Исходными данными для расчета показателей надежности являются следующий перечень элементов и их параметры, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные даные для расчета

Наименование параметра	R1	R2	R3	C1	C2	C3
Тип элемента	Р1-12	Р1-12	Р1-12	К10-17в	К10-17в	К10-17в
Температура окружающей среды, °С	50	50	50	50	50	5
Номинальная мощность, Вт (напряжение, В)	0,125	0,25	0,125	50	50	50
Рабочая мощность, Вт (напряжение, В)	0,0125	0,01	0,0125	5	5	10
Допуск, %	10	10	10	-	-	-
Сопротивления, Ом (емкость, пФ)	560	83	10000	120	43800	300
Максимальное напряжение, В	100	100	100	-	-	-
Группа аппаратуры	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Уровень качества, отн.ед.	5	5	5	5	5	5

С точки зрения надежности двойной Т-образный фильтр представляет собой последовательное соединение 6 элементов, то есть отказ любого из них приведет к отказу всего фильтра. Для расчета показателей надежности ЭУ по перечню элементов (см. таблицу 1) используется справочник Надежность ЭРИ [10], в котором приведены ММ для определения характеристик надежности, а именно ИО каждого элемента.

Перечень ММ [10, 11] в соответствии с идентификационным перечнем элементов двойного Т-образного фильтра представлен в таблице 2.

Таблица 2 – ММ элементов, входящих в состав двойного Т-образного фильтра.

Группа элементов	Резисторы	Конденсаторы
ММ	$\lambda_{эR} = \lambda_б \cdot K_P K_R K_M K_{стаб} K_Э K_{пр}$	$\lambda_{эC} = \lambda_б \cdot K_P K_C K_Э K_{пр}$
Компоненты ММ	$\lambda_б = 0,0000000063$ – базовая ИО резистора Р1-12, 1/ч;	$\lambda_б = 0,0000000033$ – базовая ИО конденсатора К10-17в, 1/ч;
	$K_P = A \cdot e^{B\left(\frac{t+273}{N_t}\right)^G} \cdot e^{\left(\frac{P/P_H}{N_S}\left(\frac{t+273}{273}\right)^J\right)^H}$ – коэффициент режима, зависящий от коэффициента нагрузки по мощности P/P_H и от температуры окружающей среды t, где A,B,G,N_t,N_S,J,H - константы;	$K_P = A \cdot \left(\left(\frac{U/U_H}{N_S}\right)^H + 1\right) \cdot e^{B\left(\frac{t+273}{N_t}\right)^G}$ – коэффициент режима, зависящий от коэффициента нагрузки по напряжению U/U_H и от температуры окружающей среды t, где A,B,G,N_t,N_S,H - константы;
	K_R – коэффициент, зависящий от величины номинального сопротивления R;	$K_C = 0,4 \cdot C^{0,12}$ – коэффициент, зависящий от величины номинальной емкости С, отн.ед.;
	K_M – коэффициент, зависящий от величины номинальной мощности;	$K_Э$ – коэффициент эксплуатации, зависящий от жестокости эксплуатации;
	$K_{стаб}$ – коэффициент, зависящий от величины допуска;	$K_{пр}$ – коэффициент приемки, зависящий от жесткости требований к контролю качества.
	$K_Э$ – коэффициент эксплуатации, зависящий от жестокости эксплуатации;	
	$K_{пр}$ – коэффициент приемки, зависящий от жесткости требований к контролю качества.	

Расчеты были автоматизированы с помощью программного комплекса АСОНИКА-К, в котором были рассчитаны ИО всех ЭРИ, входящих в состав двойного Т-образного фильтра. В качестве результатов была построена гистограмма, показанная на рис. 3, из которой видно, что наиболее весомый вклад в рассчитанное значение ИО фильтра вносят элементы с позиционными обозначениями R1-R3. Таким образом, используя ММ расчета ИО для резистора типа Р1-12 (технологическая группа - резистор постоянный непроволочный металлдиэлектрический) [10] и описанную выше методику, сформируем список рекомендаций по обеспечению надежности данного ЭРИ и, соответственно, фильтра в целом.

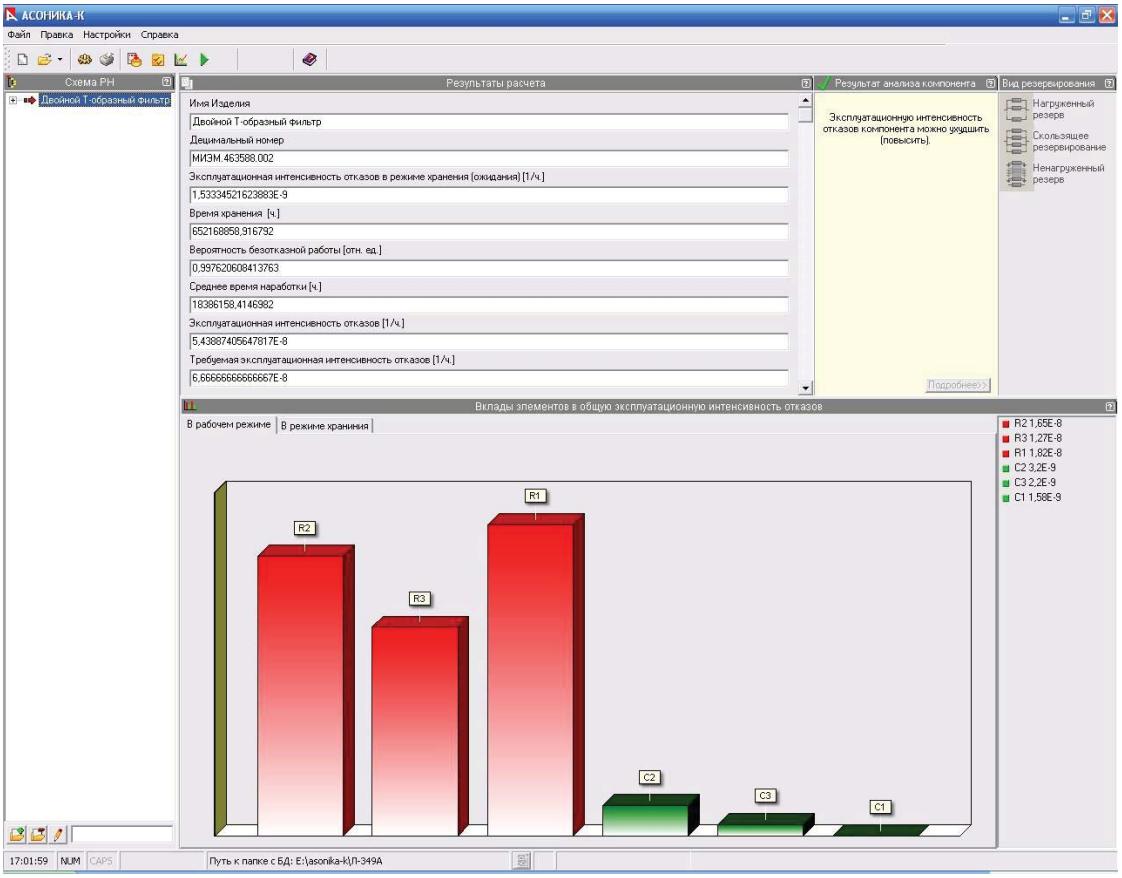


Рис. 3. Расчет надежности элементов ЭУ

1. В качестве исходных данных имеем значение средней наработки на отказ T_0=20000000 ч, а также результаты расчета комплекса АСОНИКА-К, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – результаты расчета комплекса АСОНИКА-К

Наименование параметра	$\lambda_Э \cdot 10^9$, 1/ч
$\lambda_{ЭУ}^{расч}$	54,38
λ_{R_1}	18,2
λ_{R_2}	16,5
λ_{R_3}	12,7
λ_{C_1}	1,58
λ_{C_2}	3,2
λ_{C_3}	2,2

2. Расчет эталонного значения эксплуатационной ИО ЭУ:

$$\lambda_{ЭУ}^{ТЗ} = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{20000000} = 50 \cdot 10^{-9} \text{ 1/ч.} \quad (6)$$

3. Сравнение эталонного $\lambda_{ЭУ}^{ТЗ}$ и рассчитанного $\lambda_{ЭУ}^{расч}$ значений эксплуатационной ИО ЭУ: $\lambda_{ЭУ}^{ТЗ} < \lambda_{ЭУ}^{расч}$. Из этого следует, что далее необходимо выявить наименее надежный элемент.

4. Расчет эталонного значения эксплуатационной ИО i-го элемента ЭУ, где N – количество элементов фильтра, равное 6:

$$\lambda_{э,i}^{ТЗ} = \frac{\lambda_{ЭУ}^{ТЗ}}{N} = \frac{50 \cdot 10^{-9}}{6} \approx 8,33 \cdot 10^{-9} \text{ 1/ч.} \quad (7)$$

5. При поочередном сравнении эталонного значения эксплуатационной ИО i-го элемента ЭУ со всеми значениями из таблицы 3 можно понять, что требованиям ТЗ не удовлетворяют три элемента с позиционными обозначениями $R_1 – R_3$, что также видно из гистограммы (рис. 3). Для примера рассмотрим наименее надежный из всех элемент - R_1.

6. Расчет величин, характеризующих степень влияния:

$$A = \frac{\lambda_{э,i}^{расч}}{\lambda_{э,i}^{ТЗ}} = \frac{18,2 \cdot 10^{-9}}{8,33 \cdot 10^{-9}} \approx 2,185;$$

$$B = \frac{\lambda_{э,i}^{'}}{\lambda_{э,i}^{ТЗ}} = \frac{6,3 \cdot 10^{-9}}{8,33 \cdot 10^{-9}} = 0,7563. \quad (8)$$

7. Так как $A > B$, то очевидно, что для изменения величины эксплуатационной ИО элемента необходимо менять значения параметров поправочных коэффициентов.

8. Далее вычисляются относительные ФЧ для всех поправочных коэффициентов ММ ИО резистора. Например, относительная ФЧ коэффициента режима находится по формуле:

$$S_t^{K_P} = A^{K_P} \frac{t}{K_P(t)}, \quad (9)$$

где A^{K_P} - абсолютная ФЧ коэффициента K_P, $K_P(t)$ – значение коэффициента режима при заданном значении температуры t.

9. Таким образом, после проведенных расчетов получаем значения ФЧ для каждого поправочного коэффициента (рис. 4).

Находим значение критерия максимума относительной ФЧ:

$$H = \max_{i \in [0;M]} \left(S_i(x) \right) = 7,428; \quad (10)$$

из чего следует, что сильнее всего влияние на величину эксплуатационной ИО оказывает коэффициент режима K_P и его параметр – температура окружающей среды t. Ниже на рис. 5 показана зависимость эксплуатационной ИО резистора от изменения температуры окружающей среды.

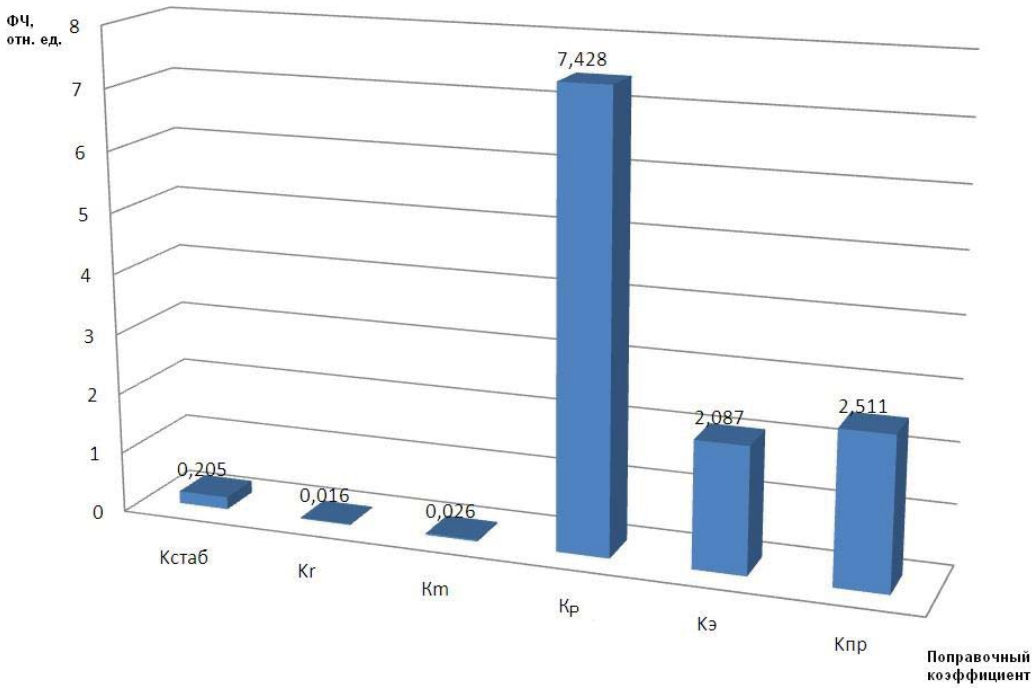


Рис. 4. Диаграмма значений ФЧ поправочных коэффициентов

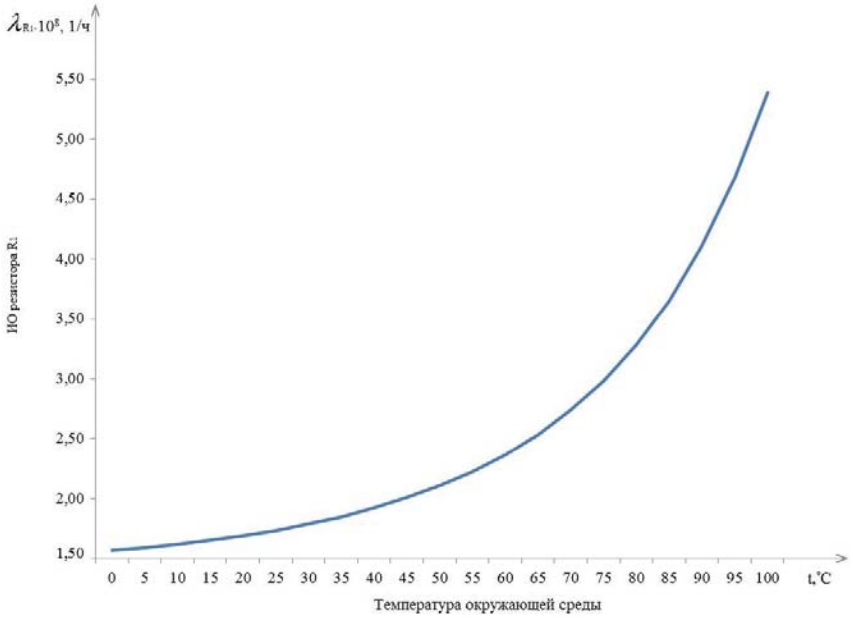


Рис. 5. Зависимость ИО резистора типа Р1-12
от температуры окружающей среды

10-11. Основываясь на полученных результатах (рис. 5), формируются и выдаются рекомендации по обеспечению температуры окружающей среды резистора R_1 равной, например, 40°С.

Выводы

Предложенная методика анализа результатов расчета надежности ЭУ позволяет скорректировать и уточнить рекомендации общего характера

(например, вместо рекомендации «Изменить температуру окружающей среды для резистора R_1» выдвинуть требование «Обеспечить температуру окружающей среды резистора R_1 не более +40°С»).

Использование методики позволяет учитывать влияние параметров на ИО ЭРИ. На сегодняшний день на практике применяется методика выбора по максимальному значению поправочного коэффициента: принимается, что коэффициент с максимальной величиной вносит максимальный вклад. Однако, применение ФЧ позволяет реально оценить вклад, вносимый каждым из коэффициентов, а соответственно и их параметрами. Этот факт является главным преимуществом методики анализа результатов расчета надежности ЭУ, так как, зная какой конкретно параметр больше всего влияет на величину ИО ЭРИ и меняя его значения, можно дать соответствующие рекомендации по изменению величины данного параметра. Выполнение всех полученных рекомендаций приведет к снижению ИО рассматриваемого ЭРИ, и, соответственно, обеспечению надёжности всего ЭУ.

Литература

1. Данилин Н. С., Гусев Л. И., Загоровский Ю. И. Обеспечение качества РЭА методами диагностики и прогнозирования. М.: Издательство стандартов, 1983. С. 48-82.

2. Жаднов В. В. Расчет надежности электронных модулей. М.: Библиотека студента, 2016. С. 11-71.

3. Дружинин Г. В., Степанов С. В. Теория надёжности радиоэлектронных систем в примерах и задачах. М.: Энергия, 1976. С. 286-303.

4. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 225 с.

5. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. радио, 1975. С. 49-78.

6. Полесский С. Н. Анализ результатов расчетов надежности в подсистеме АСОНИКА-К // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, посвященная 40-летию МИЭМ. Тезисы докладов, 2002. 395 с.

7. Автоматизированный комплекс АСОНИКА-К [Электронный ресурс] - URL: http://asonika.ru/?q=27 (дата обращения: 25.11.2016).

8. Кофанов Ю. Н. Методы параметрической чувствительности радиоэлектронных средств. М.: Московский институт электронного машиностроения, 1991. С. 76-80.

9. Кофанов Ю. Н., Жаднов В. В. Основы теории надежности и параметрической чувствительности РЭС: Учебное пособие. М.: Московский институт электронного машиностроения, 1990. 36 с.

10. Справочник. Надежность ЭРИ. М.: 22 ЦНИИИ МО, 2006. С. 281-342.

11. MILITARY HAND BOOK-217F. Department of Defense, Washington DC, 20301, 1991. С. 82-142.

References

1. Danilin N. S., Gusev L. I., Zagorovskii Iu. I. *Obespechenie kachestva REA metodami diagnostiki i prognozirovaniia* [Quality assurance of the radioelectronic devices by diagnosis and prognosis]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ, 1983, pp. 48-82 (in Russian).

2. Zhadnov V. V. *Raschet nadezhnosti elektronnykh modulei* [Reliability prediction of the electronic modules]. Moscow, Biblioteka studenta Publ, 2016, pp. 11-71 (in Russian).

3. Druzhinin G. V., Stepanov S. V. *Teoriia nadezhnosti radioelektronnykh sistem v primerakh i zadachakh* [Reliability theory of the radioelectronic systems in examples and exercises]. Moscow, Energiia Publ, 1976, pp. 286-303 (in Russian).

4. Gnedenko B. V., Beliaev Iu. K., Solov'ev A. D. *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti* [Mathematical methods in the theory of reliability]. Moscow, Nauka, 1965. 225 p. (in Russian).

5. Kozlov B. A., Ushakov I. A. *Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki* [Handbook of the reliability prediction for the radioelectronic devices and automatics]. Moscow, Sov. radio, 1975, pp. 49-78 (in Russian).

6. Polesskiy S. N. Analiz rezul'tatov raschetov nadezhnosti v podsisteme ASONIKA-K [Analysis of the reliability calculation results using ASONIKA-K system] // *Tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh spetsialistov, posviashchennaia 40-letiiu MIEM* [Abstracts of papers of the scientific and technical conference of the students, postgraduates and young specialists, dedicated to the 40th anniversary of MIEM], Moscow, 2002, 395 p. (in Russian).

7. Computer-aided system ASONIKA-K. Available at: http://asonika.ru/?q=27 (accessed 25.11.2016) (in Russian).

8. Kofanov Iu. N. *Metody parametricheskoi chuvstvitel'nosti radioelektronnykh sredstv* [Methods of the parametrical sensitivity of the radioelectronic devices]. Moscow, Moscow State University of Electronics and Mathematics Publ, 1991, pp. 76-80 (in Russian).

9. Kofanov Iu. N., Zhadnov V. V. *Osnovy teorii nadezhnosti i parametricheskoi chuvstvitel'nosti RES* [Basics of the theory of reliability and parametrical sensitivity of radioelectronic devices]. Moscow, Moscow State University of Electronics and Mathematics Publ, 1990. 36 p. (in Russian).

10. Reliability handbook. Moscow, 22 TSNIII MO, 2006, pp. 281-342 (in Russian).

11. MILITARY HAND BOOK-217F. Department of Defense, Washington DC, 20301, 1991, pp. 82-142 (in English).

Статья поступила 1 декабря 2016 г.

Информация об авторах

Полесский Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент. Доцент департамента компьютерной инженерии. Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики». Область научных интересов: автоматизация проектирования; информационные технологии; надежность; проектирование систем. E-mail: spolessky@hse.ru

Маякова Ольга Юрьевна – магистрант 2-го года обучения департамента компьютерной инженерии. Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики». Область научных интересов: информационные технологии; автоматизация проектирования; языки программирования; надежность. E-mail: kylie92@mail.ru

Алейников Андрей Викторович – магистрант 2-го года обучения департамента компьютерной инженерии. Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики». Область научных интересов: информационные технологии; автоматизация проектирования; телекоммуникационные системы и сети. E-mail: artego93@rambler.ru

Адрес: 123458, Россия, г.Москва, ул. Таллинская, д. 34.

Method for determination of factors that most strongly affect on the electronic devices reliability

S. N. Polesskiy, O. Y. Mayakova, A. V. Aleynikov

Purpose. *In order to determine the level of the reliability of electronic device it is necessary to develop method for analyzing the results of calculation its reliability measures. Such measures are reliability function and mean operating time between failures. Developed method will allow estimating which parameter most strongly effects on the final value of the failure rate for the particular type of the electronic equipment. As a result of the reliability analysis of all the components of electronic device an engineer should obtain values of the reliability measures, boundary values of the operated parameters, and also the recommendations about this or another changes needed for the improvement of the reliability of the electronic device.* ***The aim of the paper*** *is to develop the method for analyzing the results of the reliability measures calculation. All known methods estimate the effect of the parameters by comparing values of the correction factors. New method will allow to analyze calculated values of the factors and to determine the effect of each individual parameter for each correction factor using the relative sensitivity function. The second statement is the main benefit of this study. The parameters considered in the analysis can include, for example, temperature, nominals of the elements, their operating voltage, current and power and tolerance value.* ***Results***. *The application of the developed method will allow making precise recommendations for changes of the operated parameters. This, in its turn, will help to control the reliability level of one or another element and, consequently, of whole electronic devices.*

Key words*: electronic devices, element, failure rate, correction factor, relative sensitivity function, reliability, method of analyzing the results of reliability prediction.*

Information about Authors

Sergey Nikolaevich Polesskiy – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of "Computer Engineering". National Research University. «Higher School of Economics». Field of research: computer-aided design; information technology; reliability; systems design. E-mail: spolessky@hse.ru

Olga Yur'evna Mayakova – student of magistracy, Department of "Computer Engineering". National Research University. «Higher School of Economics». Field of research: information technology; computer-aided design; programming languages; reliability. E–mail: kylie92@mail.ru.

Andrey Viktorovich Aleynikov – student of magistracy, Department of "Computer Engineering". National Research University. «Higher School of Economics». Field of research: information technology; computer-aided design; telecommunication systems and networks. E–mail: artego93@rambler.ru.

Address: Russia, 123458, Moscow, Tallinskaya street, 34.

УДК 004.2

Исследование характеристик гибридного вычислительного кластера

Борисов В. В., Зернов М. М., Федулов А. С., Якушевский К. А.

Постановка задачи: *в условиях возрастающего объема обрабатываемой информации, увеличения интенсивности и сложности решаемых поисковых и аналитических задач все более насущным для различных организаций и отдельных исследователей является создание и применение гибридных вычислительных систем, имеющих в своем составе как центральные, так и графические процессоры. Эти системы обладают потенциальной производительностью, позволяющей отнести их к классу суперкомпьютеров, при сохранении приемлемых для пользователей ценовых, массогабаритных, эргономических характеристик. Вместе с тем, следует отметить дефицит публикаций, посвященных вопросам исследования характеристик таких систем в зависимости от особенностей их архитектуры и используемого информационного обеспечения, а также выработке рекомендаций по оптимизации их структурных решений и параметров.* ***Целью работы*** *является предложение инструментальных средств и исследование с их использованием производительности гибридных вычислительных систем (на примере кластера филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске – СФМЭИ) для выработки конкретных рекомендаций по оптимизации структурных решений и параметров.* ***Используемые методы****: методы анализа и проектирования вычислительных систем.* ***Новизна:*** *представленные результаты могут послужить основанием для обобщения подхода к исследованию гибридных вычислительных систем, ориентированных на решение разных нечисловых и вычислительных задач и различающихся архитектурой и используемым информационным обеспечением.* ***Результат:*** *представлена архитектура гибридного вычислительного кластера СФМЭИ. Проведена оценка максимальной теоретической производительности. Выполнены оценки производительности на основе тестов.* ***Практическая значимость:*** *результаты исследований могут быть использованы для анализа характеристик гибридных вычислительных систем, ориентированных на решение различных нечисловых и вычислительных задач.*

Ключевые слова: *гибридная вычислительная система, центральный процессор, графический процессор.*

Актуальность

В условиях возрастающего объема обрабатываемой информации, увеличения интенсивности и сложности решаемых поисковых и аналитических задач все более насущным для различных организаций и отдельных исследователей является создание и применение гибридных вычислительных систем, имеющих в своем составе как центральные (CPU), так и графические (GPU) процессоры. Эти системы обладают потенциальной производительностью, позволяющей отнести их к классу суперкомпьютеров, при сохранении приемлемых для пользователей ценовых, массогабаритных, эргономических характеристик. Вместе с тем, следует отметить дефицит публикаций, посвященных вопросам исследования характеристик таких систем в зависимости от особенностей их архитектуры и используемого информационного обеспечения, а также выработке рекомендаций по оптимизации их структурных решений и параметров.

В работе исследуются характеристики гибридного вычислительного кластера (ГВК) на примере кластера филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в

г. Смоленске (Смоленского филиала МЭИ – СФМЭИ). Полученные результаты могут послужить основанием для обобщения подхода к исследованию гибридных вычислительных систем, ориентированных на решение нечисловых и вычислительных задач и различающихся архитектурой и используемым информационным обеспечением.

1. Постановка задачи. Состав и взаимосвязь компонентов гибридного вычислительного кластера

Общая схема ГВК СФМЭИ представлена на рис. 1.

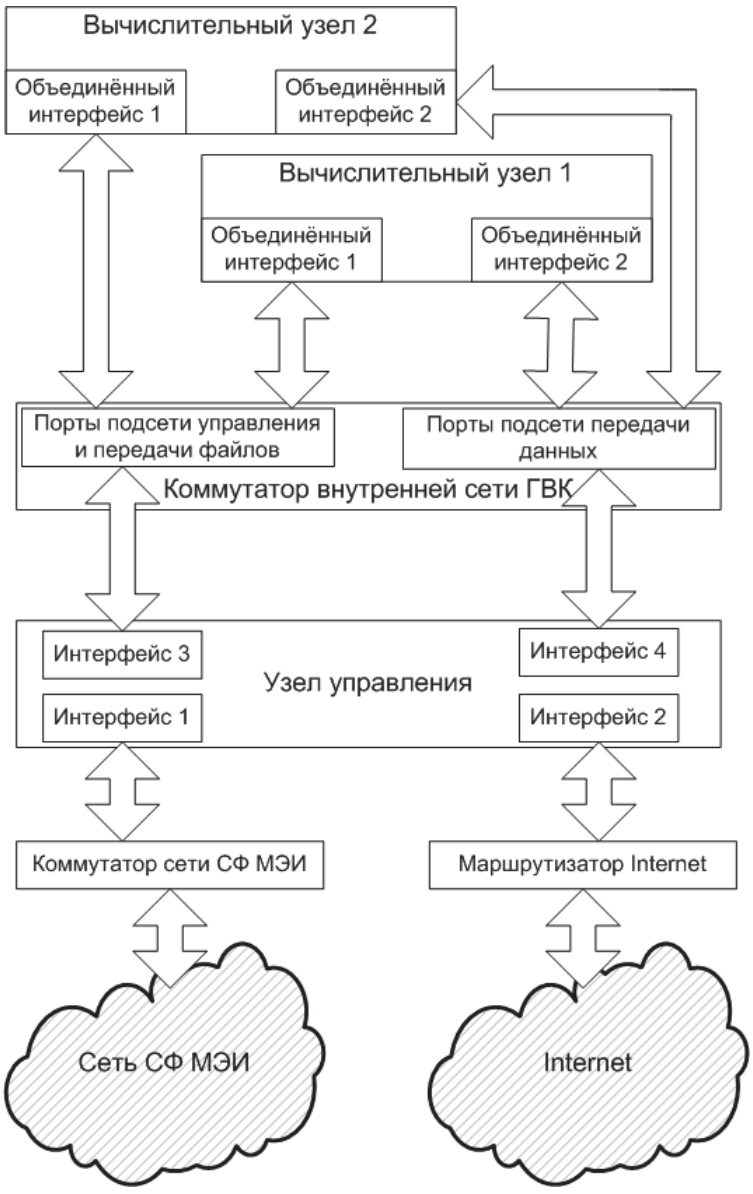


Рис. 1. Взаимосвязь основных компонентов кластера

Как видно из рис. 1, кластер состоит из двух вычислительных узлов, узла управления, необходимых интерфейсных (связных) компонентов.

Каждый вычислительный узел (ВУ) включает в себя два 10-ядерных процессора, оперативную память объемом 64 Гбайт, два твердотельных накопителя SSD с интерфейсом SATA III, организованных в массиве RAID 1,

объемом 240 Гбайт, а также по два интерфейсных канала, обеспечивающих подключение вычислительных узлов к внутренней сети кластера.

Кроме того, ВУ 1 содержит две видеокарты на базе GPU NVIDIA, а также два дисковых накопителя HDD объёмом 1 Тбайт с интерфейсом SATA III, организованных в виде массива RAID 1. Вычислительный узел 2 содержит две видеокарты на базе GPU AMD.

Дисковые накопители вычислительных узлов имеют следующее назначение. Основные разделы операционной системы узлов размещаются на SSD-накопителях. Файловая система вычислительных узлов для хранения общих данных, исходных текстов и бинарных файлов программ, исходных данных и результатов работы программ, запускаемых пользователями параллельно, размещается на HDD-накопителе вычислительного узла 1. Таким образом, в случае, когда вычислительным заданиям достаточно ресурсов одного узла, их эффективнее запускать на ВУ 1.

Узел управления содержит два 8-ядерных процессора Intel Xeon E5-2620 v4, оперативную память объемом 64 Гбайт стандарта DDR4, девять дисковых накопителей: SSD-накопитель объёмом 256 Гбайт с интерфейсом PCIe 3.0×4 в стандарте M.2; два SSD-накопителя объёмом 250 Гбайт с интерфейсом SATA III в массиве RAID 1; два HDD-накопителя объёмом 2 Тбайт с интерфейсом SATA III в массиве RAID 1; четыре HDD-накопителя объёмом 3 Тбайт с интерфейсом SATA III, размещенных в массиве RAID 10 с объёмом 6 Тбайт. Наличие нескольких дисковых накопителей позволяет, в том числе, создавать на управляющем узле требуемую систему виртуальных машин.

Внутренняя сеть ГВК построена на основе 16-портового коммутатора HP V1910-16G Switch и разделена на две подсети: для передачи файлов (используется сетевой файловой системой и общесистемными инструментами администрирования); для передачи данных (используется менеджером ресурсов для управления вычислительной нагрузкой и обеспечивает передачу сообщений по протоколу MPI). Каждая из подсетей дополнительно разделена на две параллельно работающие части, что позволяет, используя функции связывания каналов, получить соединения с удвоенной пропускной способностью.

Коммутатор сети СФМЭИ и маршрутизатор сети Интернет обеспечивают связь кластера с внешним миром. Доступ к кластеру осуществляется как из внутренней сети филиала, так и по внешнему Internet-каналу.

Вычислительные узлы находятся под управлением дистрибутива Centos 7.2 операционной системы Linux, управление вычислительными ресурсами осуществляет менеджер ресурсов SLURM версии 15.08. Обработка данных может осуществляться посредством как центральных процессоров на основе технологий MPI и Open MP, так и графических на основе технологий OpenCL и CUDA.

2. Архитектура вычислительных узлов кластера

В данном разделе представлена архитектура вычислительных узлов ГВК с точки зрения оценки производительности (рис. 2 и 3). Вычислительные узлы построены по однотипной схеме, хотя их состав отличается друг от друга.

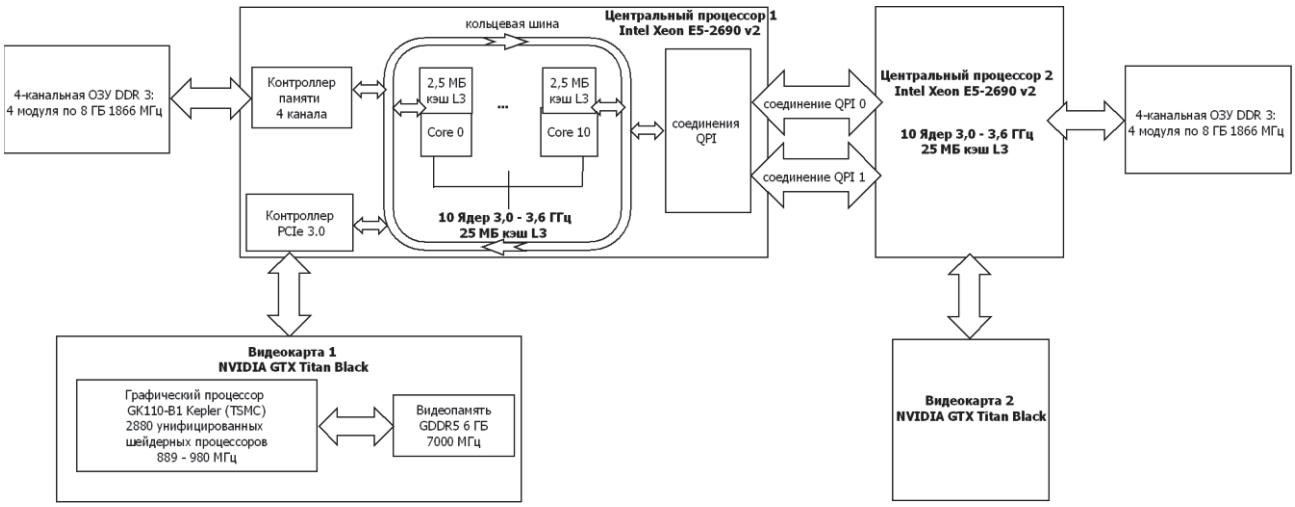


Рис. 2. Архитектура вычислительного узла 1

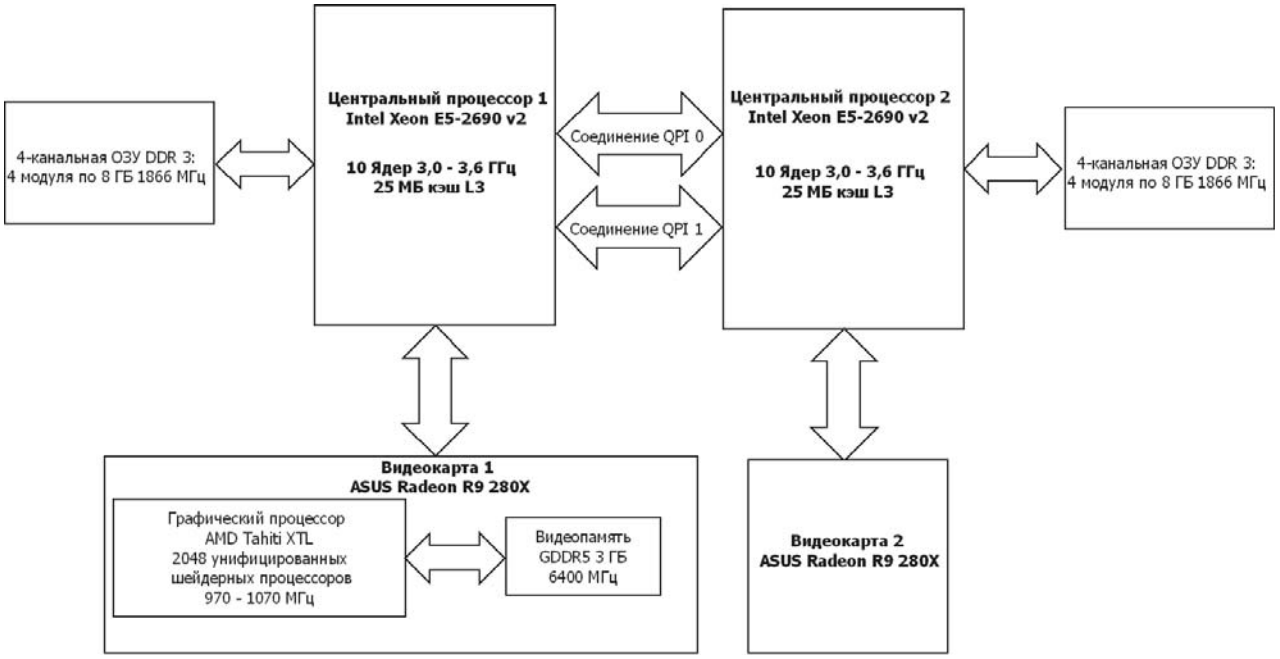


Рис. 3. Архитектура вычислительного узла 2

Каждый вычислительный узел содержит два 10-ядерных центральных процессора Intel Xeon E5-2690V2, связанных между собой шиной QPI. Каждое ядро имеет кэш-память 3-го уровня емкостью 2,5 Мбайт [1]. Соответственно, общий объем кэш-памяти одного процессора составляет 25 Мбайт. Каждый процессор имеет собственную оперативную память емкостью 32 Гбайт в формате DDR3, состоящую из четырех модулей емкостью по 8 Гбайт. Каждый модуль памяти подключен к отдельному каналу связи с процессором.

В процессорах поддерживается расширенный набор инструкций AVX [1] и технология Hyper Threading [2, 3], позволяющая выполнять на одном ядре сразу два потока вычислений и представляющая одно физическое ядро как два логических на уровне операционной системы.

Вычислительный узел 1 включает в себя две видеокарты NVIDIA GeForce GTX Titan Black на базе графического процессора GK110-B1 Kepler [4-6]. Каждая видеокарта оснащена 6 ГБайт графической памяти формата GDDR5.

Вычислительный узел 2, в отличие от первого, использует видеокарты ASUS Radeon R9280X, построенные на GPU компании AMD с кодовым наименованием Tahiti XTL [7, 8], использующими архитектуру вычислительных блоков GCN. Обе видеокарты ВУ 2 включают по 3 Гбайт графической памяти формата GDDR5.

Связь центральных процессоров с графическими процессорами осуществляется по шине PCIe 3.0 (с поддержкой 16-ти линий) под управлением встроенного в центральный процессор контроллера. Каждый процессор непосредственно связан с одной видеокартой.

По способу доступа центральных процессоров к оперативной памяти в вычислительных узлах реализована архитектура с неравномерным доступом (Non-Uniform Memory Access – NUMA), в которой каждый процессор обладает собственной локальной памятью с быстрым доступом, но при этом имеет более медленный доступ к памяти другого процессора [9].

3. Оценка производительности гибридного вычислительного кластера

3.1. Оценка максимальной теоретической производительности

Максимальная (пиковая) производительность кластера может быть оценена с учетом его архитектуры и заявленных в спецификациях характеристик производительности отдельных компонентов.

Обобщенные сведения и характеристики теоретической пиковой производительности основных компонентов вычислительных узлов ГВК представлены в таблице 1.

Номинальная частота каждого центрального процессора вычислительного узла составляет 3,0 ГГц, в режиме Turbo повышается до 3,6 ГГц. В соответствии с расчётами по методике, представленной в [10], максимальная (теоретическая) производительность центральных процессоров при использовании AVX-инструкций составляет для вычислений с плавающей точкой одинарной точности 480 Гфлопс, для вычислений с плавающей точкой двойной точности 240 Гфлопс.

Модули оперативной памяти вычислительных узлов работают на частоте 1866 МГц. Пропускная способность одного канала процессор-память составляет 14933 Мбайт/с. С учетом возможности параллельной работы четырех каналов, максимальная скорость обмена процессоров с памятью составляет 59,7 Гбайт/с [1].

Обмен данными между двумя процессорами одного вычислительного узла осуществляется посредством 2-х соединений шины QPI. Каждое соединение имеет пропускную способность 8 Гигатранзакций/с в каждую сторону, что означает реальную пропускную способность 16 Гбит/с в каждую сторону на одно соединение, 32 Гбит/с в каждую сторону для двух соединений, 64 Гбит/с при одновременной передаче в обе стороны [11].

Интерфейс связи CPU и GPU поддерживает 16 линий шины PCIe 3.0, которая имеет пропускную способность одной линии 1 Гбит/с. Следовательно, пропускная способность интерфейса CPU↔GPU составляет 16 Гбит/с [12].

Таблица 1 – Сводные данные по основным компонентам вычислительных узлов ГВК

Вычислительный узел 1			
CPU			
Количество и название	Суммарное число ядер/ потоков	Частота процессора базовая/ турбо	Суммарная теоретическая пиковая производительность вычислений с плавающей точкой одинарной точности/двойной точности
Два процессора Intel Xeon E5-2690V2 Ivy Bridge-EP	20/ 40	3000 МГц/ 3600 МГц	960 Гфлопс/ 480 Гфлопс
GPU			
Количество и название	Суммарное число процессоров одинарной точности	Суммарный объём видеопамяти	Суммарная теоретическая пиковая производительность вычислений с плавающей точкой одинарной точности/двойной точности
Две видеокарты NVidia GTX Titan BE	5760	12 Гбайт	11 290 Гфлопс/ 3 762 Гфлопс
ОЗУ			
Ёмкость	Эффективная частота	Тип	Суммарная пропускная способность
64 Гбайт (8 модулей по 8 Гбайт)	1866 МГц	4-канальная DDR3 ECC Reg	119,4 Гбайт/с (2×59,7 Гбайт/с)
Вычислительный узел 2			
CPU			
Количество и название	Суммарное число ядер/ потоков	Частота процессора базовая/ турбо	Суммарная теоретическая пиковая производительность вычислений с плавающей точкой одинарной точности/двойной точности
Два процессора Intel Xeon E5-2690V2 Ivy Bridge-EP	20/ 40	3000 МГц/ 3600 МГц	960 Гфлопс/ 480 Гфлопс
GPU			
Количество и название	Суммарное число процессоров одинарной точности	Суммарный объём видеопамяти	Суммарная теоретическая пиковая производительность вычислений с плавающей точкой одинарной точности/двойной точности
Две видеокарты ASUS Radeon R9 280X	4096	6 Гбайт	8 768 Гфлопс/ 2 192 Гфлопс
ОЗУ			
Ёмкость	Эффективная частота	Тип	Суммарная пропускная способность
64 Гбайт (8 модулей по 8 Гбайт)	1866 МГц	4-канальная DDR3 ECC Reg	119,4 Гбайт/с (2×59,7 Гбайт/с)

Процессоры GK110-B1 Kepler видеокарт NVIDIA, установленных на ВУ 1, работают на базовой частоте 889 МГц (в режиме разгона, в зависимости от нагрузки, частота возрастает до 980 МГц). Графическая память видеокарты работает на эффективной частоте 7000 МГц (реальная частота 1750 МГц). Ширина шины GPU↔видеопамять составляет 384 бит, а ее пропускная способность составляет 336 Гбит/с. Графический процессор GK-110-Bl содержит 2880 ядер CUDA одинарной точности и втрое меньше ядер для обработки операций с плавающей точкой двойной точности [6, 13].

Анализ показывает, что пиковая теоретическая производительность видеокарты NVIDIA GeForce GTX Titan Black в операциях с плавающей точкой одинарной точности составляет 5645 Гфлопс, в операциях двойной точности – 1881 Гфлопс [6, 13, 14].

Второй вычислительный узел, в отличие от первого, использует видеокарты ASUS Radeon R9280X, построенные на GPU компании AMD с кодовым наименованием Tahiti XTL, использующими архитектуру вычислительных блоков GCN. Базовая частота GPU равна 970 МГц, частота автоматического разгона – 1070 МГц. Графическая память работает на эффективной частоте 6400 МГц (реальная частота 1600 МГц). Ширина шины памяти 384 бит, максимальная пропускная способность интерфейса GPU↔видеопамять составляет 307,2 Гбит/с. Графический процессор Tahiti XTL содержит 2048 потоковых процессора, обеспечивающих пиковую производительность операций с плавающей точкой одинарной точности 4384 Гфлопс, операции двойной точности используют те же самые потоковые процессоры и выполняются в темпе ¼ от одинарной – 1096 Гфлопс [8, 14, 15].

3.2. Тестовая оценка производительности

3.2.1. Состав применяемого программного обеспечения

Тестирование производительности кластера проводилось с использованием программного обеспечения (ПО), представленного в таблице 2.

Таблица 2 – Версии системного и тестового ПО

№	Тип ПО	Наименование и версия ПО
1	Операционная система	CentOS 7.2.1511
2	Ядро операционной системы	Linux 3.10.0-327
3	Командная строка (shell) пользователя	Bash 4.2.46
4	Компилятор языка C	GCC (GNU Compiler Collection) 4.8.5 20150623, модель многопоточности – POSIX
5	Библиотека C	Glibc (GNU libc) 2.17
6	Платформы GPGPU	
	Узел 1	NVIDIA UNIX x86-64 Kernel Module 352.79 OpenCL 1.2 CUDA 7.5 NVCC NVidia Cuda compiler driver 7.5.27
	Узел 2	AMD fglrx 14.50.2 driver OpenCL 1.2
7	Реализация MPI	OpenMPI 1.10.0
8	Реализация OpenMP	OpenMP 3.1
9	Тесты LINPACK	HPL 2.2 Intel Optimized MP LINPACK Benchmark for Clusters l_mklb_p_2017.1.013
10	Инструментарий гетерогенного тестирования	The Scalable HeterOgeneous Computing (SHOC) Benchmark Suite 1.1.5

3.2.2. Тестирование производительности центральных процессоров вычислительного кластера на основе тестов LINPACK

Тестирование производительности ГВК с вычислениями, проводимыми на CPU, выполнялось на основе тестов LINPACK открытой версии HPL 2.2 с использованием библиотеки BLAS [16,17] и той же версии, в которой была использована специальная библиотека математических функций (math kernel library – MKL), оптимизирующая вычисления для архитектуры процессоров Intel и кластеров, построенных на их основе [18].

Особенностью LINPACK HPL 2.2 является возможность изменения параметров алгоритма решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), лежащего в основе теста. Для параметрической настройки используется специальный файл конфигурации HPL.dat. При тестировании ГВК СФМЭИ часть параметров теста была выбрана по умолчанию из руководства по настройке, а часть – изменялась для поиска вариантов, обеспечивающих наилучшую производительность.

При работе алгоритма матрица коэффициентов СЛАУ с числом уравнений N разбивается на подматрицы размером $NB \times NB$, а каждая из полученных подматриц разбивается на $P \times Q$ блоков, где P – число блоков по строкам, Q – по столбцам. Каждый из полученных блоков ассоциируется с процессом, закрепляемым за отдельным физическим ядром процессора.

Тестирование ГВК СФМЭИ тестом LINPACK без оптимизации под архитектуру Intel было выполнено для двух совместно работающих вычислительных узлов.

Существенное влияние на производительность оказывают размер матрицы N и размер подматрицы NB. На рис. 4 представлены результаты серии экспериментов с различными сочетаниями параметров N и NB при фиксированном значении ряда параметров конфигурации теста:

```
PMAP   : Column-major process mapping
P      :       4
Q      :      10
PFACT  :   Right
NBMIN  :       4
NDIV   :       2
RFACT  :   Right
BCAST  :  1ringM
DEPTH  :       0
SWAP   : Mix (threshold = 64)
L1     : transposed form
U      : transposed form
EQUIL  : yes
ALIGN  : 8 double precision words
```

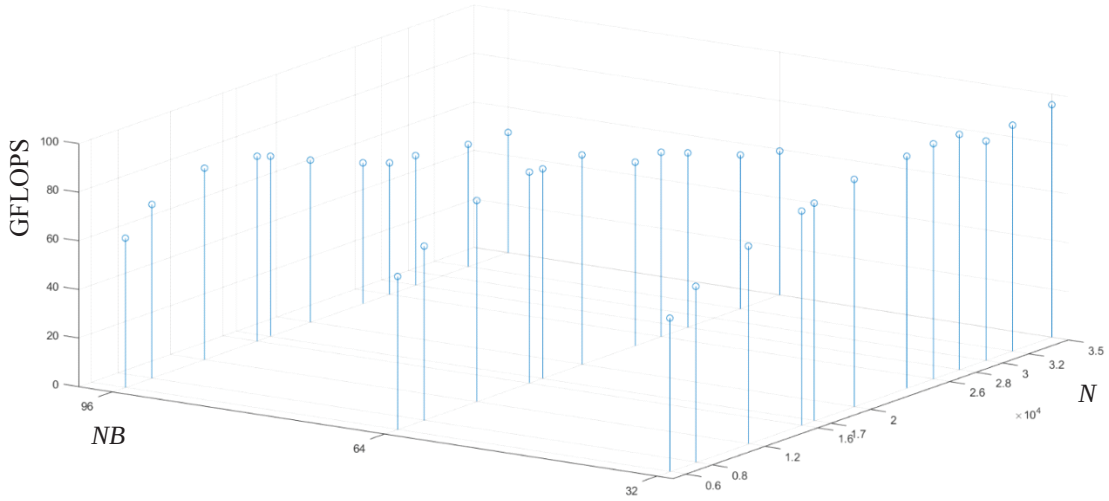


Рис. 4. Зависимость производительности ГВК СФМЭИ от *N* и *NB*

Наилучшие результаты при любых размерах матрицы *N* были получены для размера подматрицы *NB* = 32 элемента.

В результате дальнейшего тестирования было выявлено, что выбор вариантов реализаций матричных операций алгоритма (параметры конфигурации PFACT и RFACT) не оказывает существенного влияния на производительность.

Среди различных алгоритмов передачи данных наилучшие результаты показал алгоритм Increasing-ring [17] (параметр конфигурации BCAST=1ring).

В результате серии экспериментов наилучшая оценка производительности кластера, которая была достигнута с помощью теста LINPACK без оптимизации с использованием MKL, составила 101,7 Гфлопс (при *N* = 35000, *NB* = 32) с параметрами теста:

```
N      :    35000
NB     :   32
PMAP   : Column-major process mapping
P      :       5
Q      :      8
PFACT  :   Right
NBMIN  :       4
NDIV   :       2
RFACT  :   Right
BCAST  :  1ring
DEPTH  :       0
SWAP   : Mix (threshold = 64)
L1     : transposed form
U      : transposed form
EQUIL  : yes
ALIGN  : 8 double precision words
```

Для тестирования узлов кластера с помощью оптимизированной версии LINPACK, использующей математическое ядро MKL, были применены настройки по умолчанию с различными вариантами размера матрицы и подматрицы:

```
PMAP      : Column-major process mapping
P         :       1
Q         :       1
PFACT     :   Crout
NBMIN     :       4
NDIV      :       2
RFACT     :   Crout
BCAST     :   Bpush
DEPTH     :       0
SWAP      : Binary-exchange
L1        : no-transposed form
U         : no-transposed form
EQUIL     : no
ALIGN     :    8 double precision words
```

Тесты были проведены для каждого из вычислительных узлов отдельно при размере задачи *N*, изменяющимся от 10000 до 38000 с шагом 2000, и размере подматрицы *NB*, изменяющимся от 32 до 256 с шагом 32. При размерах матрицы от 30000 и больше для размера подматрицы 256 элементов оценки производительности приближаются к теоретическому максимуму для вычислений с плавающей точкой двойной точности: 480 Гфлопс для 20 ядер. Результаты тестов представлены на графиках (рис. 5 и 6).

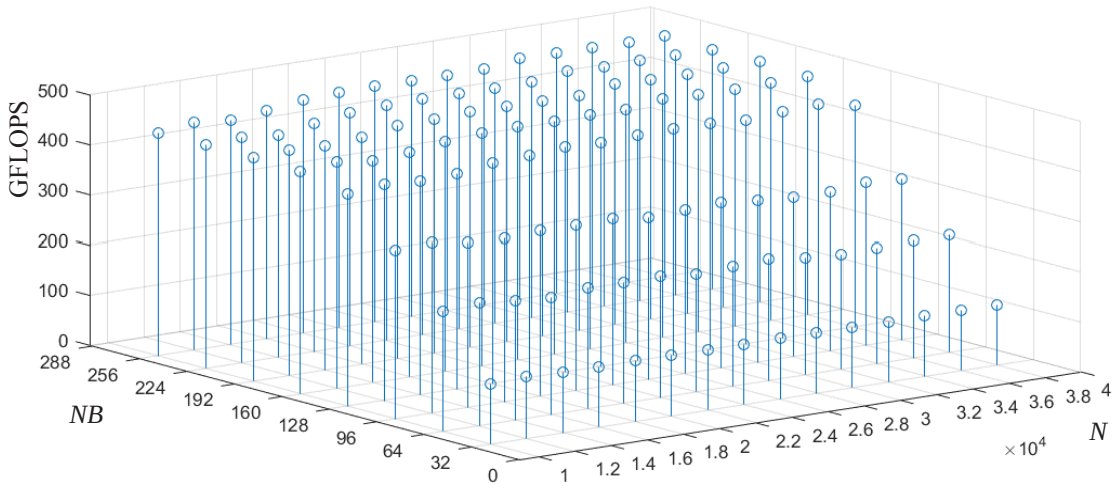


Рис. 5. Результаты оценки производительности в оптимизированном LINPACK для вычислительного узла 1

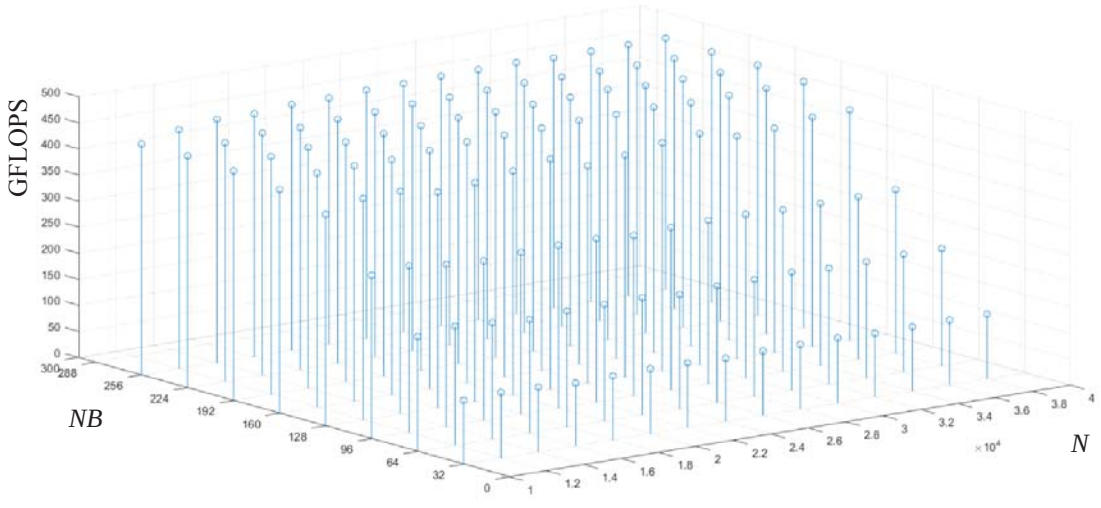


Рис. 6. Результаты оценки производительности в оптимизированном LINPACK для вычислительного узла 2

3.2.3. Тестирование производительности видеокарт гибридного вычислительного кластера на основе тестов SHOC

Тестирование возможностей ГВК с использованием видеокарт проводилось на основе тестового инструментария SHOC – The Scalable HeterOgeneous Computing [19, 20]. В данной работе представлены результаты тестирования ГВК с помощью программы MaxFlops, входящей в состав пакета SHOC. Программа MaxFlops служит для измерения максимально достижимой производительности при выполнении синтетических программных кодов, сформированных из различных комбинаций операций с плавающей точкой.

Наилучшие результаты среди видеокарт вычислительного узла 1 были получены для видеокарты 1 (рис. 7). Максимальная зафиксированная производительность в вычислениях одинарной точности составила 5202.83 Гфлопс, что довольно близко к теоретической (пиковой) производительности. В вычислениях двойной точности процессоры GPU GK110-Bl показали максимальный результат 255,55 Гфлопс. На рис. 7 приведены результаты для частных тестов, входящих в пакет MaxFlops. Использованы следующие обозначения:

SP – тесты вычислений с плавающей точкой одинарной точности;

DP – тесты вычислений с плавающей точкой двойной точности;

AddN – тесты, использующие N независимых потоков операций сложения;

MAddN – тесты, использующие N независимых потоков операций умножения-сложения;

MAddU – тест на основе вручную настроенного ядра, вычисляющего множественные операции умножения-сложения;

MulN – тесты, использующие N независимых потоков операций умножения;

MulMaddN – тесты, использующие *N* независимых потоков операций умножения и умножения-сложения;

MulMaddU – тест на основе вручную настроенного ядра, использующего смесь операций умножения и умножения-сложения.

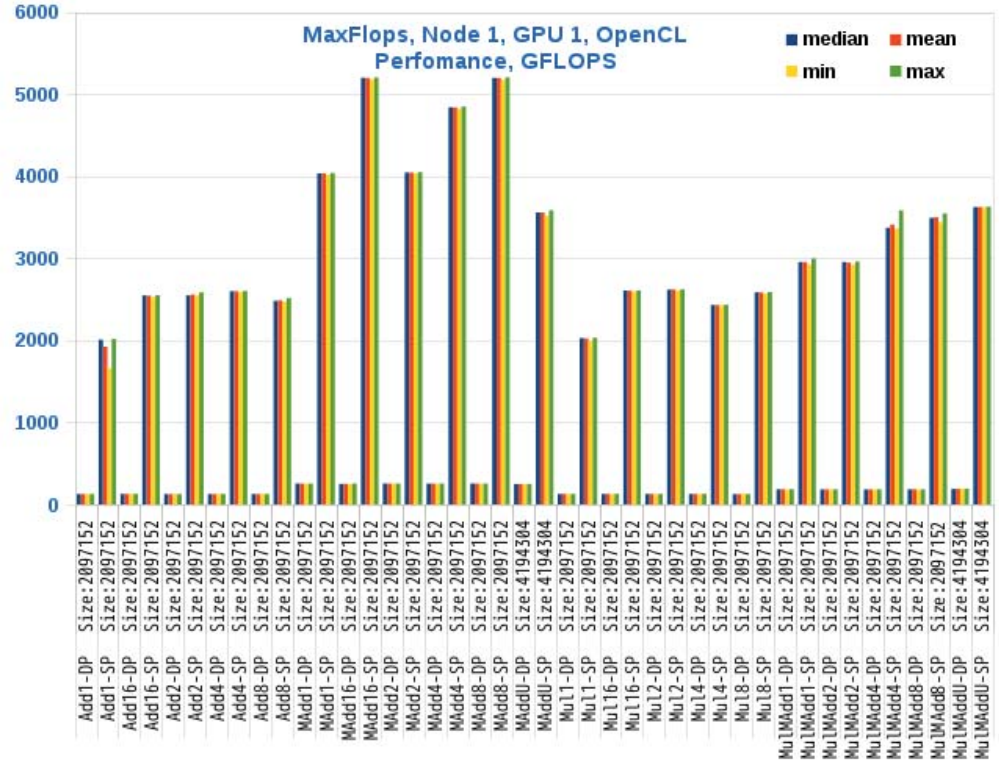


Рис. 7. Результаты теста MaxFlops для видеокарты 1 вычислительного узла 1

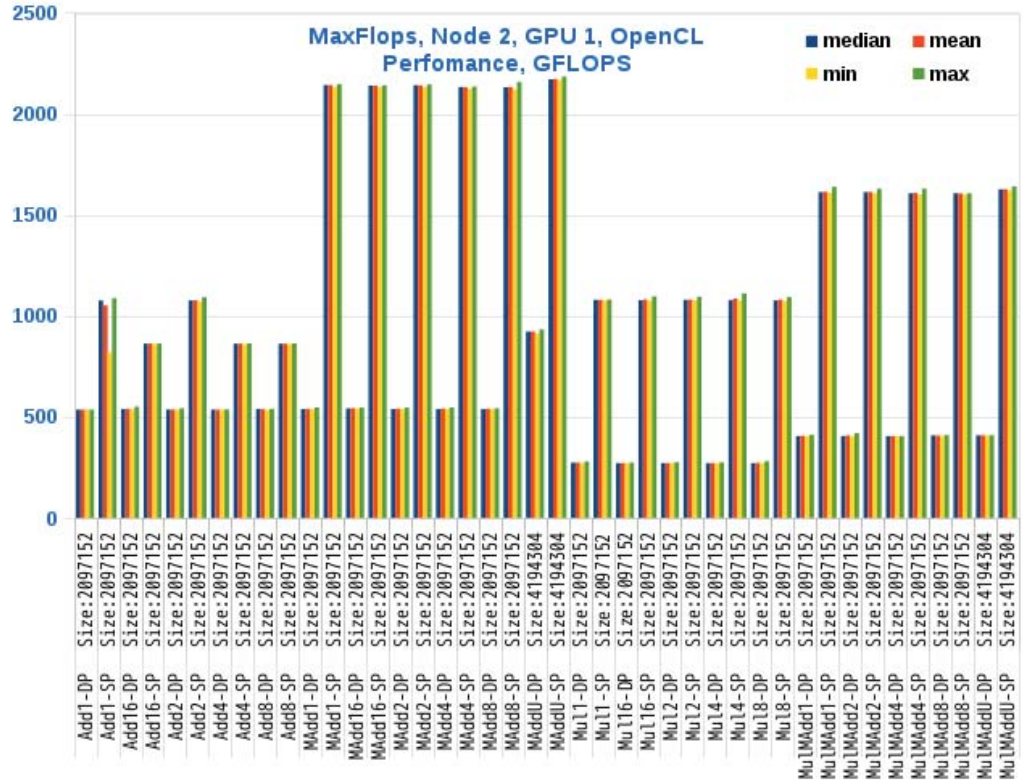


Рис. 8. Результаты теста MaxFlops для видеокарты 2 вычислительного узла 2

Максимальная зафиксированная производительность для видеокарт вычислительного узла 2 в вычислениях одинарной точности составила 4277,66 Гфлопс. Полученный результат близок к теоретической производительности. Так же близкий к теоретическому максимуму результат был получен и для вычислений двойной точности: 1072,39 Гфлопс. Подробно результаты теста представлены на рис. 8. Обозначения на рис. 8 аналогичны приведенным выше.

Заключение

В работе приведена архитектура гибридного вычислительного кластера филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. Проведена оценка максимальной теоретической производительности. Выполнены оценки производительности на основе тестов.

Суммарная теоретическая производительность центральных процессоров вычислительных узлов ГВК в вычислениях с плавающей точкой одинарной точности составляет: 960 Гфлопс для каждого узла и 1920 Гфлопс в сумме.

Для вычислений двойной точности оценки теоретической производительности составляют: 480 Гфлопс для каждого узла и 960 Гфлопс в сумме.

В тесте LINPACK HPL 2.2 без оптимизации с использованием MKL, получена наилучшая оценка 101,7 Гфлопс.

В тесте LINPACK HPL 2.2 оптимизированном для процессоров Intel с использованием библиотеки MKL, оценки производительности отдельных вычислительных узлов подтверждают рассчитанный теоретический максимум для вычислений с плавающей точкой двойной точности.

Теоретическая производительность графических процессоров вычислительных узлов ГВК в вычислениях с плавающей точкой одинарной точности составляет: 2×5645 Гфлопс для видеокарт узла 1 (графический процессор NVIDIA GK-110-Bl) и 2×4384 Гфлопс для видеокарт узла 2 (графический процессор Tahiti XTL), 20058 Гфлопс в сумме для всего ГВК.

Для вычислений двойной точности оценки теоретической производительности составляют: 2×1881 Гфлопс для видеокарт узла 1 (графический процессор NVIDIA GK-110-Bl) и 2×1096 Гфлопс для видеокарт узла 2 (графический процессор Tahiti XTL), 5954 Гфлопс в сумме для всего ГВК.

В тесте SHOC 1.1.5 MaxFlops были получены следующие лучшие результаты:

- 5202,83 Гфлопс в вычислениях с плавающей точкой одинарной точности и 255,55 Гфлопс в вычислениях двойной точности среди видеокарт узла 1;
- 4277,66 Гфлопс в вычислениях с плавающей точкой одинарной точности и 1072.39 Гфлопс в вычислениях двойной точности среди видеокарт узла 2.

Представленные результаты планируется использовать для теоретического обобщения подхода к исследованию гибридных

вычислительных систем, ориентированных на решение разных нечисловых и вычислительных задач и различающихся архитектурой и используемым информационным обеспечением.

Литература

1. Intel Xeon Processor E5-2690 v2 // Intel [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://ark.intel.com (дата обращения 20.11.2016).

2. Intel Hyper-Threading Technology // Intel [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.intel.com (дата обращения 20.11.2016).

3. Чеканов Д. Технология Hyper-Threading от Intel // 3Dnews [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.3dnews.ru (дата обращения 20.11.2016).

4. Bradley T. Inside Kepler // NVIDIA [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.nvidia.ru (дата обращения 20.11.2016).

5. NVIDIA Kepler GK110 Next-Generation CUDA Compute Architecture // NVIDIA [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.nvidia.ru (дата обращения 20.11.2016).

6. Видеокарта GeForce GTX TITAN Black // NVIDIA [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.nvidia.ru (дата обращения 20.11.2016).

7. Семейства видеокарт AMD Radeon. Справочная информация // IXBT.com [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.ixbt.com (дата обращения 20.11.2016).

8. Тест и обзор: ASUS Radeon R9 280X DirectCU II TOP (R9280X-DC2T-3GD5) // Hardwareluxx.ru [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.hardwareluxx.ru (дата обращения 20.11.2016).

9. NUMизматика, NUMерология и просто о NUMA // Habrahabr.ru [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: https://habrahabr.ru (дата обращения 20.11.2016).

10. Optimizing Performance with Intel Advanced Vector Extensions // Intel [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.intel.ru (дата обращения 20.11.2016).

11. Intel Xeon E5-2600 v2: больше ядер, кэша и лучшая эффективность // Tom's Hardware [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.thg.ru (дата обращения 20.11.2016).

12. PCI Express 3.0: новый стандарт производительности и функциональности // Tom's Hardware [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.thg.ru (дата обращения 20.11.2016).

13. Обзор видеокарты Gigabyte GeForce GTX TITAN Black GHz Edition: «Титаново-чёрный» гигагерц // 3Dnews [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.3dnews.ru (дата обращения 20.11.2016).

14. AMD Radeon and NVIDIA GeForce FP32/FP64 GFLOPS Table // Geeks3D [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.geeks3d.com (дата обращения 20.11.2016).

15. ASUS R9 280X DirectCU II TOP // Techpowerup.com [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: https://www.techpowerup.com (дата обращения 20.11.2016).

16. Petitet A., Whaley R. C., Dongarra J., Cleary A. HPL – A Portable Implementation of the High-Performance Linpack Benchmark for Distributed-Memory Computers // Netlib.org [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: http://www.netlib.org (дата обращения 20.11.2016).

17. Dongarra J., Luszczek P., Petitet A. The linpack benchmark: past, present and future // Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2003, vol. 15, no. 9, pp. 803–820.

18. Vipin Kumar E. K. HPL application note// Intel [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: https://software.intel.com (дата обращения 20.11.2016).

19. Vetter J.S. The Scalable HeterOgeneous Computing (SHOC) Benchmark Suite// Github.com [Электронный ресурс]. 20.11.2016. – URL: https://github.com (дата обращения 20.11.2016).

20. Danalis A., Marin G., McCurdy C., Meredith J., Roth P., Spafford K., Tipparaju V., Vette J. The Scalable HeterOgeneous Computing (SHOC) Benchmark Suite // In Proc. of the Third Workshop on General-Purpose Computation on Graphics Processors (GPGPU 2010), March 2010.

References

1. Intel Xeon Processor E5-2690 v2. *Intel*, 20 November 2016. Available at: http://ark.intel.com (accessed 20 November 2016).

2. Intel Hyper-Threading Technology. *Intel*, 20 November 2016. Available at: http://www.intel.com (accessed 20 November 2016).

3. Chekanov D. Tehnologija Hyper-Threading ot Intel [Chekanov D. Intel Hyper-Threading Technology]. *3Dnews*, 20 November 2016. Available at: http://www.3dnews.ru (accessed 20 November 2016) (in Russian).

4. Bradley T. Inside Kepler. *NVIDIA*, 20 November 2016. Available at: http://www.nvidia.ru (accessed 20 November 2016).

5. NVIDIA Kepler GK110 Next-Generation CUDA Compute Architecture. *NVIDIA*, 20 November 2016. Available at: http://www.nvidia.ru (accessed 20 November 2016).

6. Videokarta GeForce GTX TITAN Black [Graphics Card GeForce GTX TITAN Black]. *NVIDIA*, 20 November 2016. Available at: http://www.nvidia.ru (accessed 20 November 2016) (in Russian).

7. Semeistva Videokart AMD Radeon. Spravochnaja Informatsija [AMD Radeon Graphics Card Family. Reference Information]. *IXBT.com*, 20 November 2016. Available at: http://www.ixbt.com/video2/spravka-r2013.shtml (accessed 20 November 2016) (in Russian).

8. Test i Obzor: ASUS Radeon R9 280X DirectCU II TOP (R9280X-DC2T-3GD5) [Test and Review: ASUS Radeon R9 280X DirectCU II TOP (R9280X-DC2T-3GD5)]. *Hardwareluxx.ru*, 20 November 2016. Available at: http://www.hardwareluxx.ru (accessed 20 November 2016) (in Russian).

9. NUMizmatika, NUMerologija i Prosto o NUMA [NUMismatics, NUMerology and Just About NUMA]. *Habrahabr.ru*, 20 November 2016. Available at: https://habrahabr.ru (accessed 20 November 2016) (in Russian).

10. Optimizing Performance with Intel Advanced Vector Extensions. *Intel*, 20 November 2016. Available at: http://www.intel.ru (accessed 20 November 2016).

11. Intel Xeon E5-2600 v2: Bolshe Jader, Kjesha i Luchshaja Effectivnost [Intel Xeon E5-2600 v2: More Coreser, More Cache and Better Efficiency]. *Tom's Hardware*, 20 November 2016. Available at: http://www.thg.ru (accessed 20 November 2016) (in Russian).

12. PCI Express 3.0: Noviy Standart Proizvoditelnostji i Funkcionalnosti [PCI Express 3.0: New Standard of Performance and Functionality]. *Tom's Hardware*, 20 November 2016. Available at: http://www.thg.ru (accessed 20 November 2016) (in Russian).

13. Obzor Videokarti Gigabyte GeForce GTX TITAN Black GHz Edition: "Titanovo-Chjornyj" Gigagerc [Review of Graphic Card Gigabyte GeForce GTX TITAN Black GHz Edition: "Titan Black" GHz]. *3Dnews*, 20 November 2016. Available at: http://www.3dnews.ru (accessed 20 November 2016) (in Russian).

14. AMD Radeon and NVIDIA GeForce FP32/FP64 GFLOPS Table. *Geeks3D*, 20 November 2016. Available at: http://www.geeks3d.com (accessed 20 November 2016).

15. ASUS R9 280X DirectCU II TOP. *Techpowerup.com*, 20 November 2016. Available at: https://www.techpowerup.com (accessed 20 November 2016).

16. Petitet A., Whaley R. C., Dongarra J., Cleary A. HPL – A Portable Implementation of the High-Performance Linpack Benchmark for Distributed-Memory Computers. *Netlib.org*, 20 November 2016. Available at: http://www.netlib.org (accessed 20 November 2016).

17. Dongarra J., Luszczek P., Petitet A. The linpack benchmark: past, present and future // *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2003, vol. 15, no. 9, pp. 803-820.

18. Vipin Kumar E. K. HPL application note. *Intel*, 20 November 2016. Available at: https://software.intel.com (accessed 20 November 2016).

19. Vetter J. S. The Scalable HeterOgeneous Computing (SHOC) Benchmark Suite. *Github.com*, 20 November 2016. Available at: https://github.com (accessed 20 November 2016).

20. Danalis A., Marin G., McCurdy C., Meredith J., Roth P., Spafford K., Tipparaju V., Vette J. The Scalable HeterOgeneous Computing (SHOC) Benchmark Suite. *In Proc. of the Third Workshop on General-Purpose Computation on Graphics Processors (GPGPU 2010)*, March 2010.

Статья поступила 05 декабря 2016 г.

Информация об авторах

Борисов Вадим Владимирович – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры вычислительной техники. Филиал «Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» в

г. Смоленске. Старший научный сотрудник научно-исследовательского центра. Военная академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных сил Российской Федерации им. А.М. Василевского. Области научных интересов: нечеткий и нейро-нечеткий анализ, моделирование сложных систем и процессов; интеллектуальная поддержка принятия решений; ассоциативные системы хранения и обработки информации. Тел.: +7 4812 65 14 61. E-mail: vadim.v.borisov@mail.ru

Зернов Михаил Михайлович – кандидат технических наук. Доцент кафедры вычислительной техники. Филиал «Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» в г. Смоленске. Области научных интересов: интеллектуальная поддержка принятия решений; интеллектуальный анализ данных; высокопроизводительная обработка данных. Тел.: +7 4812 65 14 61. E-mail: zmmioml@yandex.ru

Федулов Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор. Заведующий кафедрой вычислительной техники. Филиал «Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» в г. Смоленске. Области научных интересов: нечеткий когнитивный анализ и моделирование сложных систем и процессов; цифровая обработка сигналов; интеллектуальная поддержка принятия решений. Тел.: +7 4812 65 14 61. E-mail: fedulov_a@mail.ru

Якушевский Константин Андреевич – студент кафедры вычислительной техники. Филиал «Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» в г. Смоленске. Области научных интересов: высокопроизводительная обработка данных; параллельные вычисления. Тел.: +7 4812 65 14 61. E-mail: jakushevskij@gmail.com

Адрес: 214013, Россия, г. Смоленск, Энергетический проезд, д. 1.

Analysis of the Characteristics of Hybrid Computing Cluster

V. V. Borisov, M. M. Zernov, A. S. Fedulov, K. A. Yakushevsky

***Purpose**. The development and application of hybrid computing systems is relevant in the context of increasing information, increasing the intensity and complexity of search and analytical tasks. These systems have the capacity to include them to the class supercomputers, while maintaining acceptable to users of price, size, ergonomic features. However, it should be noted shortage of articles devoted to the study of the characteristics of such systems depending on the nature of their architecture and software. The purpose of this work is the analysis the performance of hybrid computing cluster (in the example of the hybrid computing cluster of the branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute" in Smolensk). **Methods**. Methods of analysis and designing of computing systems. **Novelty**. The presented results can serve as a basis for the generalization of the approach to the study of hybrid computing systems, focused on solving various non-numerical and computational problems. **Practical relevance**. The results can be used to analyze the characteristics of various hybrid computing systems, focused on solving different non-numerical and computational problems.*

***Keywords**: hybrid computer system, CPU, GPU.*

Information about Authors

Vadim Vladimirovich Borisov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor. Professor of the Dept of Computer Engineering. The Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute" in Smolensk. Senior researcher. Military Academy of Army Air Defence A.M. Vasilevsky. Fields of research: fuzzy and fuzzy neural models and networks, intellectual decision-making support, associative memory, associative systems of storage and processing of the information and knowledge. Tel.: +7 4812 65 14 61. E-mail: vadim.v.borisov@mail.ru

Mikhail Mikhailovich Zernov – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor of the Dept of Computer Engineering. The Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute" in Smolensk. Fields of research: intellectual decision-making support, intellectual decision-making, high-performance data processing. Tel.: +7 4812 65 14 61. E-mail: zmmioml@yandex.ru

Alexander Sergeevich Fedulov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor. Head of the Dept of Computer Engineering. The Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute" in Smolensk. Fields of research: fuzzy cognitive analysis and modeling of complex systems and processes; digital signal processing; intellectual decision-making. Tel.: +7 4812 65 14 61. E-mail: fedulov_a@mail.ru

Konstantin Andreevich Yakushevsky – Student of the Dept of Computer Engineering. The Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute" in Smolensk. Fields of research: high-performance data processing, parallel computing. Tel.: +7 4812 65 14 61. E-mail: jakushevskij@gmail.com

Address: Russia, 214013, Smolensk, Energeticheskiy proezd, 1.

УДК 62–50:519.7/8

Модели производной и их применение для описания неполностью определенных систем

Левин В.И.

Актуальность. *Рассматривается проблема адекватности классического дифференциального исчисления. Указаны разнообразные недостатки этого исчисления, мешающие его использованию при моделировании реальных систем и процессов в условиях неопределенности, а именно: невозможность использования понятия классической производной в случае неполностью определенных исходных функций; различная функциональная принадлежность классических производных различных порядков, несмотря на их сходную интерпретацию как скоростей различных порядков; несуществование производной в отдельных точках у функций, моделирующих реальные процессы движения, несмотря на очевидное существование скорости в любой из точек каждого такого процесса; отсутствие единообразной формулы для нахождения производных различных порядков, несмотря на одинаковую интерпретацию всех таких производных как скоростей различных порядков; несоответствие классической производной требованиям физичности в отношении размерности.* ***Цель статьи.*** *Решение проблемы обобщения классического дифференциального исчисления, позволяющего обойти все эти недостатки.* ***Метод.*** *В статье показано, что переход от классической производной, которая вводится для точно заданной функции, к интервальной производной, которая вводится для функции, задаваемой с точностью до интервала возможных значений, дает возможность устранить все указанные выше недостатки.* ***Новизна.*** *Введение понятия интервальной производной позволяет строить дифференциальное исчисление для неполностью определенных исходных функций. Оно также позволяет унифицировать функциональную принадлежность производных любых порядков. Далее, новое понятие производной обеспечивает существование производной для всех непрерывных интервальных функций.* ***Результат.*** *Разработанное дифференциальное исчисление содержит единую формулу для производных всех порядков и соответствует требованиям физичности в отношении размерности. Приведен алгоритм построения интервальных моделей динамических неполностью определенных систем при использовании производных интервального типа. Дан пример построения модели такой системы.*

Ключевые слова: *интервальная функция, интервальная производная, интервальное дифференциальное исчисление, адекватность понятия производной.*

Введение

Усилиями двух классиков естествознания – англичанина Исаака Ньютона и немца Готфрида Вильгельма Лейбница в XVII в. было открыто понятие производной функции и на его основе построено дифференциальное, а затем и интегральное исчисление [1]. Это открытие, позволившее формализованно изучать поведение самых разнообразных функций, имело колоссальное значение для последующего развития науки и расширения сферы ее приложений. С его помощью было получено огромное, не поддающееся точной оценке число новых научных результатов в самых разнообразных научных направлениях как в самой математике, так и во многих ее приложениях. Но время идет, подходы в науке меняются и, по нашему мнению, пришла пора разобраться, насколько модель производной Ньютона–Лейбница адекватна физической реальности и что надо сделать, чтобы эту адекватность улучшить. Решение проблемы позволит увеличить результативность исследований в различных областях науки и

сделать их, с одной стороны, более глубокими и осмысленными, а с другой – открывающими путь для более точного математического моделирования реальных систем и процессов.

1. Постановка проблемы

Как хорошо известно, понятие производной в классическом дифференциальном исчислении Ньютона–Лейбница [1] базируется на понятии предельного перехода, т.е. неограниченного приближения переменной величины – функции к некоторой постоянной величине – пределу, в процессе которого разность между указанными величинами неограниченно приближается к нулю. Однако ясно, что такое предельное поведение возможно лишь в случае точно определенных функций и величин. На практике же при построении и исследовании математических моделей реальных систем и процессов различные их характеристики – функции и величины – всегда известны не полностью, а с некоторой ограниченной точностью (например, с точностью до интервалов возможных значений). В этих условиях никакого предельного перехода функции в смысле Ньютона–Лейбница не существует. Соответственно этому не существует ни классического понятия производной, ни классического дифференциального исчисления Ньютона–Лейбница. В связи со сказанным выше возникает, прежде всего, следующая базовая проблема: возможна ли переформулировка основных понятий классического дифференциального исчисления таким образом, чтобы они работали как в случаях, когда изучаемые функции и величины известны точно, так и в случаях, когда они известны с ограниченной точностью? Каким может быть это новое дифференциальное ичисление?

Другая серьезная проблема в рассматриваемой нами области заключается в следующем. Как известно [1], производная в классическом дифференциальном исчислении имеет смысл скорости, с которой эта функция изменяется в различных точках относительно своего аргумента. В соответствии с этим производные высших порядков приобретают смысл скоростей высших порядков, с которыми данная функция изменяется относительно своего аргумента. Например, производная второго порядка означает ускорение – скорость изменения скорости изменения нашей функции, т.е. скорость изменения функции второго порядка. Аналогично интерпретируются производные третьего и последующих порядков. Единообразная интерпретация производных различных порядков дает нам основание полагать, что производные всех порядков должны принадлежать одному и тому же классу функций. Однако на практике это условие в классическом дифференциальном исчислении не выполняется. Возникает естественный вопрос: означает ли эта разнородность производных различных порядков, что мы имеем дело с нормальным явлением, которое надо лишь правильно объяснить, или она свидетельствует о не вполне адекватной модели скорости изменения природных процессов, принятой в классическом дифференциальном исчислении, которую можно исправить, изменив модель и тем самым повысив точность

моделирования различных систем и процессов? Какова эта новая модель?

Еще одна проблема связана с тем, что скорость изменения природных процессов – это характеристика реально существующих процессов, которая поэтому должна обязательно существовать. Таким образом, любая функция, моделирующая реально существующий процесс, обязательно должна иметь всюду производную, если только само понятие производной введено адекватно. Но для обычной производной в классическом дифференциальном исчислении указанное требование, как известно, выполняется не всегда. В связи с этим уместен следующий вопрос: может ли модель скорости изменения реальных природных процессов, принятая в классическом дифференциальном исчислении, считаться вполне адекватной, учитывая, что в ней не всегда выполняется указанное естественное требование – существование скорости процесса, или же ее нужно признать не вполне адекватной и заменить другой, более адекватной моделью, в которой данное требование строго выполняется, что позволяет повысить точность моделирования разнообразных систем и процессов? Какова эта новая модель?

Далее, поскольку в классическом дифференциальном исчислении Ньютона–Лейбница производная любого порядка имеет один и тот же смысл скорости соответствующего порядка, с которой некоторая функция изменяется относительно своего аргумента, имеется основание полагать, что производные всех порядков должны принадлежать одному и тому же классу функций (см. выше изложение второй проблемы). Из этого можно вывести, что должна существовать некоторая единая формула для производных всех порядков от любой заданной функции. Однако известно, что такой формулы в классическом дифференциальном исчислении нет. В связи с этим возникает следующий резонный вопрос: можно ли считать вполне адекватной модель скорости изменения природных процессов, принятую в классическом дифференциальном исчислении, при том, что в ней не выполняется естественное требование – существование единообразной формулы для скорости (производной) любого порядка? Или же ее надо признать не вполне адекватной и заменить другой, более адекватной моделью, где выполняется указанное требование, что позволяет повысить точность моделирования различных систем и процессов? Какова тогда эта новая модель?

Наконец, последняя проблема в изучаемой нами области состоит в следующем. Понятие производной в любом из исчислений, в которых производная имеет смысл скорости изменения функции относительно своего аргумента, должно отвечать условию физичности в отношении размерности. Это требование связано с тем, что скорость – понятие физическое. Оно проявляется в том, что если, например, функция выражает зависимость пути в метрах (м) от времени в секундах (сек), то 1-я производная от этой функции по ее аргументу, выражающая скорость рассматриваемого движения, должна иметь размерность м/сек, 2-я производная, выражающая ускорение этого движения, т.е. скорость 2-го порядка, – размерность м/сек^2 и т.д. Но в классическом дифференциальном исчислении это требование не всегда выполняется. Например, если зависимость пути в метрах s от времени в секундах t выражается функцией $s = e^t$, то скорость

движения, выражаемая производной от s по t, имеет вид $s' = e^t$ и размерность, такую же, как s, т.е. м, а не м/сек, как должно быть по условию физичности. В связи с этим возникает следующий вопрос: можно ли модель скорости изменения реальных процессов, принятую в классическом дифференциальном исчислении, считать вполне адекватной, хотя в ней не выполняется обязательное требование физичности в отношении размерности производной, или ее надо признать не вполне адекватной и заменить другой, более адекватной моделью, в которой это требование выполняется, благодаря чему можно повысить точность моделирования различных систем и процессов? Какова может быть новая модель?

Эта модель производной, а также соответствующее ей дифференциальное исчисление, применимые для работы с функциями, заданными с ограниченной точностью, зависят от формы неопределенности, в которой задается функция. При стохастической неопределенности вводятся стохастическая производная и стохастическое дифференциальное исчисление (в частности, стохастические дифференциальные уравнения) [2]. Аналогично, в случае нечеткой неопределенности вводятся нечеткие производные, нечеткое дифференциальное исчисление, а также нечеткие дифференциальные уравнения [3–5] (обзор этой темы на русском языке см. в [6, 7]). Более простая и физичная версия всех этих понятий получается, если вместо нечетких функций использовать для введения неопределенности многозначные функции [8]. В настоящей работе проблема построения новой модели производной и соответствующего дифференциального исчисления рассматривается в предположении интервальной формы неопределенности функций, что позволяет получать необходимые результаты в еще более простой и ясной форме, используя хорошо разработанный аппарат интервальной математики [9]. Кроме того, при указанном подходе удается конструктивно решить поставленные выше проблемы, вызванные неопределенностью изучаемых функций.

2. Решение базовых проблем

Рассмотрим сначала первую из проблем, поставленных в п. 1, и укажем пути ее возможного решения.

Эта проблема, как уже указывалось, заключается в том, что при задании функций не точно, а с ограниченной точностью, понятие предела в смысле Ньютона–Лейбница, а вместе с ним и понятие производной перестают существовать. Возникает вопрос, можно ли распространить указанные понятия и на этот случай, чтобы получить возможность моделирования реальных процессов? Оказывается, что такое распространение возможно, если задавать функции с точностью до интервалов возможных значений, а в качестве математического аппарата использовать аппарат интервальной математики [9]. Следуя [10–12], используем понятие интервальной функции

$$\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x}), \qquad (1)$$

где $\tilde{x} = [x_1, x_2]$ – интервальная независимая переменная, выраженная в виде замкнутого вещественного интервала, $\tilde{y} = [y_1, y_2]$ – интервальная зависимая

переменная, также выраженная в виде замкнутого вещественного интервала, $\tilde{f}$ – однозначное отображение множества интервалов $\{\tilde{x}\}$ на множество интервалов $\{\tilde{y}\}$. Понятие предела интервальной функции (1) отличается от понятия предела обычной (точно заданной) функции. Пусть $\tilde{x}_0 = [x_{01}, x_{02}]$ – интервальная постоянная. Будем говорить, что интервальная независимая переменная $\tilde{x}$ в процессе своего изменения стремится к интервальному пределу $\tilde{x}_0$, если x_1 стремится к пределу x_{01}, а x_2 – к пределу x_{02}. Символически это определение записывается в виде

$$\{\lim(\tilde{x} = [x_1, x_2]) = (\tilde{x}_0 = [x_{01}, x_{02}])\} \Leftrightarrow \{\lim x_1 = x_{01}, \lim x_2 = x_{02}\}. \quad (2)$$

Аналогично имеет место определение предела интервальной зависимой переменной

$$\{\lim(\tilde{y} = [y_1, y_2]) = (\tilde{y}_0 = [y_{01}, y_{02}])\} \Leftrightarrow \{\lim y_1 = y_{01}, \lim y_2 = y_{02}\}. \quad (3)$$

Предел интервальной функции (1) теперь можем определить следующим образом. Пусть в процессе своего изменения интервальная независимая переменная $\tilde{x}$ стремится к интервальному пределу $\tilde{x}_0$, при этом интервальная зависимая переменная $\tilde{y}$ стремится к интервальному пределу $\tilde{y}_0$. Будем в этом случае говорить, что предел интервальной функции (1) при $\tilde{x}$, стремящемся к $\tilde{x}_0$, равен $\tilde{y}_0$, или символически

$$\lim_{\tilde{x} \to \tilde{x}_0} \tilde{y} = \tilde{y}_0 \quad (4)$$

или, по-другому, с использованием обозначения функции (1),

$$\lim_{\tilde{x} \to \tilde{x}_0} \tilde{f}(\tilde{x}) = \tilde{y}_0. \quad (5)$$

Теперь, используя понятие предела интервальной функции, мы можем ввести понятие производной интервальной функции (1). Будем полагать эту функцию непрерывной, т.е. ее нижнюю и верхнюю границы непрерывными функциями нижней и верхней границ интервала $\tilde{x}$ – независимой переменной. Тогда фиксированному значению $\tilde{x}_0 = [x_{01}, x_{02}]$ независимой переменной будет соответствовать фиксированное значение функции $\tilde{y}_0 = \tilde{f}(\tilde{x}_0)$. Определим приращения независимой и зависимой переменных нашей функции относительно их указанных фиксированных значений

$$\Delta\tilde{x} = \tilde{x} - \tilde{x}_0, \quad \Delta\tilde{y} = \tilde{y} - \tilde{y}_0 = \tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}_0) \quad (6)$$

и составим отношение второго приращения к первому

$$\Delta\tilde{y} / \Delta\tilde{x} = (\tilde{y} - \tilde{y}_0)/(\tilde{x} - \tilde{x}_0) = (\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}_0))/(\tilde{x} - \tilde{x}_0). \quad (7)$$

Возьмем предел отношения (7) при стремлении независимой переменной $\tilde{x}$ к ее пределу $\tilde{x}_0$:

$$\lim_{\tilde{x} \to \tilde{x}_0} \Delta\tilde{y} / \Delta\tilde{x}. \quad (8)$$

Предел (8), если он существует, назовем интервальной производной от интервальной функции (1) в точке $\tilde{x}_0$ и обозначим $\tilde{y}'_{\tilde{x}_0}$ или $\tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x})$. Итак,

$$\tilde{y}'_{\tilde{x}_0} = \tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x}) = \lim_{\tilde{x} \to \tilde{x}_0} \Delta\tilde{y} / \Delta\tilde{x}. \quad (9)$$

Доказано [10–12], что для существования в точке $\tilde{x}_0$ интервальной

производной от интервальной непрерывной функции (1) необходимо и достаточно, чтобы в некоторой окрестности этой точки и в ней самой все значения независимой переменной $\tilde{x}$ функции являлись невырожденными интервалами (интервалами с несовпадающими верхней и нижней границами). Также доказано [10–12], что интервальная производная от непрерывной интервальной функции в произвольной точке $\tilde{x}$ может быть выражена в конечном виде через значения независимой переменной $\tilde{x}$ и зависимой переменной $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ этой функции в указанной точке следующим образом

$$\tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = (\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}))/(\tilde{x} - \tilde{x}). \quad (10)$$

Отметим, что выражение (10) не нужно воспринимать как неопределенность вида $0/0$, поскольку у любой существующей в точке $\tilde{x}$ интервальной производной интервал $\tilde{x}$ невырожден и потому, в соответствии с формулами интервальной математики, знаменатель выражения (10) не равен нулю.

Формулы, приведенные в этом разделе наглядно демонстрируют, что предпринятая переформулировка базовых понятий классического дифференциального исчисления – предела и производной – с использованием интервальной математики открывает возможность работы с этими понятиями в новых условиях, когда изучаемые величины и функции известны не точно, а с ограниченной точностью (в данном случае – с точностью до интервалов возможных значений). При этом предел сохраняет смысл постоянной величины, к которой неограниченно приближается переменная величина, а производная – смысл скорости, с которой указанная функция изменяется относительно своего аргумента. Здесь все постоянные и переменные величины, а также функции от них, являются интервальными. Эти новые математические понятия открывают возможность для адекватного моделирования реальных процессов, известных с ограниченной точностью.

Рассмотрим теперь вторую из проблем, поставленных в п. 1. Эта проблема заключается в том, что, несмотря на единообразную интерпретацию в классическом дифференциальном исчислении Ньютона–Лейбница производных различных порядков как скоростей изменения функций различных порядков, в общем случае производные различных порядков не принадлежат одному и тому же классу функций. Является ли это положение нормальным, требующим лишь соответствующего объяснения, или же оно свидетельствует о некоторой неадекватности модели скорости изменения реальных процессов в классическом дифференциальном исчислении, которую, следовательно, необходимо исправить путем изменения модели? Обратимся к понятию интервальной производной, введенному выше. Она показывает скорость изменения интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ относительно ее аргумента $\tilde{x}$. Запишем выражение интервальной производной (10) в виде

$$\tilde{y}' = \tilde{y}_\Delta / \tilde{x}_\Delta, \quad (11)$$

при следующих обозначениях:

$$\tilde{y}' = \tilde{y}'_{\tilde{x}} = \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}), \quad \tilde{y}_\Delta = \tilde{y} - \tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}), \quad \tilde{x}_\Delta = \tilde{x} - \tilde{x}. \quad (12)$$

Беря интервальную производную от интервальной производной функции

1-го порядка вида (11), можно получить интервальную производную функцию 2-го порядка в виде

$$\tilde{y}'' = (\tilde{y}_\Delta / \tilde{x}_\Delta)_\Delta / \tilde{x}_\Delta . \quad (13)$$

Аналогично, беря интервальную производную от интервальной производной 2-го порядка (13), получим интервальную производную 3-го порядка

$$\tilde{y}''' = ((\tilde{y}_\Delta / \tilde{x}_\Delta)_\Delta / \tilde{x}_\Delta)_\Delta / \tilde{x}_\Delta \quad (14)$$

и т.д. Выражение интервальной производной n-го порядка в общем виде имеет следующую форму

$$\tilde{y}^{(n)} = \underbrace{(...((}_{n-1 \text{ скобка}} \tilde{y}_\Delta / \tilde{x}_\Delta \underbrace{)_\Delta / \tilde{x}_\Delta)_\Delta / \tilde{x}_\Delta ...)}_{n-1 \text{ скобка}}{}_\Delta / \tilde{x}_\Delta . \quad (15)$$

Формулы интервальных производных (13)–(15) развертываются аналогично (12), используя выражение оператора Δ, указанное в (12). Как хорошо видно из приведенных формул (11)–(15), интервальные производные любого n-го порядка принадлежат одному и тому же классу интервальных функций, получаемых из исходной функции (1) по одному и тому же алгоритму при помощи лишь двух операций – деления и вычитания. Таким образом, можно считать, что понятие производной в интервально-дифференциальном исчислении изначально соответствует требуемой в постановке проблемы, рассмотренной в п. 1, единообразной интерпретации производных различных порядков как скоростей различных порядков изменения функции. В то же время понятие производной в классическом дифференциальном исчислении не соответствует данной интерпретации, что свидетельствует о некоторой неадекватности модели скорости изменения реальных процессов, принятой в классическом дифференциальном исчислении. Так что переход от классического дифференциального исчисления к интервальному нужно рассматривать как некоторую корректировку модели производной в сторону ее большей адекватности процессам, происходящим в реальности, что способствует более точному моделированию указанных процессов с помощью интервально-дифференциального исчисления.

Третья из проблем, затронутых в п. 1, состоит в том, что скорость изменения любых природных процессов, как характеристика реально существующих процессов, должна обязательно существовать. В связи с этим производная любой функции, описывающей природный процесс, должна обязательно существовать, если модель производной адекватна понятию скорости. Но на практике классическая производная существует не для всякой функции, описывающей природный процесс. Означает ли это некоторую неадекватность классической модели производной и можно ли эту неадекватность исправить путем перехода к новой модели? К какой?

Обратимся к понятию интервальной производной, введенному выше в разделе 2. Было указано, что интервальная производная в любой точке непрерывной интервальной функции существует всегда, когда в данной точке и некоторой ее окрестности все значения независимой переменной этой функции являются невырожденными интервалами (т.е. интервалами с несовпадающими нижней и верхней границами). Таким образом, интервальная производная от интервальной функции существует практически всегда, в отличие от производной

в классическом дифференциальном исчислении, которая во многих случаях не существует (например, в точках излома исходной функции). Снова видим, что переход от классической модели производной к интервальной можно считать корректировкой модели производной в сторону ее большей адекватности природным процессам, что дает возможность более точного моделирования этих процессов с помощью интервально-дифференциального исчисления.

Четвертая проблема, указанная в п. 1, состоит в том, что производная любого n-го порядка в классическом дифференциальном исчислении имеет смысл скорости изменения функции n-го порядка относительно своего аргумента (т.е. принципиально имеет один и тот же смысл – скорости изменения). Поэтому можно ожидать существования единой формулы для производных всех порядков от любой функции. Тем не менее, в классическом дифференциальном исчислении такой формулы нет. Означает ли это некоторую неадекватность классической модели производной? Можно ли каким-нибудь образом скорректировать эту неадекватность, перейдя к новой модели производной? Снова обратимся к понятию интервальной производной. Рассмотрим формулу (15). Она дает единое выражение интервальных производных всех порядков от любой интервальной функции и тем самым полностью решает проблему. Таким образом, опять видим, что переход от классической модели производной к интервальной позволяет сделать ее более адекватной изучаемым реальным природным процессам и тем самым более точно моделировать эти процессы с помощью интервально-дифференциального исчисления.

Пятая проблема, поставленная в п. 1, состоит, как уже было сказано, в том, классическая модель производной не всегда удовлетворяет условию физичности в отношении размерности. Проявляется это в том, что скорости различных процессов, полученные путем вычисления соответствующих производных, не всегда имеют ту размерность, которую они должны иметь по законам физики. В связи с этим возникает некоторое сомнение в адекватности классической модели производной как скорости изменения реальных процессов и мысль заменить ее другой, более адекватной моделью.

Обратимся к явным выражениям интервальных производных разных порядков – суперпозициям интервалов $\tilde{y}_\Delta, \tilde{x}_\Delta$, (11), (13), (14), (15). Из выражений (12) интервалов $\tilde{y}_\Delta$ и $\tilde{x}_\Delta$ видно, что интервал $\tilde{y}_\Delta$ имеет размерность исходной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$, от которой мы берем последовательные производные, а интервал $\tilde{x}_\Delta$ – размерность аргумента $\tilde{x}$ этой функции. Обозначим эти размерности соответственно $\text{разм}\,\tilde{y}$ и $\text{разм}\,\tilde{x}$. Теперь, после применения формул (11), (13), (14), (15), легко получается, что размерность последовательных интервальных производных функции $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ имеет вид

$$\text{разм}\,\tilde{y}' = \text{разм}\,\tilde{y}/\text{разм}\,\tilde{x}, \quad \text{разм}\,\tilde{y}'' = \text{разм}\,\tilde{y}/(\text{разм}\,\tilde{x})^2,$$
$$\text{разм}\,\tilde{y}''' = \text{разм}\,\tilde{y}/(\text{разм}\,\tilde{x})^3, \ \ldots, \quad \text{разм}\,\tilde{y}^{(n)} = \text{разм}\,\tilde{y}/(\text{разм}\,\tilde{x})^n. \tag{16}$$

Именно такой должна быть, с точки зрения физики, размерность этих производных, если исходить из их физического смысла как скоростей

различных порядков изменения природных процессов. Т.е. получаемые в соответствии с формулами (16) размерности интервальных производных различных порядков полностью решают проблему. Например, если некоторая функция $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ задает закон движения, в котором $\tilde{x}$ означает время в секундах, $\tilde{y}$ – пройденный путь в метрах, то 1-я производная $\tilde{y}'$, являясь скоростью движения, должна иметь размерность м/сек, вторая производная $\tilde{y}''$, являясь ускорением, – размерность м/сек^2 и т.д.

Снова видим, что переход от классической модели производной к интервальной делает модель более адекватной реальным процессам, позволяя тем самым более точно моделировать эти процессы с помощью математического аппарата интервально-дифференциального исчисления.

3. Алгоритм моделирования динамических неполностью определенных систем с использованием интервальных производных

Из представленных в п. 2 результатов вытекает следующий алгоритм построения математической модели динамической неполностью определенной системы.

Шаг 1. Берем уже имеющуюся (или строим заново) математическую модель динамической полностью определенной (детерминированной) системы, служащей прототипом динамической неполностью определенной (недетерминированной) системы, подлежащей моделированию (система-прототип получается из системы-оригинала путем детерминизации всех параметров системы, а система-оригинал получается из системы-прототипа путем их надлежащей раздетерминизации). Полагаем, что модель системы-прототипа имеет вид некоторого уравнения – алгебраического (если в нем есть только алгебраические операции), дифференциального (если в дополнение к алгебраическим операциям в нем есть классические производные) или разностного (если, в дополнение к алгебраическим операциям, в нем фигурируют разностные операторы).

Шаг 2. Математическую модель системы-прототипа, полученную на прошлом шаге, подвергаем раздетерминизации. Для этого мы заменяем все точно заданные параметры этой модели соответствующими интервальными параметрами, а все точно заданные операторы – соответствующими интервальными операторами (классическую производную – интервальной, обычный разностный оператор – интервальным). В результате получаем математическую модель системы-оригинала в символьной форме, где операторы (разностный и производной) представлены пока соответствующими символами, но интервальные параметры фигурируют уже в явном виде.

Шаг 3. Полученную на шаге 2 символьную математическую модель динамической неполностью определенной системы подвергаем необходимой десимволизации. Для этого заменяем все символы интервальных производных различных порядков соответствующими явными выражениями, применяя формулы (11), (13), (14), (15). С использованием аналогичных формул заменяем соответствующими явными выражениями все символы разностных операторов.

В результате получаем математическую модель динамической неполностью определенной системы в явной интервальной форме, т.е. в форме суперпозиции интервальных параметров этой системы.

Конец процедуры.

Созданная с помощью указанного алгоритма математическая модель динамической неполностью определенной системы более адекватно отражает функционирование этой системы, чем детерминированная модель, полученная с помощью классического дифференциального исчисления.

Пример (демография). Известно, что скорость прироста населения прямо пропорциональна количеству населения. Найти модель, описывающую зависимость количества населения A от времени t, если известно, что в некоторый начальный момент $t=0$ количество населения равнялось A_0, а через год оно увеличилось на $a\%$. Построить математическую модель роста числа населения в условиях интервальной неопределенности системы.

Шаг 1. Скорость изменения количества населения – 1-я производная от количества населения по времени, т.е. A'_t. Тогда по условию нашей задачи получаем дифференциальное уравнение – математическую модель роста количества населения $dA/dt = kA$ или, разделяя переменные,

$$dA/A = kdt.$$

Интегрируя почленно, находим

$$\ln A = \ln e^{kt+C_1},$$

что после потенцирования дает общее решение уравнения в виде

$$A = Ce^{kt}, \quad C = e^{C_1}.$$

Сначала найдем константу C. Подставляя в общее решение соответствующее количество населения и времени $A = A_0, t = 0$, получим

$$A_0 = Ce^{k\cdot 0} = C\cdot 1 = C,$$

так что общее решение принимает вид $A = A_0 e^{kt}$.

Найдем константу k. По условиям задачи количество населения через год, т.е. при $t=1$, составит $A = ((100+a)A_0)/100$. Подставляя эти значения в общее решение, получим

$$((100+a)A_0)/100 = A_0 e^k.$$

Откуда

$$e^k = (100+a)/100, \quad k = \ln((100+a)/100) = \ln\left(1+\frac{a}{100}\right),$$

так что имеем следующее решение дифференциального уравнения – модели роста количества населения

$$A = A_0((100+a)/100)^t.$$

Сама модель, представляющая основной интерес, приобретает окончательный вид дифференциального уравнения

$$dA/dt = \ln\left(1+\frac{a}{100}\right)A, \quad A|_{t=0} = A_0.$$

Шаг 2. Полученную на шаге 1 модель полностью определенной

(детерминированной) демографической системы подвергаем раздетерминизации. Для этого точный параметр A мы заменяем интервальным параметром $\widetilde{A}=[A_1,A_2]$, аналогично точные параметры A_0, t – соответствующими интервальными параметрами $\widetilde{A}_0=[A_{01},A_{02}], \widetilde{t}=[t_1,t_2]$. Классическую производную dA/dt заменяем интервальной производной $d\widetilde{A}/d\widetilde{t}$. В итоге получаем математическую модель демографической системы в виде интервально-дифференциального уравнения, записанного в символьной форме

$$d\widetilde{A}/d\widetilde{t}=\ln\left(1+\frac{a}{100}\right)\widetilde{A}, \quad \widetilde{A}|_{\widetilde{t}=[0,0]}=\widetilde{A}_0.$$

Шаг 3. Полученную на шаге 2 символьную математическую модель демографической системы десимволизируем, заменяя символьное выражение интервальной производной соответствующим явным интервальным выражением (11). В результате получаем математическую модель демографической системы в явной интервальной форме

$$\frac{\widetilde{A}-\widetilde{A}}{\widetilde{t}-\widetilde{t}}=\ln\left(1+\frac{a}{100}\right)\widetilde{A}, \quad \widetilde{A}|_{\widetilde{t}=[0,0]}=\widetilde{A}_0.$$

4. Заключение

Классическая производная и основанное на ней классическое дифференциальное исчисление были созданы для исследования поведения точно определенных процессов. Однако в наше время большинство изучаемых процессов задаются неточно, так что их изучение с помощью классического дифференциального исчисления практически невозможно. Кроме того, оказывается, что классическое дифференциальное исчисление даже при изучении точно определенных процессов обнаруживает некоторые черты неадекватности по отношению к изучаемым процессам. Все это побуждает искать новые модели производных, пригодные для построения более адекватного дифференциального исчисления. Одной из них является интервальная производная, определяемая для функций, заданных с точностью до интервала возможных значений. Эта производная, предложенная автором ранее, детально изучена выше с целью установления ее адекватности реальным процессам. Наше изучение показало, что переход от классической производной к интервальной модели позволяет нам построить интервально-дифференциальное исчисление, которое более адекватно процессам, заданным неточно, и, таким образом, позволяет точнее моделировать такие процессы. Кроме того, переход дает возможность избавиться от некоторых проявлений неадекватности, свойственных классической производной, при изучении точно определенных процессов.

Литература

1. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 1. – М.: Физматлит, 2005. – 650 с.

2. Леваков А. А. Стохастические дифференциальные уравнения. – Минск: БГУ, 2009. – 231 с.

3. Puri M. L., Ralescu D. A. Fuzzy Random Variables // Journal of Mathematical Application. – 1986. – № 4. – P. 409–422.

4. Friedman M., Ming M., Kandel A. Fuzzy Linear Systems // Fuzzy Sets and Systems. – 1988. – № 96. – P. 201–209.

5. Buckley J. J., Feuring J. Fuzzy Differential Equations // Fuzzy Sets and Systems. – 2000. – № 110. – P. 43–54.

6. Мочалов И. А., Хрисат М. С., Шихаб Еддин М. Я. Нечеткие дифференциальные уравнения в задачах управления. Ч. 1 // Информационные технологии. – 2015. Т. 21. – № 3. – С. 171–178.

7. Мочалов И. А., Хрисат М. С., Шихаб Еддин М. Я. Нечеткие дифференциальные уравнения в задачах управления. Ч. 2 // Информационные технологии. – 2015. Т. 21. – № 4. – С. 243–250.

8. Горбань И. И. Феномен статистической устойчивости. – Киев: Наукова Думка, 2014. – 370 с.

9. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М.: Мир, 1987. – 360 с.

10. Левин В. И. Интервальная производная и начала недетерминистского дифференциального исчисления // Онтология проектирования. – 2013. – № 4. – С. 72–84.

11. Левин В. И. Интервально-дифференциальное исчисление и некоторые его применения // Информационные технологии. – 2014. – № 7. С. 3–10.

12. Левин В. И. Дифференциальное исчисление для интервально-определенных функций // Эвристические алгоритмы и распределенные вычисления. – 2015. Т. 2. – № 2. – С. 8–25.

References

1. Fihtengolc G. M. *Kurs differencialnogo i integralnogo ischisleniya* [The Course of Differential and Integral Calculus]. Vol. 1. Moscow, Fizmatlit, 2005, 650 p. (in Russian).

2. Levakov A. A. *Stohasticheskie differencialnye uravneniya* [Stochastic Differential Equations]. Minsk, BGU Publishing, 2009, 231 p. (in Russian).

3. Puri M. L., Ralescu D. A. *Fuzzy Random Variable*, Journal of Mathematical Application, 1986, 4, pp. 409–422.

4. Friedman M., Ming M., Kandel A. *Fuzzy Linear Systems,* Fuzzy Sets and Systems, 1988, 96, pp. 201–209.

5. Buckley J. J., Feuring J. *Fuzzy Differential Equations* // Fuzzy Sets and Systems, 2000, 110, pp. 43–54.

6. Mochalov I. A., Hrisat M. S., Shihab Eddin M. Ya. *Nechetkie differencialnye uravneniya v zadachah upravleniya* [Fuzzy Differantial Equations in Problems of Control]. Part 1, Informacionnye tehnologii [Information Technologies], 2015, Vol. 21,

3, p. 171–178 (in Russian).

7. Mochalov I. A., Hrisat M. S., Shihab Eddin M. Ya. *Nechetkie differencialnye uravneniya v zadachah upravleniya* [Fuzzy Differantial Equations in Problems of Control]. Part 2, Informacionnye tehnologii [Information Technologies], 2015, Vol. 21, 4. pp. 243–250 (in Russian).

8. Gorban I. I. *Fenomen Statisticheskoy Ustoychivosti* [Phenomena of Statistical Stability]. Kiev, Naukova Dumka, 2014, 370 p. (in Russian).

9. Alefeld G., Herzberger Ju. *Einführung in die Intervallrechnung* [Introduction to the Interval Computations]. Zürich, B.I.-Wissenschaftsverlag, 1974, 398 p. (in German).

10. Levin V. I. *Intervalnaya proizvodnaya i nachala nedeterministskogo differencialnogo ischislehiya* [Interval Derivative and Basis of Nondeterministic Differential Calculus], Ontologiya proektirovanija [Ontology of Design], 2013, 4, pp. 72–84 (in Russian).

11. Levin V. I. *Intervalno-differencialnoye ischislenie i nekotorye ego primeneniya* [Interval Differential Calculus and Some Its Applications], Informacionnye technologii [Information Technologies], 2014, 7, pp. 3–10 (in Russian).

12. Levin V. I. *Differencialnoye ischisleniye dlya intervalno-opredelennyh funkciy* [Differential Calculus for Interval-Determibed Functions], Evristicheskie algoritmy i raspredelennye vychisleniya [Heuristic Algorithms and Distributed Computations], 2015, Vol. 2, 2, pp. 8–25 (in Russian).

Информация об авторе

Левин Виталий Ильич – доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor. Заслуженный деятель науки РФ. Пензенский государственный технологический университет. Область научных интересов: логика; математическое моделирование в технике, экономике, социологии, истории; принятие решений; оптимизация; теория автоматов; теория надежности; распознавание; история науки; проблемы образования. E-mail: vilevin@mail.ru

Адрес: 440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11.

Models of Derivative and Their Application to Description of Incompletely Defined Systems

V. I. Levin

Relevance. *The problem of the adequacy of the classic differential calculus is considered in this article. Disadvantages of this calculation that prevent use it for simulation of real systems and processes in the uncertainty are discussed: inability to use classic concept of the derivative in the event of an incomplete initial functions; different functional accessory of classical derivatives of various orders, despite similar interpretation as the speed of various orders; nonexistence of derivative in individual points of functions that simulate the real movement despite the existence of apparent rate at any point of each such process; the absence of a uniform formula for derivatives of various orders, despite a similar interpretation of all such derivatives as speeds of various orders; the inconsistency of derivative to physicality in relation to dimension.* ***The purpose.*** *In this regard, the solution of problem of possibility of generalizing the classical differential calculus to circumvent all these shortcomings is discussed.* ***Method.*** *It is shown how transition from classical derivative, which is introduced for exactly determined functions to interval derivative, which*

is incorporated to functions given up interval of possible values, allows to eliminate all the above drawbacks. ***Novelty****. Specifically, it is shown that introduction of the concept of interval derivative allows you to build differential calculus for not fully certain original functions. It also allows you to standardize functional accessory derivatives of any order. Moreover, it provides existence of derivative of continuous interval functions.* ***Result.*** *Also, new calculus contains a single formula for derivatives of all orders and corresponds to the requirement of physicality in relation of dimension. Algorithm of construction interval models of dynamic incomplete defined systems using interval derivatives is given. An example of building of such model is presented.*

Keywords: *interval, interval function, function calculus, interval derivative, interval computing, nondeterministic differential calculus.*

Information about Author

Vitaly Ilyich Levin – the Doctor of Engineering Sciences, Professor, PhD, Full Professor. Honored worker of science of the Russian Federation. Penza State Technological University. Field of Research: logic; mathematical modeling in technics, economy, sociology, history; decision-making; optimization; automata theory; theory of reliability; history of science; problems of education. E-mail: vilevin@mail.ru

Address: 440039, Russia, Penza, pr. Baydukova / Gagarin st., 1a/11.

УДК 629.7

Использование космического пространства в военных целях: современное состояние и перспективы развития систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения

Макаренко С. И.

Актуальность. *Ведущие технологически развитые страны, имеющие выход в космос, активно разрабатывают концепции использования космоса в военных целях. В основном эти концепции относятся к развитию систем информационно-космического обеспечения, которые решают задачи разведки, связи и навигации. Кроме того, активизировались работы по созданию средств вооружения, действующих в космосе и через космос. Прежде всего, это создание противоспутникового оружия и систем перехвата межконтинентальных баллистических ракет на заатмосферном участке их траектории. При этом можно констатировать, что широкое применение систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения в космосе приведет к коренному пересмотру основных принципов ведения войны, а именно – обеспечит глобальность военного присутствия и нанесения ударов в любой точке Земли. В связи с этим, актуальным является анализ современного состояния и перспектив использования космоса в военных целях.* ***Целью работы*** *является анализ перспектив использования космического пространства в военных целях, а также современного состояния и перспектив развития систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения, действующих в космосе и через космос. Для анализа были использованы только открытые источники, а в качестве примеров конкретных космических систем использовались открытые данные о соответствующих образцах вооружения, используемых в вооруженных силах США, как наиболее технологически развитого государства.* ***Результаты и их новизна.*** *Элементом новизны работы являются выявленные общие тенденции развития концептуальных основ ведения военных действий в космосе и через космос. Также к элементам новизны стоит отнести выявленные частные тенденции развития систем информационно-космического обеспечения, а именно космических систем разведки, обнаружения стартов ракет и ядерных взрывов, глобальной навигации, топогеодезического обеспечения, систем метеорологии и контроля окружающей среды, связи и ретрансляции данных. При рассмотрении этих космических систем особое внимание уделено анализу космических систем разведки, а также системам спутниковой связи и ретрансляции данных. Выявлены перспективные направления построения информационно-космических систем на основе малых космических аппаратов. Кроме этого, к элементам новизны стоит отнести выявленные частные тенденции развития средств вооружения в космической сфере, а именно – противоспутниковых ракет, лазерного и пучкового противоспутникового оружия, воздушно-космических самолетов, космических аппаратов инспекторов и перехватчиков, космических систем радиоэлектронной борьбы и мониторинга космического пространства, а также использование высотных ядерных взрывов в качестве средств противоспутниковой борьбы.* ***Практическая значимость.*** *Представленный анализ будет полезен техническим специалистам для обоснования новых технологических решений в области космических систем военного и двойного назначения, а также военным специалистам для обоснования новых форм и способов вооруженной борьбы с учетом перспектив развития космических систем и средств. Кроме того, данный анализ будет полезен научным работникам и соискателям, ведущим научные исследования, для прикладного обоснования целесообразности предлагаемых ими улучшений военно-технических систем космического базирования, а также обоснования защиты от подобных систем противника.*

Ключевые слова: *космическая система, система космической разведки, система обнаружения старта ракет, космическая навигационная система, космическая топогеодезическая система, космическая система метеорологии и контроля окружающей среды, спутниковая система связи, военная операция, космическое пространство, космическое оружие, противоспутниковые ракеты, лазерное оружие, пучковое оружие, воздушно-космические самолеты, аппараты-инспекторы, средства радиоэлектронной борьбы.*

Введение

Эффектом информационно-технической революции конца XX века является создание новых военных технологий, в результате чего на их основе создаются и в больших количествах поступают в вооруженные силы (ВС) не просто новое оружие, а целые боевые системы, объединяющие средства поражения, радиоэлектронной борьбы (РЭБ), управления, связи, разведки, наблюдения и навигации. По оценкам военных специалистов основой победы в современной войне является массированное использование высокоточного оружия (ВТО), успешное применение которого обеспечивается его интеграцией с системами информационно-космического обеспечения, решающими задачи разведки, связи и навигации. В последнее время наблюдается неуклонный рост значимости космических систем и средств при решении задач информационного обеспечения военных действий. Кроме того, с выходом научно-технического прогресса на новый виток развития в ведущих технологически-развитых странах активизировались работы по созданию средств вооружения, действующих в космосе и через космос. Прежде всего, это работы в области создания противоспутникового оружия и систем перехвата межконтинентальных баллистических ракет (МБР) на заатмосферном участке траектории их полета.

В связи с вышеуказанным, актуальным является анализ перспектив использования космического пространства в военных целях, а также современного состояния и перспектив развития систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения, действующих в космосе и через космос.

Учитывая специфичность рассматриваемой тематики, и ограниченность работ в этой области на русском языке, в основу представленного анализа были положены материалы открытых англоязычных изданий [1-9], дополненный материалом открытых работ отечественных специалистов [10-13]. При этом, в качестве примеров конкретных космических систем использовались данные о соответствующих образцах вооружения, используемых в ВС США, как наиболее технологически развитого государства, которые доступны из открытых материалов военно-научных и технических изданий. Несмотря на то, что в статье в основном рассмотрены средства ВС США, схожие исследования по использованию оружия в космосе ведутся и в других странах, обладающих развитой космической инфраструктурой. В связи с этим, анализ направлений развития космических систем, а также их тактико-технических характеристик (ТТХ) позволяет составить достаточно полную картину возможностей и тенденций развития космических систем военного назначения в мировом масштабе.

Ввиду объемности материала, статья была декомпозирована на следующие подпункты.

1. Общая характеристика тенденций развития систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения в космической сфере.

2. Системы информационно-космического обеспечения.
   2.1. Космические системы ведения разведки:
      - системы оптико-электронной разведки;
      - системы радиолокационной разведки;
      - системы радиотехнической разведки;
      - системы радио- и радиотехнической разведки.
   2.2. Система обнаружения стартов МБР и ядерных взрывов.
   2.3. Космическая навигационная система.
   2.4. Космическая топогеодезическая система.
   2.5. Космическая система метеорологии и контроля окружающей среды.
   2.6. Спутниковые системы связи и ретрансляции данных:
      - системы спутниковой связи стратегического звена управления;
      - системы стратегической и тактической связи;
      - системы тактической узкополосной связи;
      - система тактической узкополосной связи на высокоэллиптических орбитах;
      - системы ретрансляции данных.
   2.7. Перспективные космические системы на основе малых космических аппаратов (КА).
3. Перспективы проведения военных операций в космической сфере.
4. Средства вооружения в космической сфере.
   4.1. Противоспутниковые ракеты.
   4.2. Лазерные противоспутниковые системы.
   4.3. Ускорительные (пучковые) противоспутниковые системы.
   4.4. Воздушно-космические самолеты.
   4.5. КА инспекторы и перехватчики.
   4.6. Космическая система РЭБ и мониторинга космического пространства.
   4.7. Использование высотных ядерных взрывов.

Автор надеется, что представленный анализ будет полезен техническим специалистам для обоснования новых технологических решений в области космических систем военного и двойного назначения, а также военным специалистам для обоснования новых форм и способов вооруженной борьбы с учетом перспектив развития космических систем и средств. Кроме того, данный анализ будет полезен научным работникам и соискателям, ведущим научные исследования, для прикладного обоснования целесообразности предлагаемых ими улучшений военно-технических систем космического базирования, а также обоснования защиты от подобных систем противника.

1 Общая характеристика тенденций развития систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения в космической сфере

Локальные войны последних десятилетий наглядно продемонстрировали преимущество, предоставляемое космическими средствами на поле боя, независимо от того, ведутся ли боевые действия в пустыне, в горных районах

или в крупных городах. Космические средства предоставляли вооруженным силам возможность применять ударные системы ВТО с высокой точностью и при минимальных сопутствующих разрушениях (рис. 1). В связи с этим, ведущие технически развитые государства, прежде всего США, рассматривают космические средства как важнейший элемент обеспечения боевых действий и применения современного оружия, в том числе и ВТО.

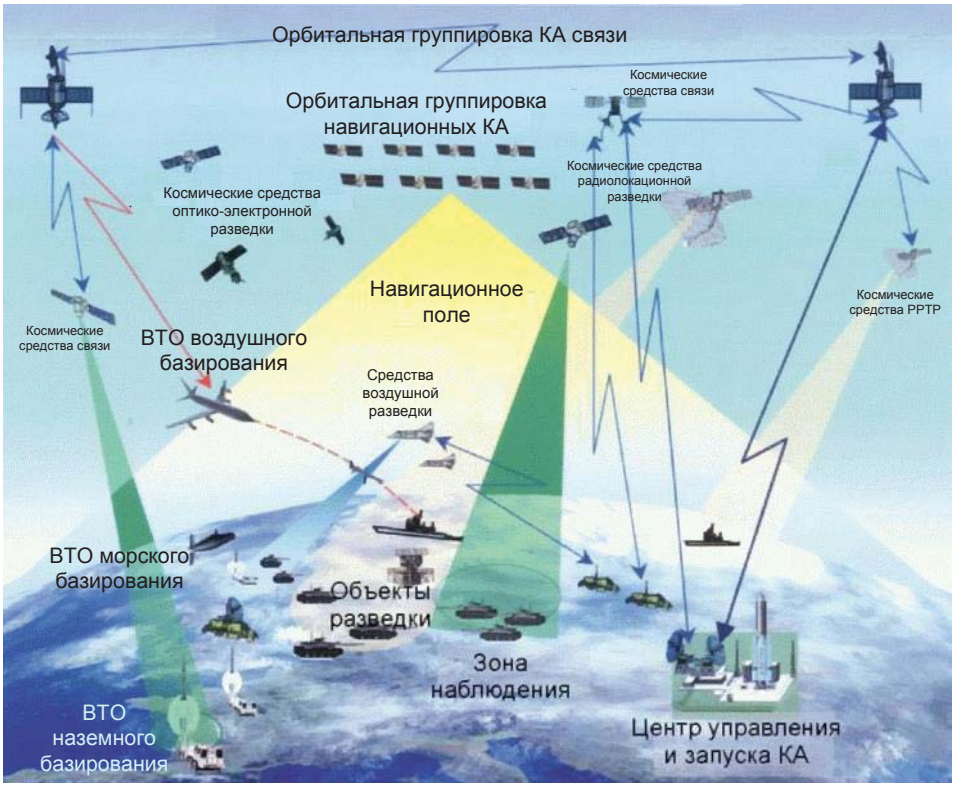


Рис. 1. Космическое обеспечение применения средств ВТО

Активное использование космического пространства в военных целях может обеспечить [10]:

- контроль использования другими странами космического пространства, а также суши, акваторий морей и океанов Земли;
- получение полной и достоверной информации о противнике в масштабе времени, близком к реальному, и оперативное доведение ее до всех органов управления и элементов войск (сил);
- развертывание сил и систем ВТО, способствующих достижению военных целей с минимальными потерями и минимальным ущербом для гражданского населения и окружающей среды;
- защиту национальной территории и развернутых группировок войск от оружия массового поражения и ударов средств воздушно-космического нападения, в первую очередь баллистических и крылатых ракет (рис. 2 и 3).

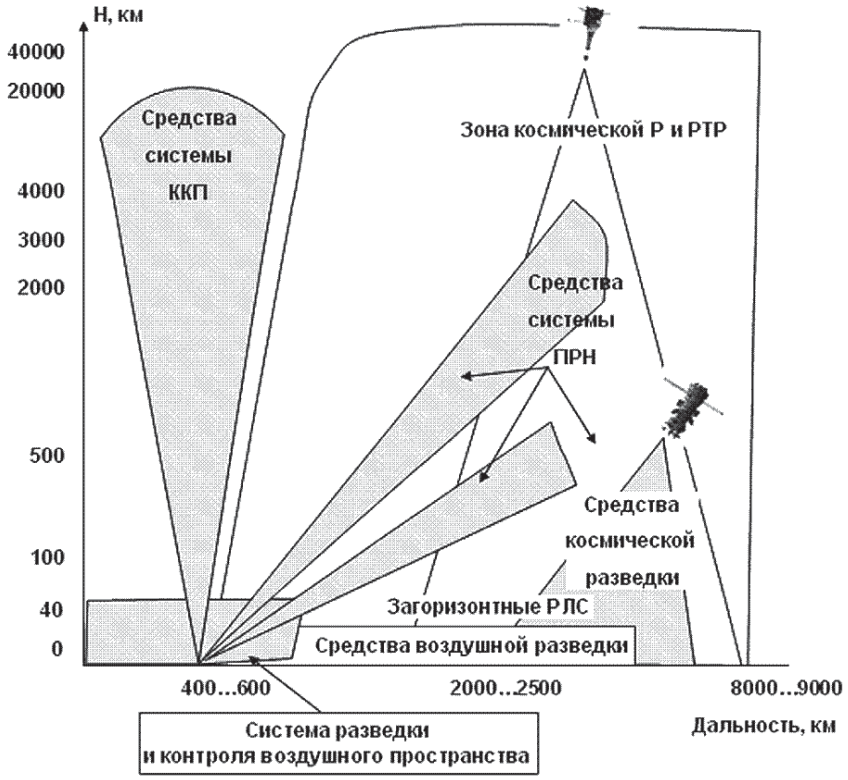


Рис. 2. Зоны обнаружения воздушно-космических целей различными системами и средствами разведки и контроля [10]

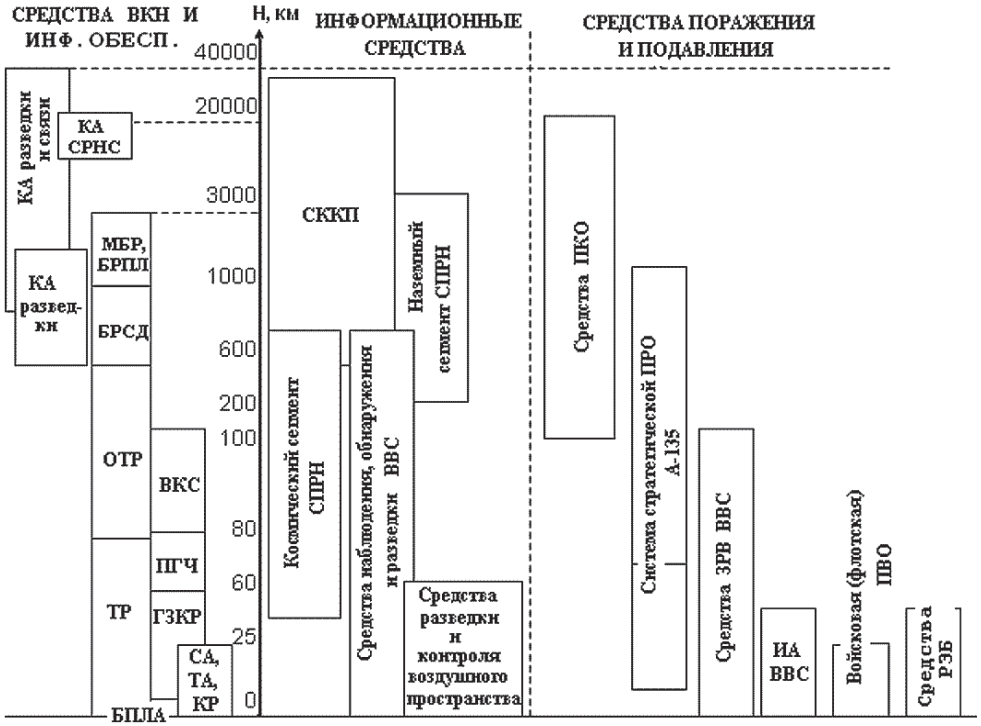


Рис. 3. Системы и средства, привлекаемые к решению задач обнаружения и борьбы с воздушными и космическими средствами противника [10]

На примере руководящих документов и практики применения космических сил и средств ВС США рассмотрим современное состояние и

перспективы развития использования космического пространства в военных целях.

Операции космических сил по обеспечению боевых действий в космосе и других средах, в соответствии с принятой в США терминологией, подразделяются на следующие группы (рис. 4) [11]:

- разведывательные;
- навигационные;
- обеспечения связи;
- предупреждения о ракетном нападении;
- контроля воздушно-космического пространства.

Рис. 4. Классификация операций космических сил по обеспечению боевых действий [11]

Рассмотрим более подробно роль космических систем в процессах добывания, сбора, обработки и передачи информации в рамках оперативного обеспечения войск (сил) по информации из работы [12].

Разведка как вид оперативного обеспечения классифицируется по ряду признаков, один из которых – способ размещения добывающих средств. В соответствии с этим признаком, различают наземную, воздушную, морскую и космическую разведки.

Космическая разведка, в свою очередь, подразделяется на:

- фотографическую;
- оптико-электронную;
- радио- и радиотехническую;
- радиолокационную.

В качестве космических средств разведки можно рассматривать также орбитальные группировки КА и соответствующие наземные комплексы системы предупреждения о ракетном нападении.

Топогеодезическое обеспечение – комплекс мероприятий по подготовке и доведению до штабов и войск топогеодезических данных, необходимых для успешного решения поставленных задач. Включает в себя подготовку и доведение до войск исходных астрономо-геодезических и гравиметрических данных, создание, периодическое обновление, накопление запасов и обеспечение штабов и войск картами и фотодокументами местности, а также топографическую разведку. Здесь, так же как и в случае с разведкой, следует различать наземные, морские, воздушные и космические средства. При этом в последнее время, именно космические системы топогеодезического обеспечения являются основным поставщиком данных для формирования карт и фотоснимков местности, а также базовым средством топографической разведки.

Навигационное обеспечение – обеспечение потребителей данными о собственном местоположении на поверхности Земли, в воздушном и космическом пространстве. В настоящее время спутниковые навигационные радиосистемы (СРНС) являются не только основным средством навигационного обеспечения войск, но и являются составной важной частью многих систем вооружения и, прежде всего, – ВТО.

Гидрометеорологическое обеспечение – комплекс мероприятий по сбору, обработке и доведению до войск и сил флота информации о гидрологических и метеорологических условиях в районах боевых действий. В интересах данного вида обеспечения могут использоваться как отдельные орбитальные группировки, так и КА разведки и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), например, в целях разведки ледовой обстановки и др.

Оперативная маскировка – комплекс взаимосвязанных организационных военно-технических направленных на достижение внезапности действий, повышение скрытности, живучести и сохранение боеспособности сил (войск) и военных объектов в любых условиях обстановки. По сути дела, маскировка есть предоставление или навязывание противнику ложной информации. Способами выполнения задач оперативной маскировки являются скрытие, имитация, демонстративные действия и дезинформация.

Космические средства разведки позволяют получать собственные (а также подтверждать полученные с помощью других средств) данные,

свидетельствующие о выполнении либо невыполнении требований по скрытности своими войсками (силами). Кроме того, космические средства связи в полной мере могут быть использованы для дезинформации противника.

Радиоэлектронная борьба – представляет собой совокупность согласованных действий и мероприятий по радиоэлектронному поражению объектов противника, радиоэлектронной защите своих радиоэлектронных объектов и радиоэлектронно-информационному обеспечению. Выявление радиоэлектронных объектов противника и контроль функционирования своих радиоэлектронных средств из космоса, а также вскрытие радиоэлектронной обстановки в интересах наземных и воздушных средств РЭБ достигается ведением радиоэлектронной разведки с помощью КА радиолокационной, радио- и радиотехнической разведки.

Принятие на вооружение средств радиоэлектронного подавления (РЭП) космического базирования позволит обеспечить возможности глобального радиоэлектронного подавления любых наземных, морских, воздушных и орбитальных объектов из космоса, и, следовательно, нарушить функционирование информационно-технических систем (управления, связи, навигации, разведки и др.) в состав которых входят подавляемые объекты [34].

Инженерное обеспечение – комплекс инженерных мероприятий по созданию условий, необходимых для своевременного и скрытного развертывания сил (войск), обеспечению защищенности сил (войск) и объектов от воздействия средств поражения противника, ликвидации последствий его огневых ударов, затруднению действий противника, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Космические средства видовой разведки, равно как и КА ДЗЗ, могут быть задействованы при выполнении задач инженерной разведки мероприятий, проводимых противником, местности, акваторий, водных участков земной поверхности и объектов системы базирования войск (сил), для вскрытия и освещения процесса подготовки театра военных действий (ТВД), выявления последствий воздействия противника и чрезвычайных ситуаций различного характера, а также для оперативного контроля состояния инженерных объектов.

Контроль из космоса результатов ядерных ударов позволит оперативно получать информацию о ядерных взрывах с точностью, достаточной для определения факта поражения цели. Указанная информация поможет более обоснованно принимать решения с учетом складывающейся обстановки и нанесении при необходимости повторных ядерных ударов своими стратегическими ядерными силами.

Космические аппараты связи также могут быть использованы в качестве основных, либо дополнительных средств обмена информацией на необорудованных ТВД, а также при выходе из строя штатных средств управления и связи, размещенных на пунктах управления (ПУ) и/или командных пунктах (КП).

Радиационная, химическая и биологическая защита (РХБЗ) представляет собой совокупность согласованных действий и мероприятий сил (войск), направленных на обеспечение выполнения боевых задач в условиях

применения противником оружия массового поражения, высокоточного и других видов оружия, а также крупномасштабных разрушений (аварий) радиационно, химически и биологически опасных объектов.

Для выполнения ряда мероприятий РХБЗ, а именно засечки ядерных взрывов, сбора данных о радиационной обстановке, оповещения своих сил о применении противником ядерного оружия, а также оперативного предоставления соответствующей информации органам военного и государственного управления, применяются космические системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН), разведки и связи. Размещение на КА датчиков, регистрирующих изменение радиационного фона, позволит расширить спектр средств, применяемых для засечки ядерных взрывов и тем самым повысить полноту и достоверность выявления радиационной обстановки.

Для выполнения ряда задач *морально-психологического обеспечения*, а также задач, решаемых в ходе психологических операций возможно широкое применение систем спутникового телерадиовещания. Например, для проведения психологических операций в ходе войны в Югославии в 1999 г. и в ходе войны в зоне Персидского залива в 2003 г., вооруженными силами США и НАТО широко использовались космические системы телевидения и радиовещания Intelsat и Eutelsat, имеющие в своем составе КА на геостационарной орбите.

Возможности космических систем позволяют также применять их и для решения задач, присущих специфическим видам оперативного (боевого) обеспечения отдельных родов войск (сил). Примером могут служить задачи поисково-спасательного обеспечения в ВВС и ВМС.

Представленные выше виды оперативного обеспечения с учетом приоритета использования их информационной составляющей, а также применения для этой цели космических средств, правомерно рассматривать в качестве составных частей информационно-космического обеспечения [12].

Информационно-космическое обеспечение – совокупность действий (мероприятий), выполняемых как самостоятельно, так и во взаимодействии с потребителями, а также другими средствами видов ВС и средствами двойного назначения по [12]:

- поддержанию устойчивого функционирования каналов космической связи;
- формированию глобального навигационного поля;
- созданию на борту КА изображений (в виде записи радиоголограммы, записи изображения с матрицы оптико-электронных средств и др.)
- доведению до приемных пунктов наземных специальных комплексов специальных материалов и сигналов с требуемым качеством;
- контролю фоноцелевой обстановки и космической деятельности иностранных государств в стратегической космической зоне;
- контролю пусков ракет;

- измерению, записи и передаче значений параметров космического пространства (радиационной обстановки, магнитного поля и др.) в интересах информационного обеспечения применения ВС.

В некоторых случаях информационно-космическое обеспечение целесообразно рассматривать как составную часть более широкого понятия *космического обеспечения* (или *военно-космического обеспечения*) [12].

При этом под космическим обеспечением предлагается понимать комплекс мероприятий, проводимых ВС и оборонно-промышленным комплексом государства, в целях [12]:

- создания, развертывания, наращивания и восполнения орбитальных группировок космических сил и средств военного и двойного назначения;
- предоставления гарантированного доступа космическим и иным средствам (например, гиперзвуковым летательным аппаратам, суборбитальным средствам, баллистическим ракетам и др.) в стратегическую космическую зону;
- использования космического пространства для решения задач военного характера (как обеспечивающего, так и боевого);
- контроля космического пространства (а в перспективе – разведки космической обстановки и выдачи целеуказаний);
- осуществления информационно-космического обеспечения применения войск (сил).

Представленное выше определение предполагает существенное возрастание роли новой сферы противоборства (в том числе и вооруженного) – космической сферы, а также диалектическую связь деятельности в этой сфере с традиционными сферами ведения войны [12].

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что эффективность выполнения стоящих перед ВС задач, как в мирное, так и в военное время радикально зависит от возможности добывать и доставлять потребителю (в оперативные штабы, управляющие КП и т.д.) требуемую информацию. Данная информация должна позволять оценить текущую политическую, военную, экономическую обстановку и состояние сред пространства во всех интересующих командование районах. Такие задачи по добыванию, обработке и доставке информации с высокой оперативностью способны успешно решать только космические системы [12].

2 Системы информационно-космического обеспечения

Рассмотрим возможности и краткие ТТХ систем информационно-космического обеспечения на примере средств и систем, используемых в ВС США.

Развернутая в настоящее время орбитальная группировка КА военного назначения США, а также их функции представлены в таблице 1, по данным из работ [11, 13, 14].

Таблица 1 – Развернутая в настоящее время орбитальная группировка КА военного назначения США, а также их функции [11, 13, 14]

Системы	Количество и тип КА
Разведывательные системы	
Видовой оптоэлектронной разведки	2 KH-11, TacSat-3, ORS, KestrelEye
Видовой радиолокационной разведки	3 Lacrosse, 4 Ferret-D, 20 SSU, Shale, Vortex,
Радиотехнической разведки	Ferret-D, SSU, SSU-2, SSU-3, SSU-4
Радио- и радиотехнической разведки	Vortex, Mercury Magnum, Orion, Mentor, Intruder, Jumpseat-2, Jumpseat-3, TacSat-4
Космическая система обнаружения пусков баллистических ракет IMEWS (Irish Maternity Early Warning System)	8 IMEWS (из них 5 находятся в оперативном использовании)
Система обнаружения ядерных взрывов	В качестве космического компонента используются установленные на борту спутников различного назначения (например, NAVSTAR) специальные комплексы датчиков и аппаратуры передачи данных
Космическая навигационная система	
Космическая радионавигационная система NAVSTAR	В состав космического компонента входят 29 КА (из них 24 в оперативном использовании)
Топогеодезическая, метеорологическая и контроля окружающей среды системы	
Система контроля окружающей среды	В состав космической группировки входят 6 КА Block-5D, 6 КА NOAA, 4 КА GOES
Топогеодезическая система Министерства обороны	Развернута на базе КА GOES-3, LAGEOS-1
Океанографическая система	Развернута на базе КА OrbView-2, SiStar. Также задействуются метеорологические КА
Система разведки природных ресурсов Земли	Развернута на базе 3 КА Landsat-7
Спутниковые системы связи	
Система стратегической связи министерства обороны	DSCS-3, WGS
Объединенная система стратегической и тактической связи	MilStar-1, MilStar-2, AEHF
Система связи ВВС (AFSatCom)	Использует каналы связи через КА типов FLTSATCOM, UFO, MilStar, SDS, DSCS, WGS
Система тактической узкополосной связи ВМС, ВВС и СВ	UFO, MUOS, TacSat-4
Система передачи данных SDS	7 КА SDS
Система слежения и ретрансляции данных TDRSS	7 КА TDRS
Коммерческие космические системы связи	Геостационарные КА типов SATCOM, GStar, Telexy, PanAm Sat, Aurora, Iridium и др. (часть каналов в ретрансляторах арендуется ВС США у различных американских фирм)
Системы контроля космического и воздушного пространства	
Система контроля космического пространства ВВС Spacetrack. Система контроля космического пространства ВМС SPASUR. Радиолокационная станция контроля космического пространства СВ ALTAIR. Вспомогательные средства.	
Контрольно-измерительные комплексы и управление космическими средствами	
Контрольно-измерительные комплексы в составе ВВС (обеспечивают управление 80% КА), ВМС, СВ. Национального управления США по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) и Национального управления по океанографии и метеорологии (NOAA).	

Далее более подробно представлены отдельные системы информационно-космического обеспечения в соответствии с их функциональным предназначением.

2.1 Космические системы ведения разведки

Космические разведывательные системы используются для слежения за повседневной деятельностью и районами сосредоточения ВС потенциального противника, районами военных конфликтов, выявления и уточнения характеристик объектов критической инфраструктуры, наблюдения за их состоянием и особенностями функционирования, для вскрытия фактов использования радиоэлектронных средств (РЭС) и выявления по ним местоположения войск и сил. Космические разведывательные системы является основой информационного обеспечения для систем ВТО.

Анализ работ [15-23] показал, что в США разведка из космоса ведется следующими системами:

- системы оптико-электронной разведки (КА КН-11, TacSat-3, ORS);
- система радиолокационной разведки (КА Lacrosse);
- системы радиотехнической разведки (КА Ferret, SSU, SSU-2, SSU-3, SSU-4);
- системы радио- и радиотехнической разведки (КА типов Vortex, Mercury Magnum, Orion, Mentor, Intruder, Jumpseat-2, Jumpseat-3, TacSat-4).

Система оптико-электронной разведки KeyHole развернута на высотах 298-443 км на основе КА КН-11, которые оснащены длиннофокусными оптическими телескопами и фотоприемниками, позволяющими вести разведку днем в видимом диапазоне волн (с получением стереоизображений), а также ночью в ИК-диапазоне. Оптическая система КА КН-11 обеспечивает беспропускной просмотр всей земной поверхности в течение суток в полосе обзора 1250-3600 км с разрешающей способностью до 0,15 м в панхроматическом режиме [22]. В составе орбитальной группировки KeyHole входит 2-4 КА КН-11 [13].

Совместно с системой KeyHole для оптико-электронной разведки используются КА TacSat-3 и ORS (Operationally Responsive Space). В 2013 году в интересах наращивания возможностей орбитальной группировки оптико-электронной разведки был запущен КА Kestrel Eye [22].

КА TacSat-3 оснащен гиперспектральной оптико-электронной камерой для съемки в видимом, а также в ИК-диапазоне. Сброс полученных изображений осуществляется по радиоканалам потребителям на ТВД и на подвижные наземные станции. Дополнительно этот КА оснащен оборудованием в интересах ВМС для сбора данных с океанских буев, наземных датчиков и кораблей. КА ORS производит съемку в панхроматическом и многоспектральном режиме с разрешением лучше 1 м. КА Kestrel Eye может делать снимки с разрешением 1,5 м в панхроматическом режиме. В случае дальнейшей востребованности данного аппарата в планах США вывести на орбиту около 30 таких КА [15, 22].

Дополнительно к системам военного назначения США оптико-электронная разведка из космоса также ведется с помощью КА двойного назначения, таких как: WorldView, GeoEye, LandSat. Аппаратура этих КА позволяет обеспечить получение панхроматических (с разрешением 0,4-0,3 м) и многоспектральных (1,6-1,8 м) изображений [15-18, 22].

В рамках дальнейшего развития системы оптико-электронной разведки США планируется создание системы космической оптико-электронной разведки SEE ME (Space Enabled Effects for Military Engagements). Основным предназначением данной системы станет разведывательное обеспечение подразделений ВС США, действующих на ТВД и в зонах вооруженных конфликтов. Предположительно, орбитальная группировка будет насчитывать 24 КА, которые будут развернуты после 2020 года на низких орбитах высотой от 200 до 350 км. Система SEE ME позволит вести непрерывный мониторинг стратегически важных регионов и обеспечивать ВС США достоверными разведданными практически в любой точке мира в срок не более 90 мин [23].

Кроме того, в США ведется разработка КА оптико-электронной разведки на геостационарной орбите. Планируется разработать КА с диаметром мембранно-оптической линзы до 20 м, который будет передавать видеоизображения в масштабе времени, близком к реальному, с линейным разрешением на местности не более 1 м, при этом ширина полосы съемки составит не менее 10 км. Размещение на геостационарной орбите позволит одному КА охватить 1/3 поверхности Земли [23].

Система радиолокационной разведки функционирует на основе группировки КА Lacrosse, развернутой на высоте 680 км. На данных КА устанавливаются однопозиционные многолучевые РЛС с синтезированной апертурой в сантиметровом диапазоне и однопозиционные одно-лучевые РЛС бокового обзора с синтезированной апертурой в дециметровом диапазоне. Это обеспечивает наблюдение в радиодиапазоне в полосе обзора 4000 км с разрешающей способностью 1-6 м. Максимальная разрешающая способность бортовой аппаратуры КА Lacrosse – 0,3-0,9 м. Данные с КА Lacrosse передаются по радиоканалам в масштабе времени, близком к реальному, через КА-ретрансляторы SDS и TDRS в центр сбора и обработки разведывательной информации на территории США [20, 21].

В состав орбитальной группировки системы радиолокационной разведки входят 2-4 КА разведки Lacrosse, 3 КА-ретранслятора SDS и 3-4 КА-ретранслятора TDRS [13].

Основной тенденцией развития КА радиолокационной разведки является расширение возможностей бортовой аппаратуры КА, главным образом путем реализации многоспектральной оптико-электронной съемки и режима слежения за движущимися целями при радиолокационной съемке. Одним из основных направлений совершенствования КА является проведение предварительной обработки получаемых данных на борту КА в интересах повышения качества получаемых изображений и снижения объема данных для передачи по радиоканалу [13].

Система космической радиотехнической разведки построена на основе КА Ferret-D, SSU и SSU-2.

КА Ferret-D позволяет вести разведку РЭС в диапазоне частот от 30 МГц до 80 ГГц с точностью определения координат 5-10 км в полосе сканирования шириной около 5800 км. Данные КА обеспечивают местопределение и возможность вскрытия режимов работы РЭС. В составе орбитальной группировки системы радиотехнической разведки используются не менее 2 активных и 1-2 резервных КА Ferret-D. Система из 2-х КА Ferret-D обеспечивает одновременное наблюдения района разведки на средних широтах с различных ракурсов и с минимальным интервалом повторной разведки экваториального района 5,5 ч. Такое же время требуется для осуществления обзора всей поверхности Земли [13].

Система морской радиотехнической разведки NOSS (Naval Ocean Surveillance System) на основе КА SSU-1, SSU-2 и Intruder предназначена для обнаружения, опознавания, определения местоположения и курса движения кораблей и подводных лодок по излучению их РЭС. Орбитальное построение и возможности КА SSU-1 и SSU-2 обеспечивают обнаружение корабельных РЭС в диапазоне частот 50 МГц – 40 ГГц в полосе обзора около 7000 км и позволяют определять координаты кораблей и подводных лодок интерферометрическим методом с точностью до 1-5 км. Возможности орбитальной группировки позволяют производить беспропускной просмотр акватории Мирового океана за 1,5-2,5 ч [13, 14, 19, 20, 21].

В орбитальной группировке NOSS предусмотрено 3-6 групп КА SSU-1 и SSU-2 (по 3 КА в группе), развертываемых на высотах 830-1200 км [13].

Система космической радио- и радиотехнической разведки построена на основе КА Vortex, Mercury (в ряде источников указывается как Advanced Vortex), Magnum, Orion, Mentor (в ряде источников указывается как Advanced Orion). Данная система предназначена для перехвата информации наземных средств, а также переговоров по УКВ линиям связи в диапазоне частот от 45 МГц до 20 ГГц. Ее орбитальное построение позволяет вести разведку круглосуточно и непрерывно. Данные от спутников передаются через КА сбора и передачи данных SDS на наземные пункты приема информации. В дальнейшем планируется расширить возможности космической системы радио- и радиотехнической разведки с целью обеспечения перехвата сообщений в каналах правительственной и военной связи [13, 14]. Так, в 2011 году был запущен КА TacSat-4, одной из задач которого является перехват сообщений в УВЧ каналах правительственной и военной радиосвязи.

Система радио- и радиотехнической разведки на высокоэллиптических орбитах над северным полушарием на основе КА Jumpseat-2 и Jumpseat-3 обеспечивает обнаружение, определение местоположения РЭС и их характеристик, перехват переговоров по УКВ линиям связи в диапазоне от 50 МГц до 40 ГГц. В орбитальной группировке предусмотрено 5-6 КА [13, 14].

2.2 Система обнаружения стартов МБР и ядерных взрывов

Система обнаружения стартов МБР и ядерных взрывов предназначена для обнаружения стартов МБР противника и предупреждения о них, обнаружения ядерных взрывов на поверхности Земли, в атмосфере и в космическом пространстве. Орбитальная группировка состоит из 6-8 КА типа IMEWS (Integrated Missile Early Warning Satellite), IMEWS-2, а также КА SEWS. Оборудование этих КА работает в двух инфракрасных диапазонах, что позволяет более точно классифицировать запускаемые ракеты и определять параметры их движения. Это позволяет иметь по долготе глобальную зону обзора, по широте – от 83° с.ш. до 83° ю.ш. и время поступления информации на КП командования воздушно-космической обороны Северной Америки NORAD (North American Aerospace Defense Command) – 1-4 мин после обнаружения старта МБР спутниками системы. При этом максимальная ошибка определения координат старта МБР – около 3 км, а ошибка определения районов падения головных частей – до 1000 км. В настоящее время продолжаются работы по развертыванию перспективной системы обнаружения стартов МБР SBIRS взамен существующей [13, 14].

2.3 Космическая навигационная система

Космическая радионавигационная система NAVSTAR (NAVigation Satellites providing Time And Range) обеспечивает измерение расстояния, времени и определяет местоположение пользователей во всемирной системе координат WGS 84. Позволяет в любом месте Земли (исключая приполярные области), почти при любой погоде, а также в околоземном космическом пространстве определять местоположение и скорость объектов с точностью 1 м (в высокоточном режиме) и с точностью 5-25 м (в стандартном режиме) [13, 14, 24].

Система NAVSTAR использует КА GPS (Global Positioning System), которые транслируют сигнал из космоса, и все приёмники GPS используют этот сигнал для вычисления своего положения в пространстве по трём координатам в режиме реального времени. Космический сегмент NAVSTAR состоит из 32 КА на средней орбите Земли на высоте 20200 км с периодом обращения 11 ч 58 мин, с наклонением орбиты 55°. По состоянию на 1 июня 2014 г. используются по целевому назначению 29 КА, выведены на техобслуживание 2 КА. При этом 24 КА достаточно для обеспечения полной работоспособности системы в любой точке Земли [24].

КА GPS передают открытые для использования сигналы на частотах L1=1575,42 МГц и L2=1227,60 МГц (начиная с модификации КА GPS IIR-M), а модель КА GPS IIF будут передавать также на частоте L5=1176,45 МГц. Эти навигационные сигналы могут быть приняты и обработаны при помощи GPS-приёмника. Сигнал с кодом стандартной точности (C/A-код), передаваемый в диапазоне L1 (и сигнал L2C передаваемый в диапазоне L2 начиная с КА GPS IIR-M), распространяется без ограничений на использование. Первоначально используемое на частоте L1 искусственное загрубление сигнала (режим селективного доступа – S/A) с мая 2000 года отключено. А с 2007 года США

окончательно отказались от методики искусственного загрубления. Планируется с запуском КА GPS III введение нового сигнала L1C в диапазоне L1. Он будет иметь обратную совместимость с ранее используемым сигналом, улучшенные навигационные характеристики и высокую степень совместимости с сигналами L1 европейской спутниковой радионавигационной системой Galileo [24].

Для военных абонентов дополнительно доступны сигналы в диапазонах L1/L2, модулированные помехоустойчивым криптоустойчивым P(Y)-кодом. Начиная с КА GPS IIR-M введён в использование новый M-код, использование которого позволяет обеспечить функционирование системы в рамках концепции NavWar (Navigation War – навигационная война). Этот M-код передается на существующих частотах L1 и L2, обладает повышенной помехоустойчивостью, и его достаточно для определения точных координат (в случае с P-кодом было необходимо получение и кода C/A). Ещё одна особенность использования M-кода – возможность его передачи для конкретной области диаметром в несколько сотен километров, где мощность сигнала будет выше на 20 дБ. Сигнал с M-кодом уже используется в КА GPS IIR-M, а узконаправленный сигнал будет доступен только в КА GPS-III [24].

С началом использования в системе нового КА GPS IIF введена новая частота L5=1176,45 МГц. Этот сигнал называют safety of life (охрана жизни человека). Сигнал на частоте L5 мощнее на 3 дБ, чем гражданский сигнал, и имеет полосу пропускания в 10 раз шире. Сигнал можно использовать в критических ситуациях, связанных с угрозой для жизни человека [24].

Типичная точность современных GPS-приёмников в горизонтальной плоскости составляет примерно 6-8 м при хорошей видимости КА GPS и использовании алгоритмов коррекции. На территории США, Канады, Японии, КНР, Европейского Союза и Индии имеются станции WAAS, EGNOS, MSAS и т. д. передающие поправки для дифференциального режима, что позволяет снизить погрешность местоопределения до 1-2 м на территории этих стран. При использовании более сложных дифференциальных режимов точность определения координат можно довести до 10 см [24].

В ближайшее время система NAVSTAR прейдет на новые версии КА GPS IIF, которые обеспечат высокую точность местоопределения – с погрешностью не более 60-90 см, а также более высокую помехоустойчивость [24].

2.4 Космическая топогеодезическая система

Космическая топогеодезическая система США состоит из КА типа GEOS-3, LAGEOS-1 и LAGEOS-2, которые используются для уточнения данных о форме, размерах Земли и ее гравитационном поле, слежения за перемещением материков и отдельных участков земной поверхности. Кроме того, для получения топогеодезической информации используется КА GFO-1.

Бортовая аппаратура КА GEOS-3 и LAGEOS-1 позволяет измерять расстояние от спутника до земной поверхности с точностью до 0,2 м. Это

обеспечивает возможность определять абсолютную высоту поверхности Земли от ее центра с точностью до 5 м.

В дальнейшем данные космических топогеодезических систем используются для подготовки полетных заданий для крылатых ракет, осуществляющих полет с огибанием рельефа местности.

2.5 Космическая система метеорологии и контроля окружающей среды

Метеорологическую информацию и данные контроля окружающей среды вооруженные силы США получают от военной и коммерческих метеорологических систем на основе КА NOAA и GOES. Эти КА обеспечивают период связи с метеостанциями 5-15 мин., обзор одним КА поверхности Земли с полосой 2700-3000 км и разрешающей способностью 0,55-1,1 км, при этом определяется температурный профиль атмосферы до высоты 30-40 км от уровня моря с точностью $0,5^0$-$1,5^0$ С [13, 14].

2.6 Спутниковые системы связи и ретрансляции данных

Большое значение для обеспечения устойчивости и глобальности управления ВС США играет использование систем спутниковой связи. Основное их назначение – это предоставление органам управления на ТВД надёжных, защищённых каналов связи (передачи данных) с группировками вооружённых сил, соединениями, отдельными воинскими частями и каждым солдатом. Основными качествами спутниковой связи, которыми не обладают другие виды связи, являются глобальный охват и способность предоставить каналы связи из любой точки мира в очень короткое время.

Анализ работ [13, 14, 25, 26] показал, что военные спутниковые системы связи ВС США делятся на:

- стратегические;
- оперативные;
- тактические.

Кроме того, в условиях военных конфликтов для восполнения требуемой высокой пропускной способности космической связи ВС США активно используют ресурс коммерческих спутниковых систем связи Iridium, GlogalStar, Satcom, и др.

Система спутниковой связи стратегического звена управления DSCS (Defense Satellite Communication System) обеспечивает связью высшее военно-политическое руководство и органы вооруженных сил практически с любой воинской частью, размещенной вне территории США, или с авианосными соединениями, находящимися в акватории Мирового океана.

В составе системы используются 12-13 КА DSCS-3 и WGS (Wideband Global Satcom) на геостационарных орбитах, а также сеть наземных и корабельных станций ретрансляции. Геостационарное построение системы позволяет обеспечить глобальную связь на всей территории Земли, за исключением полярных районов. В настоящее время производится постепенный переход орбитальной группировки с КА DSCS на КА WGS [26].

Ретрансляционная аппаратура КА DSCS-3 обеспечивает связь по 3900 телефонным каналам в X-диапазоне: 7900-8400 МГц на приём, и 7250-7750 МГц – на передачу. Мощность транспондеров – 50 Вт. Полоса пропускания каналов – от 50 до 85 МГц. Для управления космическим аппаратом и передачи телеметрии используются S- и X-диапазоны. Кроме того, на КА установлен ретранслятор, работающий в диапазоне 225-400 МГц. Пропускная способность одного КА составляет от 100 до 900 Мбит/с. КА серии DSCS-3 обеспечены надежной защитой от ЭМИ ядерного взрыва и имеют на борту широкополосную, помехозащищенную аппаратуру связи. Кроме того, они оснащены защищенной системой телеметрии, слежения и передачи команд, которая рассчитана на быструю перестройку в случае постановки преднамеренных помех [25, 26].

Для увеличения общей пропускной способности и предоставления услуги глобального доступа к транспортной сети связи ВС США для зон Тихого, Атлантического, Индийского океанов и с континентальной части США с начала 2001 года ведется разработка новой широкополосной системы спутниковой связи WGS – Wideband Global Satcom. Основная задача этой системы состоит в увеличении пропускной способности каналов связи, для чего при разработке аппаратуры связи применялись следующие технические решения, предполагавшие [26]:

- развертывание дополнительных ретрансляторов миллиметрового диапазона;
- применение гибкого полосового фильтра и возможности коммутации каналов на борту для переноса в ретранслятор другого диапазона;
- одновременное использование частот за счет пространственного и поляризационного разделения каналов.

КА WGS оснащены бортовой аппаратурой, которая состоит из нескольких десятков ретрансляторов, работающих в диапазонах, которые используются в ВС США в настоящее время (8/7 ГГц, 40/20 ГГц), а также еще в нескольких военных и гражданских диапазонах (например, в Ка-диапазоне 30/20 ГГц для обеспечения работы службы глобального вещания), и обеспечивает суммарную пропускную способность 2,2 Гбит/с, что сравнимо с 10 КА типа DSCS-3 [26].

Антенный комплекс КА WGS может формировать 19 независимых зон покрытия и имеет в своем составе [25]:

- основную антенну X-диапазона (8/7 ГГц);
- передающие и приёмные фазированные антенные решётки, формирующие в X-диапазоне 8 зон покрытия;
- 8 узконаправленных и 2 зональные параболические приёмо-передающие антенны на карданном подвесе для формирования 10 лучей в K- и Ka-диапазонах (40/20 ГГц и 30/20 ГГц).

КА WGS оснащен комплектом аппаратуры обработки сигналов на борту и коммутацией каналов с переносом их в ретранслятор другого диапазона. Бортовая аппаратура КА обеспечивает передачу данных со скоростью 311 Мбит/с. Диапазон 30/20 ГГц предназначен для глобальной службы вещания

системы GBS (Global Broadcast System). Глобальная спутниковая система широкополосного вещания GBS осуществляет передачу видео, геодезической и картографической информации, а также метеоданных и других сведений для соединений и частей всех видов вооружённых сил США. Спутниковая приёмная аппаратура системы GBS работает в Ка-диапазоне (30 ГГц) и имеет 4 канала связи со скоростью передачи данных 24 Мбит/с. Передача данных по линии вниз осуществляется в Ка-диапазоне (20 ГГц). Пропускная способность космического аппарата WGS за счёт применения устройств коммутации каналов, средств частотного, пространственного и поляризационного разделения сигналов и при использовании аппаратуры GBS составляет от 2,4 Гбит/с до 3,6 Гбит/с [25].

Расчетный срок активного функционирования КА WGS – 10 лет [26].

Для управления целевой нагрузкой спутников WGS в вооружённых силах США создано 4 армейских Центра управления связью, каждый из которых может одновременно управлять приёмом-передачей данных через 3 КА. Центр управления орбитальной группировкой WGS один, его наземные средства работают в S-диапазоне [25].

После полной замены системы на КА WGS планируется, что орбитальная группировка будет включать в себя только 6 КА WGS [26].

Система спутниковой связи стратегического и оперативно-тактического звена управления ВС США построена на основе КА MilStar (Military Strategic and Tactical Relay) и КА AEHF (Advanced Extremely-High-Frequency). Система обеспечивает безопасную и помехоустойчивую связь в глобальном масштабе и характеризуется [13, 14]:

- высокой живучестью за счет использования защиты от лазерного и электромагнитного оружия;
- автономностью за счет использования бортовой навигационной системы и малой потребностью в управлении с Земли;
- безопасностью и помехозащищенностью за счет использования помехоустойчивого кодирования, шифрования информации, а также использования лазерных межспутникых линий связи.

В составе орбитальной группировки системы используются 5-6 КА MilStar-1, MilStar-2, AEHF.

С целью высокой защищённости линий связи в системе используется Ка-, К- и V-диапазоны частот. Эти диапазоны частот позволяют формировать узкие направленные лучи, которые, наряду с помехозащищённостью каналов, повышают и скрытность линий связи. Использование помехоустойчивых алгоритмов кодирования и обработки сигнала позволяет обеспечить высокую помехозащищённость каналов связи [25].

Через технические средства КА передаются разведданные и видеоинформация, осуществляется речевой обмен, а также проводятся видеоконференции.

КА MilStar-1 использовали радиодиапазоны 225-400 МГц, 20-44 ГГц. Эти КА оборудованы аппаратурой низкоскоростной передачи данных, которая обеспечивала организацию 192 низкоскоростных (от 75 до 2400 бит/с) канала

связи (44,5 ГГц – на линии вверх и 20,7 ГГц – на линии вниз) и систему перекрёстной связи друг с другом на частоте 60 ГГц. Кроме того, космические аппараты имеют четыре УВЧ канала связи (300 и 250 МГц) системы AFSATCOM (Air Force Satellite Communications) для ВВС США и один УВЧ канал вещания (300 и 250 МГц) – для ВМС США [25, 26].

КА следующего поколения MilStar-2 позволяют организовывать 192 низкоскоростных (от 75 до 2400 бит/с) и 32 среднескоростных (от 4,8 кбит/с до 1,544 Мбит/с) защищённых канала связи в расширенной полосе рабочих частот. Расширение полосы рабочих частот, необходимое для осуществления передачи данных в режиме высокой скорости, снижает стойкость к активным преднамеренным помехам, поэтому такой аппарат несет две фазированные антенные решетки (ФАР) с обнулением диаграммы направленности в направлении помехи и одну с разнесенными зонами обслуживания. Антенные системы способны определять направление активных преднамеренных помех и временно блокировать или обнулять диаграмму направленности в направлении помехи, сохраняя обычный режим работы в других направлениях без потери связи [25, 26].

Технические средства КА MilStar реализуют следующие функции [26]:

- бортовая обработка и коммутация сигналов;
- автономное управление бортовыми ресурсами;
- перекрёстное использование спектра (приём сигнала через одну антенну в одном диапазоне и ретрансляция его через другую антенну в другом диапазоне);
- использование межспутниковых линий связи.

С 2009 года система связи на основе КА MilStar постепенно заменяется на перспективную систему связи миллиметрового диапазона AEHF – Advanced Extremely-High-Frequency [26].

Идущая на замену системы MilStar космическая система AEHF обеспечивает более безопасную, устойчивую и высокоскоростную, по сравнению с системой MilStar, глобальную связь высшего политического и военного руководства США с командованием вооружённых сил, видов и родов войск, командирами стратегических и тактических группировок войск. Система AEHF применяется на ТВД, на суше, на море, в воздухе и в космосе в условиях мирного и военного времени, в том числе в условиях ядерной войны [25].

Система AEHF состоит из трёх сегментов: космического, пользовательского и наземного. Космический сегмент представляет собой орбитальную группировку из 4-6 КА на геостационарной орбите обеспечивающую глобальное покрытие. Отдельные КА AEHF в орбитальной группировке объединяются в единую систему за счет использования межспутниковых линий связи. Наземный сегмент управления системой предназначен для управления аппаратами на орбитах, контроля их оперативно-технического состояния и обеспечения планирования и управления системой связи. Этот сегмент строится по схеме многократного резервирования и включает комплекс стационарных и мобильных станций управления [25].

Бортовой ретрансляционный комплекс КА AEHF функционирует на частотах 44 ГГц (каналы «Земля-КА») и 20 ГГц (каналы «КА-Земля»), формируя более 50 каналов с суммарной пропускной способностью 430 Мбит/с. Оборудование КА AEHF обеспечивает совмещенные режимы каналообразования с низкоскоростными (от 75 до 2400 бит/с) и среднескоростными (от 4,8 кбит/с до 1,544 Мбит/с) каналами системы MilStar, а также поддерживает высокоскоростные каналы связи (до 8,2 Мбит/с). Скорость обмена данными в системе AEFH в 5 раз превышает скорость обмена в системе MilStar, что позволяет передавать пользователям целеуказания и видеоизображение высокого разрешения от БПЛА и КА разведки в реальном масштабе времени. Кроме того, КА AEHF имеют развитую и надёжную инфраструктуру межспутниковых линий (каждый КА связан с двумя соседними) в миллиметровом V-диапазоне частот (60 ГГц) [25, 26].

Антенный комплекс КА AEHF включает следующие элементы [25]:

- основная антенна;
- 2 передающие ФАР, формирующие до 24-х каналов с временным разделением для работы с портативными терминалами;
- приёмная антенна с ФАР;
- 6 параболических приёмо-передающих антенн на карданном подвесе для формирования региональных лучей;
- 2 остронаправленные антенны для тактической и стратегической связи;
- 2 антенны межспутниковых линий связи.

Каждый КА AEHF, используя сочетание ФАР и параболических антенн, формирует 194 региональных луча [25].

В КА AEHF реализована обработка сигналов на борту. Это обеспечивает высокую помехозащиту и оптимизацию использования бортовых ресурсов, системную гибкость по отношению к различным потребителям в видах вооружённых сил и другим пользователям, использующим терминалы наземного, морского и воздушного базирования [25].

Перспективная система AEHF после полноценного развёртывания должна стать одним из ключевых звеньев единой информационной системы GIG (Global Information Grid) для ВС США и системы управления государственных и военных организаций, а также основой космической системы обмена данными между субъектами боевых действий на суше и на море, в воздухе и в космосе [25].

Тактико-технические характеристики систем MilStar и AEHF представлены в таблице 2 [25].

Ранее в планах США также было создание трансформируемой системы спутниковой связи TSAT (Transformational Satellite Communications System) [26], которая должна была обеспечить еще более высокие показатели по пропускной способности. Однако после начального развёртывания системы WGS и запуска первого КА AEHF Министерство обороны США приняло решение о свёртывании работ по системе спутниковой связи TSAT [25].

Таблица 2 – Сравнительные ТТХ систем MilStar и AEHF [25]

Тип и объём информации	Время доставки информации потребителю		
	Система военной связи		
	MilStar 1	MilStar 2	AEHF
Целеуказание (1,1 Мбайт)	1 ч	6 с	1 с
Видеоизображение (24 Мбайт)	22 ч	2 мин	24 с
Радиолокационное изображение от БПЛА – (120 Мбайт)	110 ч	12 мин	2 мин
Радиолокационное изображение от КА ДЗЗ – (1 Гбайт)	880 ч	90 мин	17 мин
Подвижная связь	нет	нет	140 линий по 32 кбит/с

Система тактической узкополосной связи на основе КА UFO и MUOS (ранее – FLTSATCOM) создавалась ВМС США для обеспечения связи береговых центров с надводными и подводными объектами, авиацией флота и циркулярного оповещения сил флота по специальному каналу. В настоящее время система UFO (Ultra High Frequency Follow-On) является основной системой тактической мобильной связи вооружённых сил США в дециметровом диапазоне. Она широко используется Министерством обороны, Государственным департаментом, Президентом США и стратегическими командованиями для управления подразделениями и частями оперативно-тактического звена всех видов вооружённых сил, в частности, обеспечивая связью подводные лодки, самолеты и стратегическую авиацию США [25].

На начало 2013 года орбитальная группировка системы включала 9 КА UFO (8 основных и 1 резервный) и 2 КА FLTSATCOM на геостационарной орбите. Рабочая зона системы UFO охватывает всю зону Земли за исключением полярных широт (свыше 76°). Система UFO позволяет постоянно поддерживать связь с кораблями, подводными лодками, находящимися в акватории Мирового океана, и самолетами в полете. С помощью спутников обеспечивается односторонняя связь со всеми мобильными средствами (только передача) и двусторонняя связь с крупными надводными кораблями, подводными лодками и самолетами [13, 25].

КА UFO разработаны на основе платформы BSS-601 компании Boeing. Срок активного существования космического аппарата – 14 лет. На всех КА UFO установлено 11 твердотельных усилителей УВЧ-диапазона. Они обеспечивают 39 каналов связи с суммарной полосой пропускания 555 кГц и 21 узкополосный канал звуковой связи с полосой пропускания 5 кГц каждый, 17 ретрансляционных каналов с шириной полосы по 25 кГц, а также канал флотского вещания с шириной полосы 25 кГц [25].

Последние три КА UFO оснащены аппаратурой службы глобального вещания GBS. Эти комплекты состоят из 4-х транспондеров мощностью по 130 Вт, работают в Ka-диапазоне (30/20 ГГц) и обладают пропускной способностью 24 Мбит/с. Таким образом, комплект GBS на одном спутнике обеспечивает передачу 96 Мбит/с [25].

На замену системы UFO в настоящее время приходит перспективная система узкополосной связи MUOS (Mobile User Objective System). Разработка и производство спутниковой системы связи MUOS возложены на компанию Lockheed Martin.

Первичная конфигурация системы связи MUOS включает в себя наземный комплекс управления и 2 КА MUOS. Первый этап развёртывания системы начался летом 2013 года. В состав полностью развернутой системы MUOS будет входить 5 КА (1 из них резервный) на геостационарной орбите [25].

Спутники MUOS разработаны на основе платформы A2100 компании Lockheed Martin. Срок планируемого активного существования космического аппарата – 14 лет [25].

Система MUOS создаётся с применением передовых технологий гражданской спутниковой связи и значительно улучшает возможности военной связи, предоставляя мобильным пользователям (от стратегического звена до отдельного пехотинца) в реальном масштабе времени телефонную связь, услуги по передаче данных и видео. Система ориентирована на совместное применение с создаваемыми едиными пользовательскими терминалами проекта JTRS (Joint Tactical Radio Systems), совместимыми, в том числе, и с системой UFO. Важнейшими требованиями, предъявляемыми к новой системе, являются: обеспечение гарантированного доступа, связь в движении, способность формировать различные по назначению и конфигурации сети связи, объединённое взаимодействие сетей связи разнородных сил, глобальный охват, режим вещания и связь в приполярных районах, возможность использования малогабаритных портативных абонентских терминалов [25].

КА MUOS работают в УВЧ, X и Ка-диапазонах. Бортовое оборудование КА MUOS обеспечит организацию узкополосных каналов связи со скоростью от 64 кбит/с. Максимальная скорость каналов связи, обеспечиваемая спутником MUOS – до 5 Мбит/с, что в 10 раз выше, чем у системы UFO (до 400 кбит/с). Каждый КА MUOS обладает пропускной способностью, эквивалентной 8-ми КА UFO [25].

Бортовое оборудование КА MUOS позволяет более эффективно использовать выделяемый диапазон частот, для чего в системе реализован многостанционный доступ с выделением каналов по требованию. Благодаря использованию современных методов цифровой обработки сигналов, новых способов модуляции и помехоустойчивого кодирования, система связи MUOS будет иметь более высокую надёжность, защищённость, помехоустойчивость и эффективность связи, чем система UFO [25].

Система тактической узкополосной связи на высокоэллиптических орбитах. В 2005 году для того, чтобы сделать систему военной спутниковой узкополосной связи глобальной (в том числе за счет обеспечения связи в приполярных северных районах), в США было принято решение о создании экспериментальной системы связи на высокоэллиптических спутниках.

В сентябре 2011 года с этой целью запущен экспериментальный спутник TacSat-4. Орбита космического аппарата – эллиптическая с перигеем 850 км,

апогеем 12050 км и наклонением плоскости орбиты – 63,4 град. TacSat-4 – экспериментальный КА разведки и связи, спроектированный научно-исследовательской лабораторией ВМС США при участии компаний Boeing, General Dynamics и Raytheon. Вес – 460 кг, диаметр антенны – 3,8 м [25].

Назначение КА TacSat-4 [25]:

- обеспечение глобальной защищённой помехоустойчивой связи с подразделениями на поле боя (реализующими принцип «связь на ходу»);
- радиоразведка и обнаружение подводных лодок противника;
- доведение до подразделений морской пехоты и кораблей ВМС США результатов оценки обстановки и боевых приказов в условиях сильного противодействия радиотехнических средств противника.

Спутник TacSat-4 обеспечивает до 10 каналов узкополосной связи (от 2,4 до 16 кбит/с) в диапазоне УВЧ (300 и 250 МГц). На КА TacSat-4 также имеется аппаратура системы MUOS с шириной полосы пропускания 5 МГц для информационного сопряжения с КА MUOS на геостационарных орбитах и приёма-передачи данных через них [25].

Испытания и эксплуатация КА TacSat-4 позволит ВМС США определить будущую потребность в спутниках на высокоэллиптической орбите, действующих в системе геостационарных спутников [25].

Система связи ВВС США AFSatCom позволяет постоянно поддерживать связь между штабом Стратегического командования США и воздушными командными пунктами со стратегическими бомбардировщиками в полете, постами управления запуском МБР, а также самолетами-ретрансляторами TAKAMO для связи с ПЛАРБ [13, 14].

Система AFSatCom своих КА не имеет, а использует каналы связи через КА типов FLTSATCOM, UFO, MilStar, SDS, DSCS, WGS. Это позволяет обеспечивать связь с любым объектом, находящимся в любом районе Земли [13, 14].

Система сопровождения и ретрансляции данных TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System) обеспечивает слежение за КА разведки и ретрансляцию принимаемой от них информации на наземную станцию управления. Система TDRSS на основе КА TDRS (Tracking and Data Relay Satellite) способна одновременно получать и передавать данные от 20 низкоорбитальных КА при этом сами КА TDRS могут далее ретранслировать информацию на КА, находящиеся на более высоких орбитах. Бортовое оборудование включает в себя транспондеры S и Ku диапазонов (КА TDRS-2, кроме того, дополнительно Ka-диапазона). Орбитальная группировка включает 8-10 КА TDRS-1 и TDRS-2 на геостационарной орбите [21].

Космическая система сбора и передачи данных на базе КА SDS (Satellite Data System) обеспечивет связью самолеты ВВС в районах Крайнего Севера, прием и передачу информации с разведывательных спутников и от расположенных за пределами территории США станций слежения за КА. В составе системы входят 10 КА на высоко эллиптических (с апогеем над

Северным полушарием) и геостационарных орбитах, а также множество наземных и самолетных станций.

Бортовая аппаратура КА SDS позволет обеспечивать связь с самолетами ВВС США по 15 радиотелеграфным каналам в метровом диапазоне 240-320 МГц волн. В дециметровом диапазоне 2,2-2,3 ГГц бортовая аппаратура КА SDS обеспечивет ретрансляцию информации от разведывательных КА на пункты сбора и обработки информации, а также от станций слежения за спутниками [13, 14, 21].

2.7 Перспективные космические системы на основе малых космических аппаратов

При традиционных способах информационно-космического обеспечения КА не может обладать малой массой в силу массогабаритных характеристик бортовой аппаратуры. Однако в настоящее время прорабатывается ряд новых перспективных направлений информационно-космического обеспечения с использованием малых КА (мини-КА и микро-КА).

Первое направление – многоспектральная разведка. Телескопом минимального диаметра можно накрыть цель и сделать снимок с невысоким разрешением. Однако если при этом реализовать многоспектральный портрет цели, то с помощью бортового компьютера КА можно получить высококачественное изображение в реальном масштабе времени. Такая система оптической разведки без использования большого телескопа получается достаточно компактной, а скорость обработки сигнала современными средствами высока [27].

Второе направление – развитие радиотехнической разведки. При расстоянии 10-50 км между мини-КА, разрешающая способность распределенной космической системы благодаря увеличению базы измерений возрастает в сотни раз. Система из 3-4 таких мини-КА сможет обеспечить мониторинг транспортных средств, территории и целей противника на локальном ТВД [27].

Специалистами в области радиолокационной разведки ведутся исследования возможности стороннего радиоподсвета цели или облучения ее с других КА. Эти исследования показали, что возможно создание орбитальной группировки, в которой один КА кластера, обладающий мощным передатчиком, облучает поверхность Земли, а находящиеся рядом с ним мини-КА (без передатчиков и мощных систем электропитания) получают ответный сигнал от целей и по нему строят радиолокационные изображения. Причем в кластере получается не одно, а одновременно несколько изображений, что исключает возможность помех и открывает новые возможности вскрытия замаскированных целей [27].

В этом же направлении ведутся работы по радиоподсвету воздушных целей с помощью КА навигационных космических систем. Несмотря на слабый отраженный сигнал, использование разнесенного приема позволит создать глобальную систему пассивного радиолокационного наблюдения за всем воздушным пространством страны. При этом использование пассивной

локации повысит живучесть подобной системы в условиях применения противником средств поражения (по опыту боевых действий последних десятилетий, средства активной противовоздушной обороны (ПВО) поражались в первую очередь) и обеспечит возможность целеуказания для средств ПВО [27].

Третье направление – создание мини-КА связи. При информационном обеспечении войск важно решить не только проблему оперативной связи между подразделениями в районе военного конфликта, но и проблему глобальной оперативной связи удаленных войсковых группировок (групп кораблей ВМФ, авиационных группировок) с центральным военным командованием. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, все эти проблемы также сравнительно просто и устойчиво решаются с помощью низкоорбитальных группировок МКА связи [27].

Четвертое направление – совершенствование космического эшелона воздушно-космической обороны. Одним из вариантов удачного применения для мини-КА является развитие системы контроля космического пространства (СККП). На орбите размещается ряд КА с перекрестными полями наблюдения. Моделирование показывает, что всего 8 КА в группировке позволят уточнить цель любого нового объекта в течение 30 мин. Сейчас в наземных оптико-электронных и радиолокационных системах на это требуется несколько часов. Выигрыш в создании подобного космического эшелона контроля состоит еще и в том, что сейчас отсутствуют наземные средства, которые наблюдали бы КА на орбитах с наклонением менее 30 градусов. Кроме того, подобный космический сегмент СККП может осуществлять мониторинг гиперзвуковых летательных аппаратов, которые летают на средних высотах от 20 до 40 км на скоростях свыше 5 М [27].

Возможно расширить космический эшелон СККП и за счет размещения средств радиотехнической разведки на малых КА. В результате появляется возможность глобального мониторинга всех геостационарных систем связи, которые ранее были недоступны для контроля. Кроме того, космические системы контроля могут отслеживать такие космические средства как КА-инспекторы и КА-перехватчики, а в отдаленной перспективе – контролировать использование в космосе средств противоспутниковой борьбы [27].

Пятое направление – создание на основе мини-КА систем противоспутниковой борьбы, в которые входят орбитальные платформы-носители и группировки мини КА: контроля космического пространства, инспекторы и перехватчики.

Шестое направление – создание группировки оперативного контроля ионосферы, в том числе в приполярной области. Это чрезвычайно важно при решении задач повышения точности космических навигационных систем, а также при уточнении данных загоризонтных РЛС, используемых в системах предупреждения о ракетном нападении [27].

Стратегия развития многоспутниковой системы на малых КА предусматривает создание универсальных КА информационного обеспечения.

Таким образом, единая универсальная многоспутниковая группировка малых КА способна решать задачи обеспечения глобальной связи, всеобъемлющей разведки ТВД и околоземного космоса [27].

В настоящее время перспективы использования систем на основе малых КА постоянно расширяются, и в связи с этим появился ряд принципиально новых проектов, связанных с существенным удешевлением и повышением оперативности процесса вывода их на орбиту. Так, испанская компания Celestia Aerospace объявила о начале своего проекта SALS (Sagitarius Airborne Launch System – «Воздушная система запуска «Стрелец»), целью которого является обеспечение сравнительно простого и дешевого запуска микро-КА. В состав комплекса SALS войдет самолет и ракеты-носители двух типов. В качестве полезной нагрузки системы SALS рассматриваются микро-КА весом до 10 кг. В зависимости от типа используемой ракеты-носителя одновременно на орбиту будут выводиться от 4 до 16 аппаратов. Самым крупным компонентом комплекса SALS должен стать самолет Archer-1 («Лучник-1»), в качестве которого предлагается использовать истребитель МиГ-29УБ. Непосредственная доставка полезной нагрузки на орбиту будет осуществляться при помощи ракет Space Arrow SM и Space Arrow CM («Космическая стрела»). Характеристики этих изделий будут таковы, что ракеты смогут подниматься на достаточную высоту и сбрасывать полезную нагрузку в виде микро-КА. Ракета Space Arrow SM сможет нести 4 КА. Более крупная ракета Space Arrow CM – 16 аппаратов. Предполагается, что данная система позволит выводить микро-КА на орбиту высотой до 600 км. Первый испытательный запуск ракеты Space Arrow запланирован на 2016 год [28].

3 Перспективы проведения военных операций в космической сфере

Кроме широкомасштабного использования информационно-космических систем для обеспечения применения ВС, в настоящее время прорабатываются вопросы ведения боевых действий в космической сфере [1-8]. Так, в специальном документе министерства ВВС США AFDD 2-2 «Space Operations» (Космические операции), опубликованном в августе 1998 года, были определены доктринальные основы боевого применения (современные, а также на ближне- и среднесрочную перспективу) Космических сил США, основу которых составляет 14-я воздушная армия ВВС. В соответствии с этим документом, первоочередной задачей любой военной кампании провозглашается завоевание безусловного военного превосходства в космосе [11].

Военное превосходство в космосе – такая ситуация, при которой космические силы будут обладать полной свободой действий, в том числе и по нанесению ущерба противнику, а космические силы противника, наоборот, не будут иметь никакой возможности для причинения вреда государству или его союзникам [11].

Понятие военного космического превосходства распространяется также на недопущение использования противником космической связи, сигналов

точной навигации, разведывательных, метеорологических и других данных, получаемых с помощью собственных или иностранных (международных) космических средств [11].

Завоевание военного космического превосходства предполагается осуществлять путем выполнения комплекса специальных активных мероприятий, в рамках которого планируется проведение противокосмических операций. При этом сами же противокосмические операции могут быть [11]:

- оборонительными;
- наступательными.

Цель наступательных противокосмических операций – уничтожение или нейтрализация космических систем или средств противника, а также нарушение функционирования информационно-космических систем [11].

Достижение этой цели планируется осуществлять различными способами, основными из которых являются [11]:

- внесение преднамеренных искажений в циркулирующие через космические системы противника информационные потоки;
- временное нарушение функционирования;
- снижение эффективности боевого применения или уничтожение компонентов космических систем противника;
- лишение доступа противника к собственным космическим системам.

Наиболее широко проработанной формой наступательной противокосмической операции является нанесение авиационных, ракетных и артиллерийских ударов по наземным элементам космической инфраструктуры противника. Вместе с тем, возможно и проведение противокосмических операций по схемам «Земля-космос», «космос-космос» и «космос-Земля». В связи с этим, создание и развертывание вооружений, предназначенных для применения по указанным схемам, являются важнейшими факторами, обеспечивающими безопасность государства [11].

Оборонительные противокосмические операции – активные и пассивные мероприятия, направленные на защиту космических сил от ударов противника или его попыток нарушить порядок их функционирования [11].

В рамках активных противокосмических операций планируется проводить мероприятия по обнаружению, сопровождению (идентификации) и уничтожению или нейтрализации атакующих средств противника. При этом возможно осуществление маневрирования космическими аппаратами с целью увода их от возможного воздействия, использования средств РЭБ, а также другие формы противоспутниковой борьбы (ПСБ) [11].

Пассивные противокосмические операции планируется проводить в целях снижения уязвимости космических систем и средств. В ходе таких операций, самостоятельно или в различных сочетаниях, предполагается применение таких мер как шифрование, использование техники псевдослучайного перескока несущих частот, повышение прочности конструкций, маскировка, рассредоточение и другие [11].

При рассмотрении возможностей по обеспечению наступательных и оборонительных противокосмических операций можно отметить, что высокие

результаты могут быть получены только при наличии развитых и эффективных систем контроля воздушно-космического пространства, наблюдения за его параметрами (радиационный фон, характеристики магнитного поля, интенсивность потоков солнечного ветра и другие), а также предупреждения о ракетном нападении [11].

В результате завоевания военного превосходства в космосе космические силы смогут практически беспрепятственно проводить не только противокосмические, но также и другие операции по применению силы в космосе и из космоса по обеспечению боевых действий в космосе, а также по обеспечению боевых действий в других средах [11].

Нанесение ударов из космоса (операции по применению силы) уже рассматривается как реальная форма боевых действий космических сил, несмотря на то, что даже многие технологически развитые страны еще пока не располагают соответствующими системами вооружения. Ударной космической системой, являющейся наиболее вероятным «кандидатом» на развертывание в ближайшие сроки, называется комплекс лазерного оружия космического базирования [11].

Направлениями сосредоточения основных усилий при развитии космических сил для придания им способности проводить вышеуказанные «противокосмические операции» были определены [29]:

- формирование, подготовка и обучение высококвалифицированного персонала;
- модернизация стратегических ядерных сил на основе МБР;
- развертывание средств обнаружения и предупреждения об угрозах, защищенных линий связи, систем навигации и заблаговременное оповещение войск в ходе боевых действий об обстановке;
- обеспечение возможности проведения противокосмических операций за счет приобретения новых систем контроля космического пространства и оборонительных средств, а также расширение возможностей космических полигонов;
- совершенствование способности беспрепятственного управления космическими силами в любом регионе (на любом театре войны);
- проведение работ в следующих областях:
    - наступательные противокосмические операции;
    - немедленное нанесение глобальных ударов неядерными средствами;
    - ведение разведки;
    - наблюдение и слежение для получения данных, достаточных для выдачи целеуказания;
- разработка технологий для повышения уровня стандартизации конструкций космических аппаратов и порядка проведения космических операций, интенсификация процесса «спиральной» разработки, а также внедрение технологий, обеспечивающих революционные возможности в области управления и связи,

двигательных систем, ядерных и обычных средств поражения, планирования и проведения операций.

Приоритетным направлением является повышение эффективности космических сил для максимального обеспечения развединформацией войск на поле боя. Особую важность для проведения космических операций представляют возможности космических сил по управлению и связи, а также плановому выводу на орбиты космических аппаратов. И, наконец, особое значение, наряду с началом работ в области наступательных противокосмических операций и экстренного вывода КА на орбиту, придается возможностям по ядерному сдерживанию, оборонительным противокосмическим операциям и контролю космического пространства. Все это явится первым шагом к развертыванию ударных космических систем в среднесрочной и долгосрочной перспективе [29].

Космические системы и средства должны предоставлять следующие возможности [29]:

- повышение эффективности космических сил (возможности, повышающие эффективность проведения военных операций на суше, на море, в воздухе и космосе);
- противокосмические операции (возможности, позволяющие завоевать и удержать превосходство в космическом пространстве, предоставляющие ВС право использовать космос в своих интересах и лишающие этого права противника);
- применение космических сил (возможности, используемые для выполнения задач с применением систем оружия из космоса (через космос), в результате чего наземные цели будут постоянно находиться под угрозой уничтожения);
- космическое обеспечение (возможности по запуску, в случае необходимости, полезной нагрузки и по контролю функционирования КА);
- обеспечение операций в других сферах (функциональная область, которая распространяется на все военные задачи и обеспечивает требуемую для этого инфраструктуру).

Отличительной особенностью применения сил в космосе и из космоса является недостаточное правовое урегулирование данного вопроса. Так, понятие воздушно-космического пространства в международном праве отсутствует. Это связано с различными правовыми режимами космического и воздушного пространств. На воздушное пространство распространяется суверенитет государства, который ограничивает его использование иностранными государствами (разрешительный характер), а при использовании космоса в военных целях он существенно ограничен. Так, резолюция Генеральной Ассамблеи ООН «Предотвращение гонки вооружений в космосе» особо подчеркнула обязанность всех государств воздерживаться в своей космической деятельности от угрозы силой или ее применения [7, 10].

Поэтому введение понятия единого воздушно-космического пространства несколько противоречит базовым принципам существующих норм

международного права, в котором сферы деятельности в воздушном и космическом пространствах четко разграничены [10].

С позиций реализации норм и принципов международного права единое воздушно-космическое пространство означает, например, либо полный запрет несанкционированных полетов любых аппаратов, включая космические, над территориями суверенных государств, либо полное снятие таких запретов, то есть признание права на свободный полет любых иностранных аппаратов, включая воздушные суда, над любой территорией [10].

Существующий термин «отражение воздушно-космической агрессии» с точки зрения международного права также спорен, так как не определены признаки факта воздушно-космического нападения. Не урегулирован и вопрос о возможности защиты и поражения космических объектов космическими (или воздушными) средствами [10].

Неясно, как понимать с точки зрения международного права термин «отражение воздушно-космического нападения». Например, какое событие в космосе можно считать фактом воздушно-космического нападения или подготовки к нему? Какие космические объекты необходимо защищать и какие можно поражать воздушно-космическими (то есть воздушными и космическими) средствами, не нарушая норм международного права [7, 10]?

Существующие договоры по космосу принципиально не запрещают военную деятельность в космосе. Так, специалисты выделяют следующие основные зоны военно-космической деятельности, не охватываемые этим договорами [7, 10]:

- развертывание в космосе оружия противоспутниковой борьбы, систем ПРО космического базирования;
- развертывание средств оптико- и радиоэлектронного подавления;
- развертывание оружия, основанного на новых физических принципах (не относящегося к оружию массового поражения).

Существует совместная инициатива России и Китая (выдвинутая в 2002 году) по неразмещению оружия в космосе и неиспользованию силы в отношении космических объектов. По результатам рассмотрения данной инициативы в 2003 году Генеральная ассамблея ООН приняла резолюцию «Предотвращение гонки вооружений в космическом пространстве». Однако конкретные меры в рамках этой резолюции не обсуждались [7, 10].

В 2005 году в США была принята военно-космическая стратегия (Space Strategy). Данная стратегия предусматривает действия по долгосрочному планированию наращивания возможностей США в космической сфере (рис. 5) [7, 11].

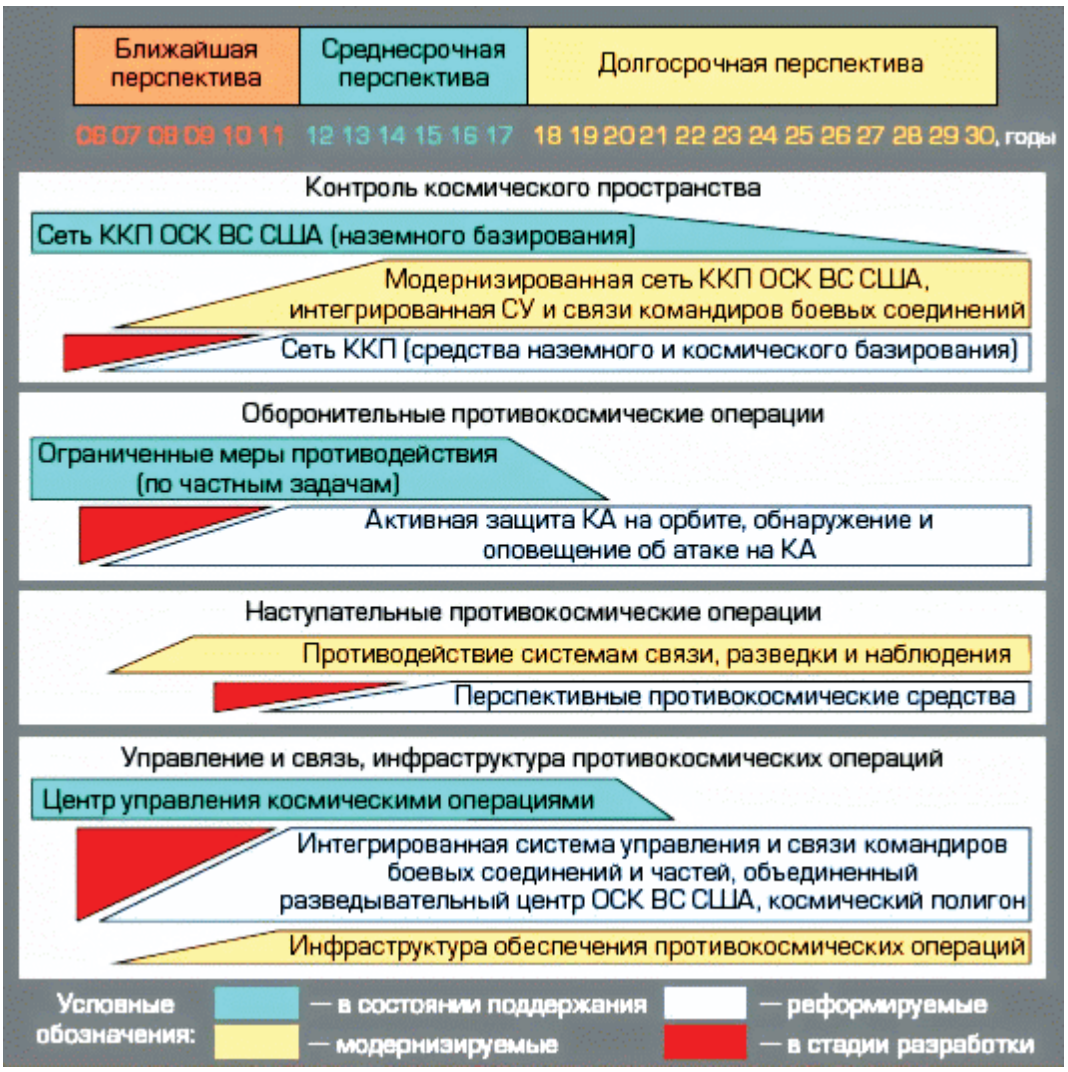


Рис. 5. Планы США по наращивание своих возможностей в космической сфере [11]

Задачами военно-космической стратегии США определены [10]:

- непрерывный контроль космической обстановки и контроль глобальной обстановки космическими средствами США;
- активное обеспечение свободного доступа США в космическое пространство для ведения там военной и другой деятельности (в космосе, из космоса и через космос). Эта задача включает пресечение любых попыток вероятных противников препятствовать доступу США в открытый космос;
- защита и оборона космических средств и систем США от любого воздействия со стороны космических и иных средств противников;
- стратегическая противоракетная и другие виды обороны США космическими оборонительными средствами;
- развертывание и боевое применение в космосе и из космоса обычных (неядерных) наступательных и оборонительных космических средств (ядерные средства некосмического базирования используются через космос);

- развертывание и использование космических средств и систем военного и государственного управления мирного и военного времени, обеспечивающих эффективную реализацию концепции сетецентрической войны военными силами страны и операциями объединенных вооруженных сил в войнах нового облика;
- воспрепятствование военному доступу в открытый космос вероятных противников и развертыванию ими в космосе военных наступательных средств, а также применению таких средств в космосе и из космоса против США.

Перспективная программа США «Космические ударные системы и средства ПРО» предусматривает развертывание в космосе и в воздушном пространстве обычных (неядерных) боевых ударных систем, способных поражать КА и МБР противника. Предполагается, что вокруг Земли будет создана сеть спутников, которые станут отслеживать все ракетные пуски и поражать стартующие ракеты лазерным лучом из космоса или с борта самолета. Если же ракета с боеголовкой выйдет в космос, то она будет поражена кинетическим оружием. Кроме того, можно говорить о принципиальной возможности применения противоракет дальнего перехвата нового поколения, так называемых нестратегических систем ПРО или ПРО на ТВД, по космическим аппаратам противника в ближнем космосе [7, 10].

Таким образом, США вступили на путь всестороннего развития своих возможностей по использованию космоса в военных целях. Подобные действия, а также создание инновационных образцов космического оружия, могут спровоцировать гонку космических вооружений за господство в околоземном пространстве и, в конечном итоге, существенно трансформируют способы ведения войн между технологически развитыми странами за счет расширения возможностей высокоточного применения силы на всей территории Земли.

4 Средства вооружения в космической сфере

Сегодняшний этап разработки средств ведения вооруженной борьбы в космосе можно определить как начало второго рождения этой тематики, но уже на новой технической и концептуальной базе. После затишья в несколько десятков лет космические державы вновь проводят в космическом пространстве эксперименты по уничтожению, функциональному подавлению и уводу с орбиты космических аппаратов [1-10].

В настоящее время в мире отсутствуют развернутые системы на основе оружия противоспутниковой борьбы. Однако, в той или иной степени, подобным потенциалом будут обладать следующие перспективные средства США, находящиеся в различных степенях разработки [6-9, 13, 30]:

- противоракеты прямого попадания воздушного (типа ASAT), наземного (типа GBI) и морского базирования (типа SM-3);
- лазерное оружие воздушного, наземного и космического базирования;

- воздушно-космические самолеты (подобные тем, что реализуются по программам Falcon и X-37);
- КА-перехватчики и КА-инспекторы (в том числе и малые КА).

В более отдаленной перспективе – противоракеты, а также лазерное и пучковое оружие космического базирования.

Ниже проведен анализ основных разработок вооружений для ВС США, которые могут быть уже на современном этапе использованы для ведения боевых действий в космосе и через космос.

4.1 Противоспутниковые ракеты

Противоспутниковая ракета ASAT (Anti-Salellile) воздушного базирования, разрабатывалась с 1977 по 1985 г и предназначалась для поражения ИСЗ на низких орбитах. В состав комплекса перехвата КА входил самолет-носитель (модернизированный истребитель F-15) и 2-х ступенчатая ракета ASAT. Вес ракеты 1200 кг, длина 6,1 м, диаметр корпуса 0,5 м. Ракета подвешивалась под фюзеляжем самолета-носителя. В качестве двигательной установки первой ступени применен ракетный ТТДУ тягой 4500 кг, второй – ТТДУ тягой 2720 кг. Полезная нагрузка – малогабаритный самонаводящийся перехватчик MHIV (Miniature Homing Intercept Vehicle) массой 15,4 кг, длиной 0,46 м и диаметром около 0,3 м [13].

Выведение ракеты ASAT в расчетную точку пространства после ее отделения от самолета-носителя производится инерциальной системой, установленной на 2-й ступени [13].

Перехватчик MHIV состоял из нескольких десятков небольших двигателей, инфракрасной системы самонаведения, лазерного гироскопа и бортового компьютера. На его борту нет взрывчатого вещества, поскольку поражение космической цели осуществлялось за счет кинетической энергии при прямом попадании в нее [13].

К моменту завершения работы второй ступени ASAT перехватчик MHIV раскручивался до 20 об/с с помощью специальной платформы. Это необходимо для нормальной работы инфракрасной системы самонаведения и обеспечения стабилизации перехватчика в полете. К моменту отделения перехватчика его инфракрасные датчики, ведущие обзор пространства с помощью восьми оптических систем, должны захватить цель. Двигатели перехватчика позволяют ему перемещаться в трех плоскостях [13].

Пуск ракеты ASAT с самолета-носителя предполагалось осуществлять на высотах 15-21 км как в горизонтальном полете, так и в режиме набора высоты. Для превращения серийного истребителя F-15 в носитель ASAT требовалась установка специального подфюзеляжного пилона и связного оборудования. В пилоне размещалась мини-ЭВМ, оборудование для связи самолета с ракетой, система коммутации, резервная батарея питания и газогенератор, обеспечивающий отделение ASAT [13].

Первый пуск экспериментальной ракеты ASAT с самолета F-15 по условной космической цели был произведен в начале 1984 года, а первый успешный перехват – 13 сентября 1985 г. Запущенная ракета ASAT уничтожила

американский спутник Soluind па высоте 450 км. В начале 1990-х годов работы по системе ASAT в США были прекращены, однако полученные в процессе реализации программы результаты были использованы в программах разработки ракет GBI и SM-3 [13].

Противоракета GBI – трехступенчатая твердотопливная противоракета дальнего радиуса действия наземного шахтного базирования – предназначается для заатмосферного перехвата высокоскоростных целей за счет кинетической энергии прямого соударения [13]. Максимальная высота запуска – 2000 км. Расчетная дальность действия ракеты варьируется в зависимости от высоты траектории и составляет от 2000 до 5500 км. Противоракета разгоняется до скорости 8,3 км/с и выбрасывает в космическое пространство перехватчик – искусственный спутник массой 64 кг и длиной 1,4 м [31].

Следует особо отметить, что, так как скорость выводимого в космическое пространство перехватчика может превысить первую космическую, традиционный термин «дальность действия» для GBI не применим в полной мере – теоретически, перехватчик может перехватить цель в любой точке орбиты. Так как высота перехватываемых целей не превышает 2000 км, то целями перехвата могут быть КА на низких и средних орбитах [31].

Основным поражающим элементом ракеты-перехватчика GBI является заатмосферный кинетический перехватчик EKV (Exoatmospheric Kill Vehicle) Он оснащен электронно-оптической системой наведения, защищенной от посторонней засветки особым кожухом и автоматическими фильтрами. Получая целеуказание с наземной части системы GBMD, перехватчик EKV обнаруживает с помощью инфракрасного телескопа цель и, маневрируя жидкостным двигателем, начинает разгон для ее поражения. Поражение боеголовки осуществляется лобовым тараном на встречном курсе, при этом в момент столкновения с целью скорость EKV составляет порядка 7 км/с, таким образом, кинетической энергии удара вполне хватает, чтобы полностью уничтожить боевой блок [31].

В отличие от шрапнельных зарядов, кинетический перехватчик при попадании полностью уничтожает цель. Таким образом, при его применении невозможна неопределенная ситуация, когда КА, выведенный из строя шрапнельным снарядом, остается единым целым и продолжает полет по прежней траектории. Кроме того, кинетическое поражение не создает значительных облаков обломков, способных нанести вред другим космическим аппаратам.

Первоначально, в рамках программы GBI планировалась разработка кластерного перехватчика, предназначенного для поражения головок от МБР с разделяющимися боеголовками. Согласно проекту, противоракета GBI должна была выводить на орбиту несколько компактных миниатюрных перехватчиков MKV (Multiple Kill Vehicle), наводящихся одновременно на несколько целей. Однако в связи с рядом технологических трудностей и необходимостью сокращения бюджета США программа GBI с MKV была закрыта в 2009 году.

Противоракета Standard Missile - 3 (SM-3) – корабельные трехступенчатые ракеты компании Boeing, являющиеся основным оружием

системы ПРО морского базирования Aegis. Две маршевые ступени ракеты состоят из блоков ускорителей, третья ступень ракеты SM-3 – разгонная [31].

Ракета-перехватчик SM-3 может уничтожать баллистические ракеты, находящиеся в средней части траектории и летящие за пределами атмосферы, а также КА на низких орбитах с помощью кинетической боеголовки, путём ударно-контактного взаимодействия [31].

Работа трех ступеней SM-3 позволяет вывести ракету на встречную траекторию и обеспечивает набор достаточной скорости для поражения цели. На конечной фазе полёта отделяется заатмосферный малогабаритный кинетический перехватчик LEAP (Lightweight Exo-Atmospheric Projectile), который начинает самостоятельный поиск цели с помощью данных с корабля-носителя и собственной инфракрасной ГСН. Цели могут обнаруживаться на дальностях до 300 км, а коррекция траектории может составлять до 3-5 км. Кинетический перехватчик имеет собственные двигатели для корректировки полёта и космического маневрирования, которые осуществляют точное выведение перехватчика на встречный курс. При столкновении энергия удара перехватчика составляет 130 МДж, что более чем достаточно для уничтожения любой баллистической цели [32, 33].

Высота перехватываемых целей до 250 км, а дальность – до 300 км, т.е. применительно к космическим целям – КА на низкой орбите [13].

Всего в 4 испытательных пусках SM-3, проведённых в 2001-2002 годах, был осуществлен успешный перехват имитатора боевого блока баллистической ракеты в космосе на высотах 240-250 км. 11 декабря 2003 года с корабля ВМС США была сбита цель на высоте 137 км, при общей скорости сближения 3,7 км/с, вся операция от обнаружения до перехвата заняла 4 мин. 21 февраля 2008 года ракета SM-3 была выпущена с корабля Lake Erie в Тихом океане и через 3 мин после старта поразила находящийся на высоте 247 км аварийный разведывательный спутник USA-193, двигающийся со скоростью 7580 м/с. Очередное пробное тестирование модернизированной SM-3, проведенное 16 апреля 2011 года, показало высокую эффективность комплекса при перехвате ракет средней дальности [31].

До 2018 года корабельные противоракеты SM-3 следующего поколения предусматривается адаптировать к наземному способу базирования. Эти ракеты будут предназначены для перехвата баллистических ракет на восходящем (до начала разделения боеголовок) и нисходящем участках траектории полета на дальности до 1000 км и высотах 70-500 км [31].

Противоракеты космического базирования типа Brilliant Pebbles. Первоначальные оценки предлагаемого проекта были весьма оптимистичными как по массогабаритным и стоимостным параметрам подобных перехватчиков, так и по их эффективности. Приводились такие данные [13]:

- масса снаряда-перехватчика (без ракетного ускорителя) – 1,5-2,5 кг;
- высота орбиты – 400-500 км;
- количество ракет-перехватчиков – 4000-5000;

- ракеты-перехватчики способны перехватывать баллистические ракеты, дальность полета которых превышает 2000 км, а также КА на низких орбитах.

Однако, учитывая целый ряд трудностей как технического, так и юридического порядка, можно полагать, что работы по перехватчикам космического базирования типа Brilliant Pebbles вряд ли в ближайшее время завершатся разработкой образца, который будет принят на вооружение и включен в систему перехвата. Поэтому центр тяжести работ по перехвату КА сместился в сторону высокоскоростных перехватчиков наземного и морского базирования [13].

Помимо США созданием оружия противоспутниковой борьбы занимаются и другие технологически развитые страны. Так, например, 11 января 2007 г. кинетическим перехватчиком, запущенным баллистической ракетой, Китай успешно уничтожил свой собственный, уже выведенный из эксплуатации метеорологический спутник Feng Yun 1C (FY-1C), находившийся на полярной орбите высотой около 850 км. Кинетический перехватчик, по всей видимости, двигался по суборбитальной траектории [10, 35].

4.2 Лазерные противоспутниковые системы

За последнее время произошли существенные изменения уровня технической и технологической базы создания лазерного оружия космического базирования. Построены и испытаны мощные химические лазеры, которые могут работать в условиях космоса; создана система наведения и точного сопровождения целей, с помощью, которой предполагается решать задачу нацеливания лазерного оружия космического базирования [36].

Эксперименты по исследованию воздействия лазерных лучей на различные материалы целей в вакууме показали, что при определенных условиях облучения лазерным лучом с плотностью энергии на поверхности цели порядка 10 Дж/кв.см механические повреждения могут получить солнечные батареи, оптические датчики, обтекатели антенн, а при плотности энергии на цели порядка 1000-5000 Дж/кв.см в вакууме уязвимым оказывается и алюминиевый корпус ускорителя баллистической ракеты [36].

Программа лазерной системы ABL (Airborne Laser) воздушного базирования. В США с 1996 г. дочерней фирмой Boeing Defense and Space Group велись разработки лазерного оружия авиационного базирования с целью создания воздушного лазера ПРО, способного сбивать баллистические ракеты на дальности 400-460 км. В результате проекта был разработан химический лазер Chemical Oxygen Iodine Laser (COIL) на основе переохлажденного жидкого кислорода и металлического йода, генерирующий волну 1,3 мкм. Лазер этого типа способен вырабатывать очень узкий, хорошо сфокусированный луч мощностью 1 МВт, с низким затуханием в атмосфере. В качестве носителя лазера ПРО выбрали самый большой на то время транспортный самолет – Боинг-747-400F со стартовой массой 340 т, из которых 72 т могли быть заняты лазерным оборудованием. В фюзеляж удалось вместить только 6 химических модулей COIL общей мощностью 6 МВт вместо

запланированных 14. Это сразу снизило проектную дальность действия лазера до 250 км. Запаса жидкого переохлажденного кислорода и мелкодисперсного порошкообразного йода на борту хватало для осуществления 20-40 лазерных «выстрелов». В 2005 году лазерную ПРО должны были испытать в полете, после чего Пентагон собирался заказать 7 таких машин. Но вскоре обнаружились два непреодолимых технологических препятствия. Во-первых, на каждый 1 Вт электроэнергии вырабатывается 4 Вт тепловой энергии, которую невозможно отвести в полном объеме и которая идет на нагрев самого оборудования и самолета-носителя. При мощности в 6 МВт перегрев самолета приобретает катастрофические размеры, тем более что на борту находятся еще и емкости с жидким кислородом. Второй барьер – плавление линз с расфокусировкой луча лазера. Температура излучения такова, что кварцевое стекло не выдерживает. В результате, в июне 2009 года финансирование проекта Airborne Laser было прекращено, с формулировкой – «в связи с бесперспективностью» [37].

Противоракетные лазерные комплексы космического базирования Space Based Laser (SBL). В качестве одного из перспективных ударных средств разрабатываемой в США системы перехвата космических целей в течение многих лет рассматривается лазерное оружие космического базирования Space Based Laser (SBL). Работы в рамках данного проекта ведутся с участием компаний Boeing, Lockheed Martin и TRW. Несмотря на чрезвычайную сложность проблем, связанных с созданием космического лазерного оружия, работа над ним в США продолжается. Значительные усилия США по созданию комплексов лазерного оружия космического базирования, предпринимавшиеся, несмотря на сложность достижения поставленных целей, объясняются огромными преимуществами, получаемыми в случае создания космической системы, оснащенной лазерным оружием. Поскольку лазерное излучение распространяется в космосе почти без потерь энергии, то потенциальная дальность действия таких лазеров будет чрезвычайно большой. Таким образом, лазерные комплексы космического базирования позволяют воздействовать на космические цели практически мгновенно и на больших расстояниях. Однако достижение требуемых ТТХ для такого комплекса представляется исключительно трудной научно-технической задачей. Кроме того, для создания боеспособной системы, обладающей требуемой эффективностью, необходимо развертывание большой космической группировки.

Считается, что система из четырех КА с лазерами мощностью 5 МВт и управляющими зеркалами диаметром 4 м сможет выводить из строя каждый одиночный стратегический бомбардировщик дальнего действия, значительную часть баллистических ракет, запускаемых с подводных лодок, и 50% МБР. Система из 24 КА с лазерами мощностью 10 МВт и зеркалами 10 м в диаметре сможет обеспечить поражение почти всех баллистических ракет, запускаемых с подводных лодок, подавляющую часть МБР и еще некоторое число единиц других видов вооружения. Такая система сможет обеспечить поражение

баллистических ракет с темпом 2 ед./с, даже в случае, если они будут иметь удвоенную по сравнению с современной защиту от лазерного излучения [36].

Однако проведенный американскими специалистами анализ задач первого эшелона системы ПРО для КА с лазерным оружием (с химическим лазером мощностью 5 МВт и управляющим зеркалом 4 м) по перехвату всех стартующих баллистических ракет на участке выведения привел к следующим выводам. Чтобы обеспечить наблюдение за ракетоопасными районами потенциального противника с целью своевременного обнаружения старта средствами такой системы, и чтобы при этом хотя бы один КА находился в пределах прицельной дальности, необходимо иметь группировку из 50 КА на орбитах с высотой порядка 1000 км. Тогда в условиях массового пуска 1000 МБР, стартующих в интервале около 8 мин, каждая лазерная установка КА должна иметь потенциал в 1000 «выстрелов». При этом на каждый «выстрел» затрачивается 0,5 с, поскольку столь короткий промежуток времени взаимодействия лазерного луча химического лазера с материалом цели (в перспективе, защищенной от лазерного излучения) является недостаточным для поражения цели (для этого необходимы десятки и сотни секунд) [36].

Дополнительные трудности состоят в доставке топлива на орбиту. При достигнутом КПД химического лазера на один «выстрел» требуется порядка 660 кг топлива. Доставка на орбиту топлива, требующегося для производства 1000 «выстрелов», – невыполнимая задача для существующих транспортных средств, поэтому в проектах перспективных систем ПРО для КА с лазерным оружием отводятся ограниченные функции. Ожидается, что такие КА смогут поражать цели с темпом в 2 с на расстоянии около 1600 км в любой стадии полета баллистической ракеты [36].

В настоящее время после того, как на проект SBL было потрачено несколько миллиардов долларов, он официально закрыт, стенды законсервированы, а исследования лазерных систем воздушного базирования переведены в разряд технологических [37, 38].

4.3 Ускорительные (пучковые) противоспутниковые системы

Помимо лазерного оружия разрабатываются концепции космического ускорительного (пучкового) оружия.

Основным элементом такого оружия должны быть ускорители нейтральных и заряженных частиц. Устройства ускорителей электронов и атомов водорода и возможные области их применения в оружии существенно отличаются. Электронный пучок может распространяться только в специально созданном в атмосфере канале сильно разреженного и ионизированного воздуха, который его ослабляет, нейтрализуя при этом объёмный заряд, который приводит к рассыпанию пучка. Магнитное поле Земли сильно искривляет траекторию электронного пучка в вакууме, что исключает возможность создания ускорительного оружия большой дальности, и, прежде всего, космического. Прямолинейно распространяться может только пучок нейтральных атомов водорода, причём в ускорителе разгоняются отрицательные ионы водорода, которые на выходе нейтрализуются в

специальной газовой ячейке. Однако даже небольшие остатки атмосферы (на высотах до 200 км) легко ионизуют нейтральные атомы, а образующиеся при этом протоны сильно отклоняются магнитным полем Земли [38].

Действие на цель ускорительного оружия носит как поверхностный, так и объёмный характер в силу большой глубины проникновения частиц, причём основные планы создания ускорительного оружия связывались, в первую очередь, именно с его уникальными свойствами. Объёмный характер воздействия на цель, обусловленный большой глубиной проникновения ускоренных до околосветовых скоростей частиц, приводит к наблюдаемым внешним вторичным эффектам, пропорциональным массе цели, что позволяет идентифицировать боевой блок в составе сложной баллистической цели. Именно эта задача и ставилась американцами в рамках программы создания космического ускорительного оружия для национальной системы ПРО. Другим механизмом воздействия пучка частиц является радиационное повреждение полупроводниковых элементов электроники, наступающее, как правило, при уровнях воздействия, существенно меньших, чем необходимо для иных механизмов поражения цели. Такой механизм рассматривается для поражения космических аппаратов и электроники ракет и боевых блоков в космосе. Третий механизм воздействия, основанный на радиационных эффектах, обусловлен разложением под действием частиц химических соединений с образованием активных радикалов или свободных электронов, что инициирует в веществе химические реакции. При воздействии на взрывчатое вещество или твёрдое топливо начинается процесс горения [38].

Основной упор в работах по ускорительному оружию в США был сделан на создание космических комплексов ПРО, решающих попутно и задачи противокосмической обороны. Наибольший размах эти работы получили в рамках программы «Стратегической оборонной инициативы» (СОИ), однако они не вышли из стадии фундаментальных и прикладных исследований по изысканию путей создания такого оружия. Возможное принятие на вооружение космического пучкового оружия возможно не ранее 2020 г. Оно может найти применение для нарушения устойчивости орбитальной космической группировки, поражения одиночных баллистических ракет на заатмосферном участке без срабатывания аппаратуры ядерного подрыва, а также уничтожения других средств воздушно-космического нападения и разведки [38, 39].

4.4 Воздушно-космические самолеты

В 1999 году NASA совместно с компанией Boeing начали программу создания беспилотного космического самолета X-37B. Стоимость разработки экспериментального космолета составила 173 млн. долларов, а его использование предусматривалось в вариантах средства фото- и радиолокационной разведки, перехватчика космических целей или ударного самолета с ракетой класса «космос-Земля». По имеющимся данным, космолет обладает следующими характеристиками: взлетная масса около 5 т, масса полезного груза 900 кг, время пребывания в космосе до 270 дней. Первый тестовый полет – испытание путем сбрасывания – был совершен 7 апреля

2006 г. Доработка аппарата продолжалась до 2010 года, когда Х-37В ушел в первый полет, задачи которого и ход их решения были засекречены [31].

Ряд экспертов высказывают предположение, что за 225 суток, проведенных в космосе, космолет провел реальные пуски боевых ракет. Именно в это время был сбит российский военный спутник, что официально объяснили возможным попаданием в него метеорита. Вместе с тем, до сих пор руководство ВВС США не публикует никаких подробностей о целях и задачах полета Х-37В [31].

Принимая во внимание достаточный объем грузового отсека космического аппарата, можно предположить, что Х-37В способен нести любую разведывательную аппаратуру и, безусловно, некоторые системы вооружения. Наблюдения, сделанные с помощью оптической аппаратуры, подтверждают высокую маневренность аппарата. За все время его нахождения на орбите было произведено четыре резких изменения траектории движения. Таким образом, аппарат может использоваться для перехвата и захвата спутников. Несмотря на столь явную боевую ориентацию аппарата Х-37В, американские военные продолжают настаивать на том, что он является всего лишь «беспилотной космической лабораторией» [31].

Х-37В вернулся на Землю 3 декабря 2010 г. после семи месяцев полета. Посадка в автоматическом режиме была осуществлена на взлетно-посадочную полосу базы ВВС США Ванденберг, штат Калифорния. В период пребывания на орбите Х-37В получил семь повреждений обшивки, по официальной версии, в результате столкновения с космическим мусором [31].

Первый космический полёт Х-37В состоялся 22 апреля 2010 года и продолжался 225 дней. Второй космический полёт начался 5 марта 2011 года и продолжался 468 дней. Третий космический полёт – 11 декабря 2012 года, с продолжительностью полета 674 дня.

Боевые аппараты, которые создаются по программе Х-37, уже сегодня позволяют выводить на орбиту до трех боеголовок и доставлять их к цели, минуя систему предупреждения о ракетном нападении и другие средства контроля. В перспективе американский воздушно-космический самолёт, выведенный на орбиту с гиперзвуковыми ракетами на борту, будет способен нести там боевое дежурство в течение нескольких лет – в постоянной готовности к мгновенному применению оружия по сигналу с земного командного пункта. Орбитальная группировка из нескольких десятков таких аппаратов будет способна обеспечить поражение любой цели на земной поверхности и в космосе в течение буквально нескольких минут [30].

В июле 2014 года представители DARPA анонсировали первую фазу реализации нового проекта по созданию беспилотного космического корабля XS-1 (eXperimental Spaceplane 1). В долгосрочных планах агентства – добиться того, чтобы беспилотный космический корабль смог совершить 10 полетов за 10 дней, хотя бы в одном полете достигнув скорости 10 М. Стоимость каждого совершенного рейса не должна будет превышать 5 милл. долларов. При этом, аппарат должен будет нести на борту полезную нагрузку массой от 1,36 до 2,37 т. Совершение гиперзвуковых полетов экспериментальным американским

космическим беспилотником XS-1 намечено на начало 2018 года. Автономный гиперзвуковой космолет XS-1 будет совершать полеты как обычный самолет, но при этом сможет также выводить спутники на низкую орбиту Земли на отделяемой от аппарата ступени. Предполагается, что вторая ступень ракеты-носителя будет осуществлять выпуск полезного груза на суборбитальной высоте полета, как только она сможет отсоединиться от основного корпуса. Сам беспилотный аппарат вернется назад на Землю и практически сразу же начнет готовиться к совершению следующих полетов. Представители агентства DARPA отмечают, что они собираются финансировать работы трех компаний, которые будут работать над созданием собственных демонстраторов беспилотного космолета XS-1. Денежные средства будут выделены компании Northrop Grumman Corporation, сотрудничающей с Virgin Galactic, Masten Space Systems, сотрудничающей с XCOR Aerospace, и компании Boeing, работающей с Blue Origin [40].

В последнее время в США к разработке космолетов подключается все большее количество частных компаний. Так, ведется разработка космического беспилотного корабля Dream Chaser, который будет выводиться на орбиту при помощи ракеты-носителя Atlas V, при этом корабль размещается в верхней части ракеты, в отличие от расположения сбоку, как это было с кораблями Space Shuttle. Такое расположение делает невозможным повреждение космического корабля в момент запуска. Посадка производится горизонтально по-самолетному. При этом была предусмотрена возможность не просто планирования, как у шаттлов, а полноценный самостоятельный полет с возможностью посадки на любые ВПП длиной не менее 2500 м [41].

Проведенный анализ возможностей воздушно-космических самолетов как систем оружия показывает, что они будут обладать значительными стратегическими преимуществами, позволяющими выполнять боевые задачи на качественно новом уровне. Предполагается, что основными задачами таких систем оружия будут [10]:

- поражение стратегически важных объектов, включая критичные по времени, в том числе мобильные наземные цели в глубине территории противника;
- ведение стратегической воздушной разведки;
- перехват воздушно-космических целей;
- долговременное хранение и оперативное развертывание группировок малых КА;
- вывод на околоземные орбиты КА различного назначения;
- инспекция, перехват и захват спутников;
- переброска войск и военной техники на трансконтинентальную дальность.

4.5 Космические аппараты инспекторы и перехватчики

Как известно, США отвергли российско-китайское предложение о заключении договора о не размещении в космосе оружия и приступили к разработке боевых КА. Планируется создать орбитальную группировку боевых

КА нового поколения для ведения вооруженной борьбы в космосе и из космоса, которая будет состоять из следующих систем [10]:

- КА наблюдения Brilliant Eyes (50-70 аппаратов) для сопровождения целей в космосе, селекции боеголовок и ложных целей, выдачи целеуказаний на перехватчики наземного базирования и орбитальные перехватчики. Для точного измерения дальности и определения траектории полета цели будут использоваться лазерные локаторы;
- КА-инспекторы eXperimental Satellite System (XSS), обеспечивающие решение задач инспекции, а возможно, и нейтрализации КА. Предусмотрена ретрансляция получаемых ими данных на Землю через платформу-носитель в реальном масштабе времени;
- КА-перехватчики KEASat для выведения из строя КА противника прямым кинетическим воздействием или дистанционно с использованием лазерных установок.

В апреле 2005 года ракетой-носителем Minotaur (модифицированный конверсионный вариант МБР Minuteman-2) был выведен КА XSS-11. Этот космический аппарат создан по программе «Экспериментальный космический аппарат XSS» и реализуется Исследовательской лабораторией ВВС (AFRL) и Агентством DARPA в МО США. Цель программы и проекта XSS заключается в создании микроспутника, способного проводить автономные операции вблизи и вокруг космических объектов, а именно сближение на орбитах, маневрирование вблизи и вокруг них для опознавания и инспектирования, стыковки к космическим аппаратам, перепозиционирование и изменение ориентации и др. [10].

4.6 Космическая система радиоэлектронной борьбы и мониторинга космического пространства

В настоящее время в США осуществляется программа «Технологии космического пространства», в рамках которой проводятся НИОКР, направленные на создание противоспутниковых систем и средств контроля космического пространства [36].

С 2008 г. ведется разработка систем получения информации о ситуации в локальном космическом пространстве – CSASSA, которые будут иметь комплект средств предупреждения, реагирующих на противоспутниковое оружие и угрозы естественного происхождения [36].

По программе «Противокосмические системы» осуществляется проектирование и создание мобильной системы радиоэлектронного подавления спутниковой связи CCS, представляющей собой наступательную противоспутниковую систему РЭБ, предназначенную для постановки помех спутникам космической связи, и систему RAIDRS быстрого обнаружения и опознавания, а также оповещения о нападении на космический объект [36].

4.7 Использование высотных ядерных взрывов

До подписания в 1967 году Договора о космосе и СССР, и США успели провести целую серию высотных ядерных взрывов, которые позволили

сформировать общее представление о воздействии, которое может оказать ядерное оружие, будучи примененным в космосе.

В 1958 году США провели операцию «Аргус», главной целью которой было изучение влияния поражающих факторов ядерного взрыва, который происходит в космическом пространстве, на расположенные на Земле средства связи, радиолокаторы, электронную аппаратуру баллистических ракет и спутников. Для испытаний использовались ядерные заряды мощностью 1,4-1,7 килотонны. Первый ядерный взрыв произошел на высоте 161 км, второй – на высоте 292 км, а последний третий взрыв – на высоте 750 км (по другим данным 467 км) над поверхностью Земли [42].

Результатом высотного ядерного взрыва был очень сильный электромагнитный импульс, обладавший высокой разрушительной силой на расстояниях более 1900 км [42].

Так, при американских испытаниях на о. Охау внезапно погасло уличное освещение, жители перестали принимать сигнал местной радиостанции, нарушилась телефонная связь. Также нарушилась и работа высокочастотных систем радиосвязи [42].

При проведении испытаний в СССР в 1961-1962 годах электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва на высоте 300 км стал причиной помех в радиолокаторах системы ПВО на расстоянии около 1000 км. Подземный силовой кабель, проходящий на глубине 90 см и протяжённостью 1000 км, соединяющий г. Целиноград и г. Алма-Ата, был выведен из строя. Также электромагнитный импульс стал причиной возникновения пожаров из-за коротких замыканий в электроприборах. Один из пожаров возник на Карагандинской ТЭЦ-3. Также были выведены из строя более 570 км воздушной телефонной линии [43].

Во время проведения всех высотных испытаний ядерного оружия в космосе возникало облако заряженных частиц, которые через определенное время деформировались магнитным полем Земли и вытягивались вдоль ее естественных поясов, повторяя их структуру. Эти интенсивные искусственные радиационные пояса стали причиной выхода из строя спутников, которые находились на низких околоземных орбитах [42].

Заключение

Проведенный анализ показал, что ведущие технологически развитые страны, имеющие выход в космос, и, прежде всего, США, а также другие страны НАТО и Китай, ведут активные разработки по использованию космоса в военных целях. Традиционная сфера использования космического пространства – это разворачивание глобальных систем информационно-космического обеспечения, основу которых составляют системы навигации, связи и разведки. Вместе с тем, в последнее время в ведущих технологически-развитых странах, и, прежде всего, в США, активизировались исследования в области доктрин, концепций и технологий, связанных с разработкой и применением оружия, действующего в космосе и через космос. В настоящее время основу такого оружия составляют ракеты, оснащенные кинетическими

перехватчиками. Однако уже сейчас прорабатываются варианты использования в качестве космического оружия широкой номенклатуры средств: лазерного и пучкового оружия космического базирования, беспилотных воздушно-космических самолетов, КА инспекторов и перехватчиков. Эти тенденции говорят об актуализации направлений исследований по использованию космоса как новой сферы военного противоборства, имеющего глобальный размах и доступного только высокоразвитым государствам.

Литература

1. Stares P. B. The militarization of space: US policy, 1945-1984. – 1985. – 334 p.

2. Bulkeley R., Spinardi G. Space weapons: deterrence or delusion. – Rowman & Littlefield, 1986. – 378 p.

3. Jasani B. Space weapons and international security. – Stockholm International Peace Research Institute, 1987. – 366 p.

4. Lupton D. E. On space warfare: a space power doctrine. – Air University Press, 1988.

5. Preston R., Johnson D. J., Edwards S. J., Miller M. D., Shipbaugh C. Space weapons earth wars. – Rand Corporation, 2002. – 228 p.

6. DeBlois B. M., Garwin R. L., Kemp R. S., Marwell J. C. Space weapons: crossing the US Rubicon // International Security. 2004. Vol. 29. № 2. p. 50-84.

7. Wolter D. Common Security in Outer Space and International Law – Geneva, United Nations Institute for Disarmament Research, 2006. – 305 p.

8. Chun C. Defending Space: US Anti-satellite warfare and space weaponry. – Bloomsbury Publishing, 2012. – 64 p.

9. Klein J. J. Space warfare: Strategy, principles and policy. – Routledge, 2012. – 208 p.

10. Остапенко О. Н., Баушев С. В., Морозов И. В. Информационно-космическое обеспечение группировок войск (сил) ВС РФ: учебно-научное издание. – СПб.: Любавич, 2012. – 368 с.

11. Волков С. Космос как поле для битвы (Часть 1) // Воздушно-космическая оборона [Электронный ресурс]. 05.05.2008. – URL: http://www.vko.ru/koncepcii/kosmos-kak-pole-dlya-bitvy-1 (дата доступа 03.03.2016).

12. Морозов И. В., Баушев С. В. Время нового вида обеспечения // Воздушно-космическая оборона [Электронный ресурс]. 09.10.2016. – URL: http://www.vko.ru/koncepcii/vremya-novogo-vida-obespecheniya (дата доступа 03.03.2016).

13. Стреналюк Ю. В. Военная активность в околоземном пространстве. Противоспутниковые системы [Электронный ресурс]. – М.: Центр по изучению проблем разоружения, энергетики и экологии при МФТИ. 2005. – URL: http://www.armscontrol.ru/course/lectures05a/yvs050428t.htm (дата доступа 03.03.2016).

14. Орбитальная группировка ВС США // Воздушно-космическая оборона [Электронный ресурс]. 2003. – URL: http://old.vko.ru/article.asp?pr_sign=archive.2004.18.17 (дата доступа 03.03.2016).

15. Меньшиков В. А., Перминов А. Н., Рембеза А. И., Урличич Ю. М. Основы анализа и проектирования космических систем мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф. – М.: Машиностроение, 2014. – 736 с.

16. Лавров В. Н. Аналитический обзор космических программ ДЗЗ России и зарубежных стран // ИнноТер [Электронный ресурс]. 2016. – URL: https://innoter.com/scientific-articles/1092 (дата доступа 03.03.2016).

17. Лавров В. Н. Космические съемочные системы сверхвысокого разрешения // ИнноТер [Электронный ресурс]. 2016. – URL: https://innoter.com/scientific-articles/1092 (дата доступа 03.03.2016).

18. Усов В. Применение коммерческих космических систем оптоэлектронной съёмки земной поверхности в интересах ВС США // Зарубежное военное обозрение. 2010. № 12. С. 53-59. – URL: http://pentagonus.ru/publ/materialy_posvjashheny/2000_nastojashhij_moment/primenenie_kommercheskikh_kosmicheskikh_sistem_optoehlektronnoj_sjomki_zemnoj_poverkhnosti_v_interesakh_vs_ssha/122-1-0-1659 (дата доступа 03.03.2016).

19. Мант С. Д. Военно-разведывательные спутники // ProAtom [Электронный ресурс]. 2011. – URL: http://www.proatom.ru/modules.php?file=print&name=News&sid=3299 (дата доступа 03.03.2016).

20. Романов А., Кошелев А. Космическая радиоэлектронная разведка США // Авиация и космонавтика. 1994. № 5-6. С. 45. – URL: http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/a-i-k/1994/5-6/kosm-za-rub.html (дата доступа 03.03.2016).

21. Романов Н. А. Военно-космическая разведка США в современных военных конфликтах // Pentagonus [Электронный ресурс]. 2012. – URL: http://pentagonus.ru/publ/voenno_kosmicheskaja_razvedka_ssha_v_sovremennykh_voennykh_konfliktakh_2012/105-1-0-2260 (дата доступа 03.03.2016).

22. Маршалов К. Американские космические аппараты оптоэлектронной разведки // Зарубежное военное обозрение. 2013. № 10. С. 64-68. – URL: http://pentagonus.ru/publ/amerikanskie_kosmicheskie_apparaty_optoehlektronnoj_razvedki_2013/80-1-0-2491 (дата доступа 03.03.2016).

23. Маршалов К. Основные направления развития космических оптико-электронных средств вооружённых сил США // Зарубежное военное обозрение. 2015. № 12. С. 80-82. – URL: http://pentagonus.ru/publ/osnovnye_napravlenija_razvitija_kosmicheskikh_optiko_ehlektronnykh_sredstv_vooruzhjonnykh_sil_ssha_2015/80-1-0-2670 (дата доступа 03.03.2016).

24. Logsdon T. The Navstar global positioning system. – Springer Science & Business Media, 2012. – 256 p.

25. Крылов А. Космические системы военной связи США: анализ состояния и развития // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 24.10.2013. – URL: http://topwar.ru/34992-kosmicheskie-sistemy-voennoy-svyazi-ssha-analiz-sostoyaniya-i-razvitiya.html (дата доступа 03.03.2015).

26. Строгов С. Перспективные системы спутниковой связи военного назначения ведущих зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. 2009. № 5. С. 50-58. – URL: http://pentagonus.ru/publ/18-1-0-1161 (дата доступа 03.03.2016).

27. Фаличев О. Неуловимые наблюдатели // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 02.08.2015. – URL: https://topwar.ru/79740-neulovimye-nablyudateli.html (дата доступа 03.03.2016).

28. Проект SALS: аэрокосмическая система для запуска наноспутников // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 02.08.2015. – URL: https://topwar.ru/63276-proekt-sals-aerokosmicheskaya-sistema-dlya-zapuska-nanosputnikov.html (дата доступа 03.03.2016).

29. Волков С. Рост воздушной и космической мощи // Воздушно-космическая оборона [Электронный ресурс]. 28.01.2008. URL: http://www.vko.ru/koncepcii/rost-vozdushnoy-i-kosmicheskoy-moshchi (дата доступа 03.03.2016).

30. Душенов К. Военный гиперзвук: Россия и США - наперегонки со смертью // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 20.12.2014. – URL: https://topwar.ru/64828-voennyy-giperzvuk-rossiya-i-ssha-naperegonki-so-smertyu.html (дата доступа 03.03.2016).

31. Сидорин А. Н. Прищепов В. М., Акуленко В. П. Вооруженные силы США в XXI веке: Военно-теоретический труд. - М.: Кучково поле; Военная книга, 2013. - 800 с.

32. Гамзатов Ш. Состояние и перспективы разработки в США наземного варианта противоракеты «Стандарт-3» // Зарубежное военное обозрение. 2010. Т. 762. № 9. С. 39-41.

33. Ракета-перехватчик SM-3 (Standard Missile-3) // Флот 2017 [Электронный ресурс]. 04.10.10. – URL: http://www.flot2017.com/file/show/none/12037 (дата доступа 03.03.2016).

34. 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.

35. Юферев С. Убийцы спутников // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 13.02.2015. – URL: https://topwar.ru/68950-ubiycy-sputnikov.html (дата доступа 03.03.2016).

36. Перунов Ю. М., Мацукевич В. В., Васильев А. А. Зарубежные радиоэлектронные средства / Под ред. Ю.М. Перунова. В 4-х книгах. Кн. 2: Системы радиоэлектронной борьбы. – М.: Радиотехника, 2010. – 352 с.

37. Мяснико В. Лазерные амбиции Пентагона остыли до киловаттного уровня // Независимое военное обозрение [Электронный ресурс]. 05.08.2011. – URL: http://nvo.ng.ru/armament/2011-08-05/8_pentagon.html (дата доступа 03.03.2016).

38. Буренок В. М., Ляпунов В. М., Мудров В. И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. / Под ред. А.М. Московского. – М.: Изд-во «Вооружение. Политика. Конверсия», 2005. – 418 с.

39. Владимиров В. А., Лебедев А. В. Анализ состояния и тенденций развития современных видов оружия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2012. Том 2. № 3 (3). С. 61-80.

40. О противоракетной обороне // Армейский сборник [Электронный ресурс]. 01.11.2012. – URL: http://army-news.ru/2012/11/o-protivoraketnoj-oborone/ (дата доступа 03.03.2016).

41. Компания Sierra Nevada сделает корабль Dream Chaser беспилотным // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 10.04.2015. – URL: https://topwar.ru/72771-kompaniya-sierra-nevada-sdelaet-korabl-dream-chaser-bespilotnym.html (дата доступа 03.03.2016).

42. Юферев С. Оружие под запретом. Часть 6: Ядерное оружие в космосе // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 15.12.2014. – URL: https://topwar.ru/64771-oruzhie-pod-zapretom-chast-6-yadernoe-oruzhie-v-kosmose.html (дата доступа 03.03.2016).

43. Emanuelson J. Soviet Test 184 // Future Science [Электронный ресурс]. – URL: http://www.futurescience.com/emp/test184.html (дата доступа 03.03.2016).

References

1. Stares P. B. The militarization of space: US policy, 1945-1984. – 1985. 334 p.

2. Bulkeley R., Spinardi G. *Space weapons: deterrence or delusion*. Rowman & Littlefield, 1986. 378 p.

3. Jasani B. *Space weapons and international security*. Stockholm International Peace Research Institute, 1987. 366 p.

4. Lupton D. E. *On space warfare: a space power doctrine*. Air University Press, 1988.

5. Preston R., Johnson D. J., Edwards S. J., Miller M. D., Shipbaugh C. *Space weapons earth wars*. Rand Corporation, 2002. – 228 p.

6. DeBlois B. M., Garwin R. L., Kemp R. S., Marwell J. C. Space weapons: crossing the US Rubicon. *International Security*, 2004, vol. 29, no. 2, pp. 50-84.

7. Wolter D. *Common Security in Outer Space and International Law*. Geneva, United Nations Institute for Disarmament Research, 2006. 305 p.

8. Chun C. *Defending Space: US Anti-satellite warfare and space weaponry*. Bloomsbury Publishing, 2012. 64 p.

9. Klein J. J. *Space warfare: Strategy, principles and policy*. Routledge, 2012. 208 p.

10. Ostapenko O. N., Baushev S. V., Morozov I. V. *Informatsionno-kosmicheskoe obespechenie gruppirovok voisk (sil) VS RF* [Information space providing groups of troops (forces) of the armed forces]. Saint-Petersburg, Liubavich Publ., 2012. 368 p. (in Russian).

11. Volkov S. Kosmos kak pole dlia bitvy (Chast' 1) [Space as a field of battle (Part 1)]. *Vozdushno-kosmicheskaia oborona* [Aerospace Defense], 05 May 2008. Available at: http://www.vko.ru/koncepcii/kosmos-kak-pole-dlya-bitvy-1 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

12. Morozov I. V., Baushev S. V. Vremia novogo vida obespecheniia [Time for a new type of security]. *Vozdushno-kosmicheskaia oborona* [Aerospace Defense], 09 October 2016. Available at: http://www.vko.ru/koncepcii/vremya-novogo-vida-obespecheniya (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

13. Strenaliuk Iu. V. *Voennaia aktivnost' v okolozemnom prostranstve. Protivosputnikovye sistemy* [Military activity in near-earth space. Anti-satellite systems]. Moscow, The Center for the study of problems of disarmament, energy and ecology at The Moscow Institute of Physics and Technology, 2005. Available at: http://www.armscontrol.ru/course/lectures05a/yvs050428t.htm (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

14. Orbital'naia gruppirovka VS SShA [Orbital grouping of the U.S. armed forces]. *Vozdushno-kosmicheskaia oborona* [Aerospace Defense], 2003. Available at: http://old.vko.ru/article.asp?pr_sign=archive.2004.18.17 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

15. Menshikov V. A., Perminov A. N., Rembeza A. I., Urlichich Iu. M. *Osnovy analiza i proektirovaniia kosmicheskikh sistem monitoringa i prognozirovaniia prirodnykh i tekhnogennykh katastrof* [Foundations of analysis and design of space systems of monitoring and forecasting of natural and man-made disasters]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2014. 736 p. (in Russian).

16. Lavrov V. N. Analiticheskii obzor kosmicheskikh programm DZZ Rossii i zarubezhnykh stran [Analytical review of remote sensing space programs of Russia and foreign countries]. *InnoTer*, 2016. Available at: https://innoter.com/scientific-articles/1092 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

17. Lavrov V. N. Kosmicheskie semochnye sistemy sverkhvysokogo razresheniia [Space imaging high-resolution]. *InnoTer*, 2016. Available at: https://innoter.com/scientific-articles/1092 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

18. Usov V. Primenenie kommercheskikh kosmicheskikh sistem optoelektronnoi semki zemnoi poverkhnosti v interesakh VS SShA [Use of commercial space systems optoelectronic shooting the earth's surface in the interests of the U.S. army]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2010, no. 12, pp. 53-59. Available at: http://pentagonus.ru/publ/materialy_posvjashheny/2000_nastojashhij_moment/primenenie_kommercheskikh_kosmicheskikh_sistem_optoehlektronnoj_sjomki_zemnoj_poverkhnosti_v_interesakh_vs_ssha/122-1-0-1659 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

19. Mant S. D. Voenno-razvedyvatel'nye sputniki [Military reconnaissance satellites]. *ProAtom*, 2011. Available at: http://www.proatom.ru/modules.php?file=print&name=News&sid=3299 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

20. Romanov A., Koshelev A. Kosmicheskaia radioelektronnaia razvedka SShA [Space electronic reconnaissance USA]. *Aviatsiia i kosmonavtika*, 1994, no. 5-6, pp. 45. Available at: http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/a-i-k/1994/5-6/kosm-za-rub.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

21. Romanov N. A. Voenno-kosmicheskaia razvedka SShA v sovremennykh voennykh konfliktakh [Military space intelligence of the USA in modern military conflicts]. *Pentagonus*, 2012. Available at: http://pentagonus.ru/publ/voenno_kosmicheskaja_razvedka_ssha_v_sovremennykh_voennykh_konfliktakh_2012/105-1-0-2260 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

22. Marshalov K. Amerikanskie kosmicheskie apparaty optoelektronnoi razvedki [American spacecraft optoelectronic intelligence]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign military review], 2013, no. 10, pp. 64-68. Available at: http://pentagonus.ru/publ/amerikanskie_kosmicheskie_apparaty_optoehlektronnoj_razvedki_2013/80-1-0-2491 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

23. Marshalov K. Osnovnye napravleniia razvitiia kosmicheskikh optiko-elektronnykh sredstv vooruzhennykh sil SShA [Main directions of development of space-based optical-electronic means of the armed forces of the United States]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign military review], 2015, no. 12, pp. 80-82. Available at: http://pentagonus.ru/publ/osnovnye_napravlenija_razvitija_kosmicheskikh_optiko_ehlektronnykh_sredstv_vooruzhjonnykh_sil_ssha_2015/80-1-0-2670 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

24. Logsdon T. *The Navstar global positioning system*. Springer Science & Business Media, 2012. 256 p.

25. Krylov A. Kosmicheskie sistemy voennoi sviazi SShA: analiz sostoianiia i razvitiia [Space systems military communications of the United States: analysis of the status and development]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 24 October 2013. Available at: http://topwar.ru/34992-kosmicheskie-sistemy-voennoy-svyazi-ssha-analiz-sostoyaniya-i-razvitiya.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

26. Strogov S. Perspektivnye sistemy sputnikovoi sviazi voennogo naznacheniia vedushchikh zarubezhnykh stran [Prospective satellite communication system for military purposes leading countries]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign military review], 2009, no. 5, pp. 50-58. Available at: http://pentagonus.ru/publ/18-1-0-1161 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

27. Falichev O. Neulovimye nabliudateli [The Elusive observers]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 02 August 2015. Available at: https://topwar.ru/79740-neulovimye-nablyudateli.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

28. Proekt SALS: aerokosmicheskaia sistema dlia zapuska nanosputnikov [The project SALS: aerospace system for launch of nanosatellites]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 02 August 2015. Available at: https://topwar.ru/63276-proekt-sals-aerokosmicheskaya-sistema-dlya-zapuska-nanosputnikov.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

29. Volkov S. Rost vozdushnoi i kosmicheskoi moshchi [The Growth of air and space power]. *Vozdushno-kosmicheskaia oborona* [Aerospace Defense], 28 January 2008. Available at: http://www.vko.ru/koncepcii/rost-vozdushnoy-i-kosmicheskoy-moshchi (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

30. Dushenov K. Voennyi giperzvuk: Rossiia i SShA - naperegonki so smert'iu [Military hypersonic: Russia and USA - death race]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 20 Desember 2015. Available at: https://topwar.ru/64828-voennyy-giperzvuk-rossiya-i-ssha-naperegonki-so-smertyu.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

31. Sidorin A. N. Prishchepov V. M., Akulenko V. P. *Vooruzhennye sily SShA v XXI veke: Voenno-teoreticheskii trud* [Armed forces of the United States in the twenty-first century]. Moscow, Kuchkovo Pole Publ., 2013. 800 p. (in Russian).

32. Gamzatov Sh. Sostoianie i perspektivy razrabotki v SShA nazemnogo varianta protivorakety «Standart-3» [The State and prospects of development in the US ground-based variant missiles "Standard-3"]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign military review], 2010, vol. 762, no. 9, pp. 39-41 (in Russian).

33. Raketa-perekhvatchik SM-3 [Standard Missile-3]. Flot 2017, 04 October 2016. Available at: http://www.flot2017.com/file/show/none/12037 (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

34. 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).

35. Iuferev S. Ubiitsy sputnikov [Killer satellites]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 13 February 2015. Available at: https://topwar.ru/68950-ubiycy-sputnikov.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

36. Perunov Ju. M., Matsukevich V. V., Vasil'ev A. A. *Zarubezhnye radioelektronnye sredstva. Tom 2: Sistemy radioelektronnoi bor'by* [Overseas Radio-Electronic Equipment. Tom 2: Electronic Warfare Systems]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2010. 352 p. (in Russian).

37. Miasniko V. Lazernye ambitsii Pentagona ostyli do kilovattnogo urovnia [Laser ambitions the Pentagon has cooled down to the kilowatt-level]. *Nezavisimoe voennoe obozrenie* [Independent military review], 05 August 2011. Available at: http://nvo.ng.ru/armament/2011-08-05/8_pentagon.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

38. Burenok V. M., Liapunov V. M., Mudrov V. I. *Teoriia i praktika planirovaniia i upravleniia razvitiem vooruzheniia* [Theory and practice of planning and managing the development of weapons]. Moscow, "Vooruzhenie. Politika. Konversiia" Publ., 2005. 418 p. (in Russian).

39. Vladimirov V. A., Lebedev A. V. Analiz sostoianiia i tendentsii razvitiia sovremennykh vidov oruzhiia [The Analysis of the status and trends of development of modern weapons]. *Strategiia grazhdanskoi zashchity: problemy i issledovaniia*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 61-80 (in Russian).

40. O protivoraketnoi oborone [On missile defense]. *Armeiskii sbornik*, 01 November 2012. Available at: http://army-news.ru/2012/11/o-protivoraketnoj-oborone/ (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

41. Kompaniia Sierra Nevada sdelaet korabl' Dream Chaser bespilotnym [Sierra Nevada will make the Dream Chaser unmanned ship]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 10 April 2015. Available at: https://topwar.ru/72771-kompaniya-sierra-nevada-sdelaet-korabl-dream-chaser-bespilotnym.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

42. Iuferev S. Oruzhie pod zapretom. Chast' 6: Iadernoe oruzhie v kosmose [Weapons banned. Part 6: Nuclear weapons in space]. Voennoe obozrenie [Military review], 15 December 2014. Available at: https://topwar.ru/64771-oruzhie-pod-zapretom-chast-6-yadernoe-oruzhie-v-kosmose.html (accessed 03 Mach 2016) (in Russian).

43. Emanuelson J. Soviet Test 184. *Future Science*. 2016. Available at: http://www.futurescience.com/emp/test184.html (accessed 03 Mach 2016).

Статья поступила 21 октября 2016 г.

Информация об авторе

Макаренко Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры сетей и систем связи космических комплексов. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: устойчивость сетей и систем связи к преднамеренным деструктивным воздействиям; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: Россия, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская д. 13.

Information-Space Systems and Space Weapons – Current State and Prospects o Improvement

S. I. Makarenko

Relevance. *The Countries that have access to space, actively developing the concepts for use of space for military purposes. These concepts primarily relate to the development of the information-space systems, which solve problems of intelligence, communications and navigation. In addition, works by the creation of the space weapons become active now too. First of all, this works by creation of the anti-satellite weapons and systems to intercept of the Intercontinental ballistic missiles. The create of the information-space system and the space weapons will lead to a change in the basic principles of war by providing global military presence and possible strikes in any points of the Earth. In this regard, relevant is the analysis of the current state and prospects of use of space for military purposes.* ***The aim of this paper*** *is to analyze the prospects of the use of outer space for military purposes, as well as the current state and prospects of development of the information-space systems and the space weapons. For analysis, we used only open sources, and as examples of the separate space systems used open data about the weapons of created and used in the armed forces of the United States of America.* ***Novelty.*** *The Elements of novelty in the paper are detection of the general trends of development of conceptual bases of warfare in space. Also, the elements of novelty are identified of private tendencies of development for different the information-space systems. These systems are the space intelligence systems, the space system detect of the missile launches and the nuclear explosions, the global navigation system, the system of space meteorology and environment monitoring, the communications systems and relay data. Promising directions for information-space systems based on the small satellites have also been reviewed here. In addition, separate trends of development of the space weapons discussed in the paper.* ***Practical relevance.*** *The review presented can be used by technical*

specialists to make new technologies for the military information-space systems. Also, this review can be useful for the military specialists for elaborating new forms and methods of warfare in space.

Keywords: *space system, space intelligence, the detection system of start of rockets, space navigation system, system space meteorology and environment monitoring, satellite communications system, space warfare, space weapons, anti-satellite missiles, laser weapons, beam weapons, aerospace vehicles, inspectors satellite, means of electronic warfare.*

Information about Author

Sergey Ivanovich Makarenko – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent. 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. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197198, Saint-Petersburg, Zjdanovskaya ulica, 13.

УДК 681.3.06 (075.32)

Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления

Часть 3 – Интегрированные системы управления робототехническими объектами

Шабанов А. П.

Введение: *рассматриваются изобретения, которые относятся к критическим технологиям – технологиям информационных и управляющих систем, определяющих, наряду с другими, основные направления научно-технического развития.* ***Характеристика:*** *разработка представленных технических решений осуществлялась в двух временных интервалах новейшей истории отечественной электронной промышленности – во время становления интеграционных научно-производственных комплексов и постановки масштабных системных проектов в 1980-е годы, и во время восстановления этого подхода в 2010-е годы. В первом периоде были разработаны технические решения по сбору и обработке актуальной информации об объектах управления, по повышению устойчивости функционирования трактов компьютерных сетей с использованием средств радиосвязи и оптоволоконной связи, по управлению временем предоставления информации. Во втором периоде эти технические решения послужили основой для разработки инновационных способов информационной поддержки деятельности организационных систем – ведомств, предприятий, учреждений, и разработки интегрированных систем управления для организационных систем, выполняющих общие задачи с использованием робототехнических объектов.* ***Технический результат.*** *Использование технических решений, разработанных в первом периоде, повышает качественные показатели управления и связи по своевременности и надежности предоставления информации. Использование технических решений, разработанных во втором периоде, позволяет обеспечить максимальную степень автоматизации процессов управления на основе подготовки априорных сценариев для принятия и исполнения управляющих решений.* ***Суть:*** *общее, что объединяет изобретения обоих периодов, является авторский подход, который был применен к поиску идеи изобретения и к его структурному воплощению. Данный подход включает в себя, помимо общеприменяемых, этапы формирования, накопления и использования знаний о сущностях, которые влияют на область деятельности, рассматриваемую в процессах функционирования разрабатываемых способов, систем и устройств. При этом использование этих знаний осуществляется путем обработки данных в компонентах вычислительных комплексов и компьютерных сетей с воздействием на порядок расположения данных и на их содержание.* ***Практическая значимость:*** *информация об изобретениях, разработанных в первом периоде, была опубликована с целью возможного использования идей, лежащих в их основе, для воплощения на базе современных средств вычислительной техники. Инновационные решения, которые были представлены в предыдущем номере журнала, позволяют непрерывно отслеживать состояние деятельности и сократить время на принятие и исполнение управляющих решений в ведомствах, на предприятиях и в учреждениях. Представленные в настоящей статье системно-технические решения предназначены для создания единой информационной среды для организационных систем, которые решают общие задачи, в том числе, для специализированных отраслевых кластеров в составе субъектов малого и среднего бизнеса, крупных предприятий и научных организаций, для систем управления робототехническими объектами.*

Ключевые слова*: изобретения, критические технологии, системы управления, информационные системы, системы связи, накопление знаний, сценарии решений.*

Постановка задачи

В связи с экономическими санкциями, введенными в отношении России рядом зарубежных государств, особое значение приобретают

высокотехнологичные отрасли хозяйства как важнейший источник замещения импортной продукции на внутреннем рынке. Одной из ключевых мер поддержки таких отраслей служит развитие отраслевых кластеров за счет установления новых и укрепления существующих связей между организационными системами – субъектами малого и среднего бизнеса, крупными предприятиями и научными организациями [1]. Необходимым условием для такого развития становится решение *проблемы информационной совместимости* баз знаний систем управления консолидируемых организационных систем, взаимодействующих при решении общих задач. В работе [2] обосновывается важность решения этой проблемы через обеспечение совместимости информационных систем, рассматриваются преимущества совместимости и риски, обусловленные использованием несовместимых систем и нестандартных технологий. Особую актуальность решение данной проблемы приобретает на государственном уровне при создании системы распределенных ситуационных центров, призванную образовать единую информационную среду для решения органами государственной власти плановых задач, задач по предотвращению угроз национальной безопасности и по минимизации негативных последствий от их влияния [3, 4]. При этом важная роль отводится укреплению инновационного пространства для обеспечения устойчивого социально-экономического развития России и реализации государственной научно-технической и инновационной политики [5]. В экономической деятельности (в бизнесе) на информацию смотрят как на ресурс – фактор производства. Рассматривают свойства информации, характеристики и другие факторы с точки зрения полезности информации для бизнеса [6]. Возникают и бурно развиваются рынки информации и различного рода информационные базы общего и коммерческого доступа, расширяется сеть систем связи и комплексов обработки данных [7], а стандартизация в данной области воспринимается руководителями организаций как средство обеспечения совместимости информационных систем [8].

Таким образом, создание единой информационной среды на базе телекоммуникационных сетей и обеспечение доступа к информационным ресурсам консолидируемых организационных систем, решающих общие задачи, позволяет осуществить скоординированное управление их базами знаний, информационными системами, робототехническими и другими объектами, которые влияют на процессы и результаты деятельности этих организационных систем.

Задачей настоящей статьи является представление инновационных технических решений, которые обеспечивают создание и применение на практике единой информационной среды для управления деятельностью организационных систем, консолидируемых на постоянной основе или взаимодействующих в определённом интервале времени. Основными чертами этих решений являются следующие.

1. Целеполагание:

– использование сценариев решений, создаваемых и накапливаемых в базах знаний систем управления деятельностью организационных

систем, для управления робототехническими объектами – беспилотными летательными аппаратами, наземными дистанционно-управляемыми машинами, надводными и подводными необитаемыми аппаратами и др. [9];

– достижение информационной совместимости для взаимодействующих систем управления, отличающихся системами адресации объектов в управляемой инфраструктуре и кодами команд управления [10].

2. Преемственность подходов разработки:

– *на стратегическом уровне* ориентация на критические технологии РФ – технологии информационных, управляющих, навигационных систем [11], которые, наряду с другими, определяют основные направления научно-технического развития;

– *на системном уровне* ориентация на известные решения в области информационной поддержки деятельности организационных систем – деятельности ведомств, предприятий, учреждений, органов власти и их подразделений [12], которые обеспечивают максимальную степень автоматизации процессов управления на основе подготовки и применения априорных и ретроспективных сценариев для автоматического их исполнения робототехническими объектами, информационными системами или для принятия решений субъектами управления в зависимости от имеющихся ресурсов и сложившихся обстоятельств в среде деятельности;

– *на техническом уровне* ориентация на известные решения в области устройств обмена информацией [13], которые обеспечивают сбор и обработку актуальной информации об объектах управления, высокую устойчивость функционирования трактов компьютерных сетей с использованием средств радиосвязи и оптоволоконной связи, управление временем предоставления информации и др.

Общее, что объединяет инновационные решения, представленные в настоящей статье и в предыдущих работах [12, 13], является авторский подход, который был применен к поиску идей этих решений и к их структурному представлению. Данный подход включает в себя, помимо общеприменяемых, этапы формирования, накопления и использования знаний о сущностях, которые влияют на виды деятельности и функции, рассматриваемые в процессах функционирования разрабатываемых способов, систем и устройств. Использование этих знаний осуществляется путем введения в составные части технических решений – в модели вычислительных комплексов и компьютерных сетей, необходимых для достижения технических результатов механизмов обработки данных с воздействием на порядок расположения данных и на их содержание.

Информация об изобретениях и полезных моделях, представленная в настоящей статье, приводится с целью расширения потенциальной области их внедрения в отечественную практику управления деятельностью организационных систем. Применение данных инновационных решений позволяет осуществить скоординированное управление объектами – базами

знаний, робототехническими и информационными системами консолидируемых и взаимодействующих организационных систем, в том числе, чьи ИТ структуры отличаются внутренней адресацией объектов и кодами команд управления.

Комплекс управления робототехническими объектами

Общая характеристика. Техническое решение «Комплекс управления робототехническими объектами» [14] относится к области управления деятельностью организационной системы – предприятия, учреждения, ведомства, их подразделений и служб. Предметной областью являются центры и комплексы управления робототехническими объектами – роботами, автоматическими и автоматизированными системами. В частности, применение данного комплекса возможно в составе или во взаимодействии с другими инновационными техническими решениями [15–17]. Аналогами данного решения являются мобильная робототехническая система и способ управления этой системой [18], интерактивная система управления робототехнической системой [19].

Мобильная робототехническая система [18] содержит рабочие модули, модульную станцию и робот. При этом рабочие модули предназначены каждый для выполнения специфических для них работ, модульная станция предназначена для подсоединения того или иного рабочего модуля к мобильному роботу, мобильный робот включает в себя компоненты, необходимые для обеспечения взаимодействия с модульной станцией, и контроллер, предназначенный для управления приводом.

Мобильный робот, согласно сценарию, предназначенному для выполнения, выбирает из модульной станции один из нескольких рабочих модулей, соединяется с ним и выполняет в соответствии с заданным сценарием работы в автономном режиме. Техническим результатом, достигаемым мобильной робототехнической системой, является способность выполнять различные функции путём смены одного рабочего модуля на другой. Данное техническое решение при его аппроксимировании на использование в организационных системах позволит создавать различное число мобильных робототехнических систем, различающихся по видам выполняемых действий и по месту их размещения в тех или иных подразделениях. Недостатком данного технического решения является отсутствие единого центра управления, позволяющего осуществить на основе данных о состоянии наблюдаемых организационной системой объектов скоординированное взаимодействие робототехнических систем.

Интерактивная система управления робототехнической системой [19] содержит аппаратно-программные средства для создания виртуальных сценариев и синхронизации работы компонентов системы. Включает в себя базу данных виртуальных моделей динамических объектов (объектов наблюдения, управления, воздействия), подсистему преобразования моделей для представления на экране, экран, адаптер, подсистему голосового ввода и манипуляции данными, консоль запуска и управления системой, блок

информационного обеспечения и блок формирования сообщения о критической ситуации.

Техническим результатом, достигаемым интерактивной системой управления, является возможность дистанционно управлять робототехническими системами, применяемыми в реальном масштабе времени. Недостатком данного технического решения является ограниченность его использования областью обучения операторов для действий в сложных условиях. Сценарии воздействия внешней среды и сценарии действий операторов в этих условиях формируются в виртуальной среде и затем отображаются на экране. При этом информация между компонентами системы, включая команды управления, передаётся практически в рамках системы, включая и передачу на экраны мониторов операторов. В то же время, при управлении робототехническими объектами в других областях их применения этого недостаточно. Так, при передаче команд управления в робототехнические системы, размещённые на значительном расстоянии от центра управления, например, в подводных объектах наблюдения, требуется высокий уровень скрытности факта передачи, защищённости от воздействия различного рода помех и целенаправленных негативных воздействий. При этом существует обратная зависимость между объёмом данных, кодирующих команду управления, и уровнем скрытности. Чем меньше объём данных, передаваемых по каналу связи, тем выше уровень скрытности команды управления.

Наиболее близким аналогом к рассматриваемому техническому решению [14] является центр управления организационной системы [15], включающий аналитический центр, центр объективного контроля, средства контроля над объектами наблюдения организационной системы и средства связи. Данное техническое решение выполнено с возможностью визуального отображения на экранах данных контроля о состоянии объектов наблюдения (управления, воздействия) и о показателях эффективности деятельности организационной системы, включая: деятельность в целом, отдельные виды деятельности в организационной системе и в её подразделениях. На основании данных контроля обеспечивается централизованное формирование и использование в работе организационной системы данных о сценариях выполнения работ, включая команды управления по устранению или предотвращению угроз для деятельности организационной системы, по проведению плановых работ. Однако данное техническое решение не обладает возможностью обеспечения скрытной передачи команд управления непосредственно в информационные сети подразделений и внешних организационных систем, а, следовательно, и в системы управления робототехнических объектов. В связи с этим, задача обеспечения скрытности факта передачи команд управления с целью их доведения до системы управления робототехнических объектов является актуальной.

Комплекс управления робототехническими объектами (КУ РО) [14] содержит вычислительный комплекс, систему хранения данных аудита деятельности организационной системы, комплекс кодирования информации, средства связи и интерфейс оборудования (рис. 1).

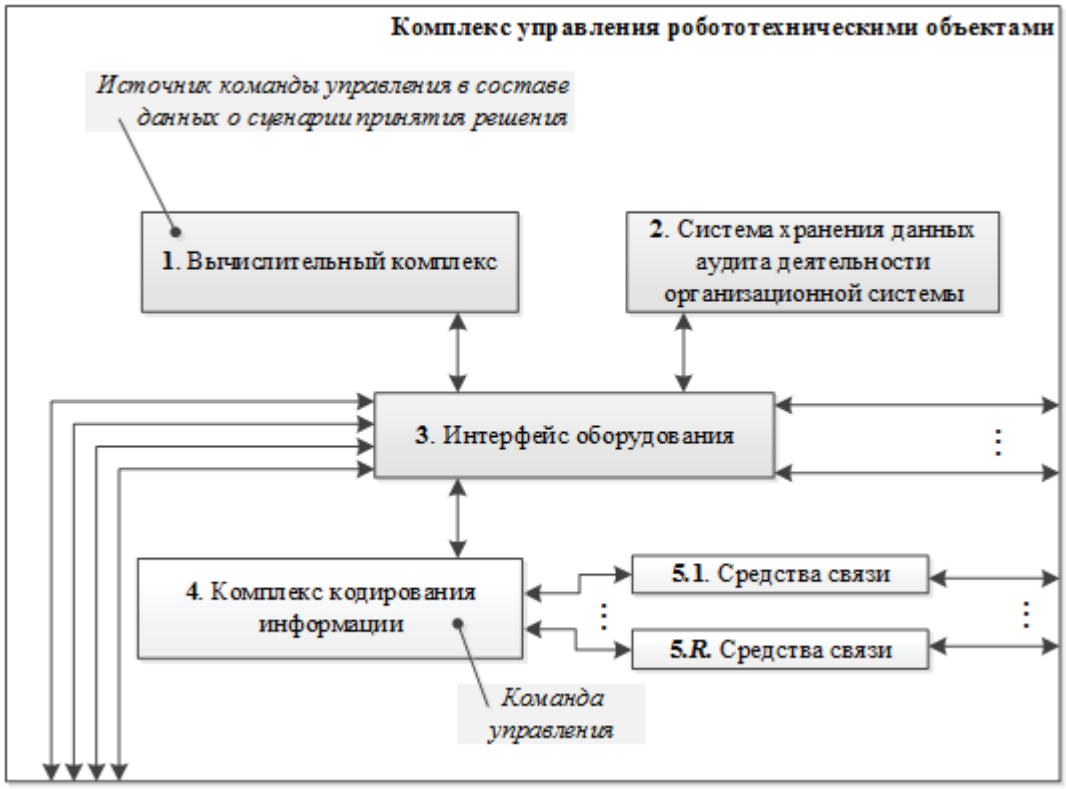


Рис. 1. Структурная схема комплекса
управления робототехническими объектами

КУ РО в режиме передачи формирует команды управления, кодирует их путем формирования для каждой команды соответствующего только ей единичного сигнала и передаёт их в робототехнические объекты. Единичный сигнал обеспечивает возможность создания копии соответствующей команды управления в робототехническом объекте.

КУ РО в режиме приёма декодирует принимаемые из робототехнических объектов единичные сигналы путем формирования для каждого из них кода информации, являющегося копией кода, сформированного в робототехническом объекте, например, о приёме или об исполнении команды.

КУ РО может быть интегрирован через интерфейс оборудования с центром управления организационной системы (ЦУ ОС) (рис. 2) и через средства связи – со средствами контроля над объектами наблюдения. При этом объекты наблюдения представляют собой такие сущности – физические объекты, субъекты и другие субстанции в среде деятельности организационной системы и во внешней, по отношению к ней, среде, которые влияют на деятельность этой организационной системы и консолидируемых с ней других организационных систем.

По принятой команде управления робототехнический объект – робот или робототехническая система, выполняет действия над объектами наблюдения или над другими объектами по записанной (встроенной) в его системе управления программе, соответствующей принятой команде управления. Данными, инициирующими управляющие воздействия, являются данные о фактической эффективности деятельности организационной системы.

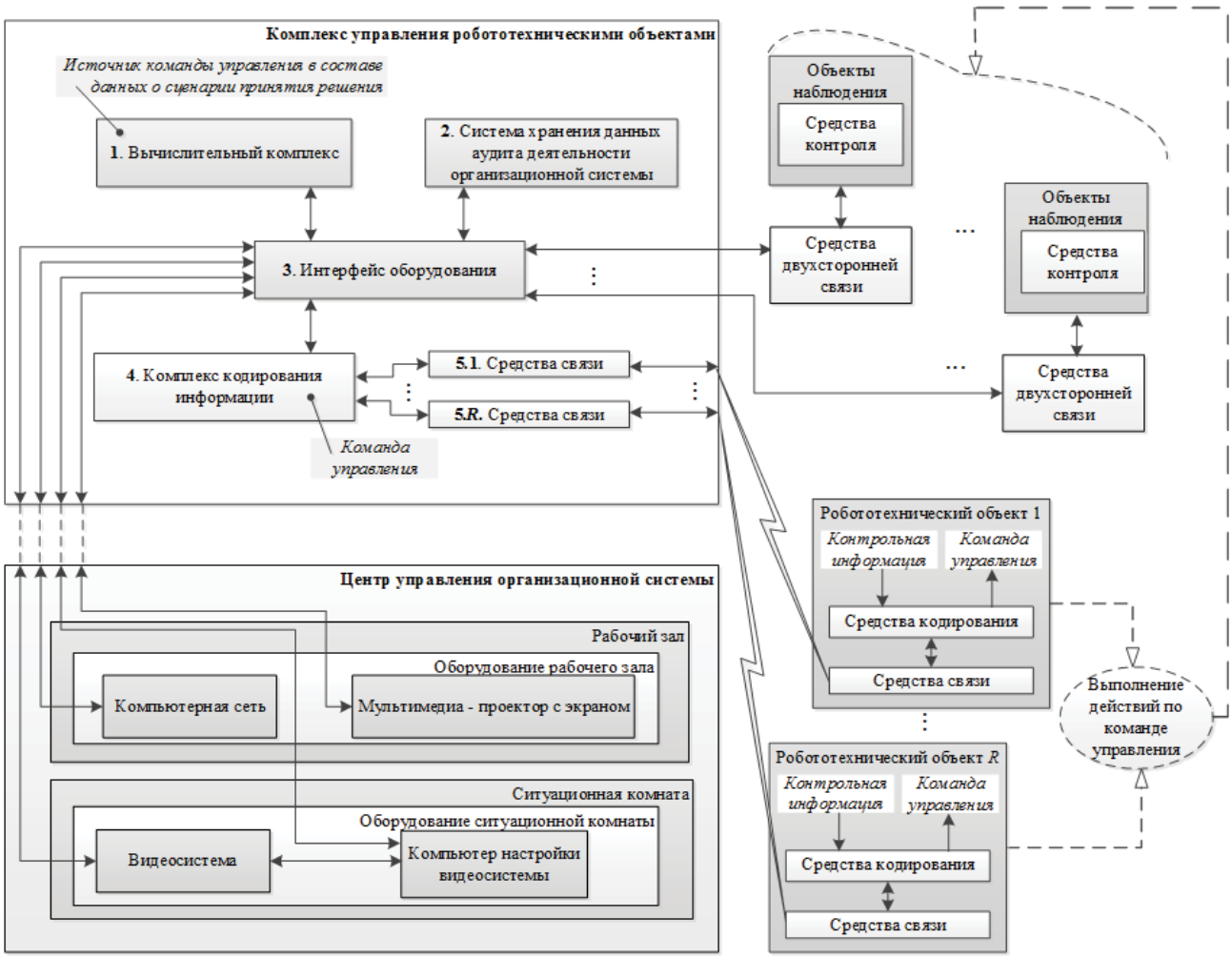


Рис. 2. Схема КУ РО в соединении
с центром управления организационной системы

Эти данные вырабатываются в вычислительном комплексе на основании показателей эффективности состоянии деятельности организационной системы путём сопоставления требуемых (нормированных) данных и фактических данных о состоянии этой деятельности, вырабатываемых в зависимости от фактических показателей объектов наблюдения.

КУ РО выполнен таким образом, что в нём формируются, сохраняются и обеспечивается передача в ЦУ ОС для отображения на экранах мониторов компьютеров, и/или на экранах мультимедиа, и/или на экранах видеосистем следующие технологические данные:

– данные D, D_n и α_n о требуемом состояния деятельности всех организационных систем в целом (далее по тексту, деятельности консолидированной организационной системы), о требуемом состоянии n-го вида деятельности консолидированной организационной системы, n=1, 2, …, N и о назначенном приоритете для n-го вида деятельности;
– данные S_{nm} и β_{nm} о требуемом состоянии n-го вида деятельности, осуществляемой в m-ой организационной системе, и о его приоритете, m=1, 2, …, M, причём

$S_{nm} = \gamma_{nm1}V_{nm1} + \gamma_{nm2}V_{nm2} + \ldots + \gamma_{nmK}V_{nmK}$, где:

данные V_{nmk} и γ_{nmk} о требуемом состоянии k-го объекта наблюдения, который оказывает влияние на n-ый вид деятельности, осуществляемой в m-ой организационной системе, и о его приоритете, k=1, 2, …, K, при этом

$V_{nmk} = \mu^1{}_k V^1{}_{nmk} + \mu^2{}_k V^2{}_{nmk} + \ldots + \mu^{L(k)}{}_k V^{L(k)}{}_{nmk}$, где

$V^l{}_{nmk}$ – данные о требуемом l-ом показателе состояния k-го объекта наблюдения, который оказывает влияние на n-ый вид деятельности, осуществляемой в m-ой организационной системе;

$V^l{}_{nmk}=V^l{}_k$, если k-ый объект наблюдения оказывает влияние на n-ый вид деятельности, осуществляемой в m-ой организационной системе, или $V^l{}_{nmk}=0$ – в противном случае, где

данные $V^l{}_k$ и $\mu^l{}_k$ о требуемом l-ом показателе состояния k-го объекта наблюдения и о его приоритете, l=1, 2, …, $L(k)$, где $L(k)$ – число показателей, которые применяются для характеристики состояния k-го объекта наблюдения;

В средствах контроля над объектами наблюдения формируются оперативные данные $V^{*l}{}_{nmk}$ о фактическом l показателе k-го объекта наблюдения, который оказывает влияние на n-ый вид деятельности, осуществляемой в m-ом подразделении организационной системы. В случае изменения оперативных данных $V^{*l}{}_{nmk}$ о фактическом l показателе k-го объекта наблюдения, который оказывает влияние на n-ый вид деятельности, осуществляемой в m-ом подразделении организационной системы, формируются, сохраняются и отображаются на экранах следующие данные:

- данные $V^*{}_{nmk}$ о фактическом состоянии k-го объекта наблюдения, который оказывает влияние на n-ый вид деятельности, осуществляемой в m-ой организационной системе;
- данные $S^*{}_{nm}$ о фактическом состоянии n-го вида деятельности, осуществляемой в m-ой организационной системе, при этом $S^*{}_{nm} = \gamma_{nm1}V^*{}_{nm1} + \gamma_{nm2}V^*{}_{nm2} + \ldots + \gamma_{nmK}V^*{}_{nmK}$;
- данные $\Delta S^*{}_{nm}$ о фактическом показателе эффективности n-го вида деятельности в m-ой организационной системе, при этом $\Delta S^*{}_{nm} = S^*{}_{nm} / S_{nm}$;
- данные $\Delta S_{nm\text{-крит.}}$ о показателе эффективности n-го вида деятельности, осуществляемой в m-ой организационной системе, снижение, по сравнению с которым, фактического показателя означает существование угрозы для n-го вида деятельности в m-ой организационной системе и необходимости принятия действий по её устранению;
- данные $\Delta S_{nm\text{-доп.}}$ о показателе эффективности n-го вида деятельности, осуществляемой в m-ой организационной системе, снижение, по сравнению с которым, фактического показателя означает возможность появления угрозы для n-го вида деятельности в m-ой организационной системе и необходимости принятия действий по предупреждению

появления угрозы;

- данные D_n о требуемом состоянии n-го вида деятельности консолидированной организационной системы, при этом $D_n = \beta_{n1}S_{n1} + \beta_{n2}S_{n2} + \ldots + \beta_{nM}S_{nM}$;
- данные D^*_n о фактическом состоянии n-го вида деятельности консолидированной организационной системы, при этом $D^*_n = \beta_{n1}S^*_{n1} + \beta_{n2}S^*_{n2} + \ldots + \beta_{nM}S^*_{nM}$;
- данные ΔD^*_n о фактическом показателе эффективности n-го вида деятельности консолидированной организационной системы, при этом $\Delta D^*_n = D^*_n/D_n$;
- данные $\Delta D_{n\text{-крит.}}$ о критическом показателе эффективности n-го вида деятельности консолидированной организационной системы, снижение, по сравнению с которым, фактического показателя означает существование угрозы для этого вида деятельности консолидированной организационной системы и необходимости принятия действий по её устранению;
- данные $\Delta D_{n\text{-доп.}}$ о допустимом показателе эффективности n-го вида деятельности консолидированной организационной системы, снижение, по сравнению с которым, фактического показателя означает возможность появления угрозы для этого вида деятельности консолидированной организационной системы и необходимости принятия действий по предупреждению появления угрозы;
- данные D о требуемом состоянии деятельности консолидированной организационной системы в целом, при этом $D = \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \ldots + \alpha_N D_N$;
- данные D^* о фактическом состоянии деятельности консолидированной организационной системы в целом, при этом $D^* = \alpha_1 D^*_1 + \alpha_2 D^*_2 + \ldots + \alpha_N D^*_N$;
- данные ΔD^* о фактическом показателе эффективности деятельности консолидированной организационной системы в целом, при этом $\Delta D^* = D^*/D$;
- данные $\Delta D_{\text{крит.}}$ о критическом показателе эффективности деятельности консолидированной организационной системы в целом, снижение, по сравнению с которым, фактического показателя ΔD^* эффективности деятельности консолидированной организационной системы в целом означает существование угрозы для деятельности консолидированной организационной системы в целом и необходимости принятия действий по её устранению;
- данные $\Delta D_{\text{доп.}}$ о допустимом показателе эффективности деятельности консолидированной организационной системы в целом, снижение, по сравнению с которым, фактического показателя ΔD^* эффективности деятельности консолидированной организационной системы в целом означает возможность появления угрозы для деятельности консолидированной организационной системы в целом и

необходимости принятия действий по предупреждению появления угрозы.

КУ РО выполнен с возможностью формирования, сохранения и передачи для отображения на экранах ЦУ ОС данных:

– о критических сценариях, предназначенных для управления ликвидацией угрозы;
– о предупреждающих сценариях, предназначенных для управления предотвращением угрозы;
– о плановых сценариях, предназначенных для управления плановой деятельностью,

относящихся к деятельности консолидированной организационной системы в целом, к отдельным видам её деятельности и к отдельным видам деятельности в каждой организационной системе (подразделении).

Сформированные технологические данные хранятся в системе хранения данных аудита КУ РО, периодически подвергаются аудиту, обновляются и используются на стадии эксплуатации. В состав данных о сценариях работ входят команды управления (данные о командах управления), предназначенные для их исполнения робототехническими объектами.

Функционирование. КУ РО работает следующим образом (рис. 2).

В исходном состоянии в вычислительном комплексе 1 формируются и запоминаются технологические данные.

На стадии эксплуатации средства контроля производят сбор данных о фактических показателях объектов наблюдения. С помощью средств двухсторонней связи осуществляется передача этих данных через интерфейс 3 оборудования в вычислительный комплекс 1, где производится сравнение данных о фактических и о требуемых показателях объектов наблюдения, выработка данных о фактических состояниях объектов наблюдения, деятельности организационной системы в целом, её видах деятельности и видов деятельности подразделений организационной системы. В зависимости от результатов оценки фактических состояний определяются данные о сценарии, который должен быть применён в возникшей ситуации.

Выбранный сценарий запоминается в вычислительном комплексе и обеспечивается возможность его отображения на экранах ЦУ ОС.

В состав данных о сценарии входят, по меньшей мере:

– данные о робототехнических объектах организационной системы, которые требуется использовать для проведения действий, например, коды их индексов – $1 \div R$;
– команды управления (данные о командах управления, например, их коды) робототехническими объектами, с указанием на действия, которые надо выполнить и на объекты, в отношении которых должны быть проведены эти действия.

Данные о робототехнических объектах организационной системы, которые требуется использовать для проведения действий (адреса, индексы или

коды), передаются по внутреннему информационному тракту из вычислительного комплекса 1 через интерфейс 3 оборудования в комплекс 4 кодирования информации.

Комплекс 4 кодирования информации выполняет следующие функции при кодировании команды управления:

- принимает из вычислительного комплекса 1 данные о сценарии и запоминает их – по меньшей мере, данные об адресе (коде, индексе) робототехнического объекта и команду управления (например, в виде их двоичных кодов);
- определяет по адресу (индексу) соответствующего робототехнического объекта средство связи, предназначенное для связи с робототехническим объектом, указанным в адресе, например, средство 5.1 связи;
- производит кодирование принятой информации – команды управления из состава данных о сценарии, путём формирования соответствующего этой команде единичного сигнала – сигнала начала кодирования, причём данный сигнал обеспечивает возможность создания в робототехническом объекте копии соответствующей ему команды управления;
- передаёт сформированный сигнал начала кодирования в средство связи, например, средство 5.1 связи, которое принимает данный сигнал и передаёт его через канал связи, например, оптического диапазона волн, в робототехнический объект (например, объект 1), в котором с помощью средств кодирования формируется копия команды управления, соответствующая этому сигналу.

Комплекс 4 кодирования информации выполняет следующие функции при декодировании сигнала начала кодирования, принятого из робототехнического объекта:

- принимает из средства связи (например, средства 5.1 связи) сигнал, принятый этим средством из канала связи и переданный ранее в канал связи из средств связи робототехнического объекта (например, объекта 1), причём данный сигнал соотносится с кодом контрольной информации, сформированной в робототехническом объекте и характеризующей исполнение или неисполнение команды управления;
- производит декодирование принятого сигнала начала кодирования путём формирования кода информации, соответствующего этому сигналу и являющегося копией кода контрольной информации, сформированной в робототехническом объекте;
- определяет по индексу средства связи (например, средства 5.1 связи) адрес робототехнического средства (например, объекта 1), из которого был передан сигнал начала кодирования;
- передаёт данные об адресе робототехнического средства и принятую от него контрольную информацию в вычислительный комплекс 1.

Вычислительный комплекс 1 принимает данную информацию,

запоминает и обрабатывает её в соответствии с алгоритмом обработки данных, принятых из средств контроля объектов наблюдения организационной системы. Затем обеспечивает передачу этой информации в ЦУ ОС для отображения на экранах компьютеров, мультимедиа-проектора и видеосистемы.

Средства связи робототехнических объектов функционируют аналогично средствам связи КУ РО. В качестве этих средств могут быть применены, по существу, любые известные средства связи, в зависимости от используемых каналов связи КУ РО с робототехническими системами.

Средства кодирования робототехнических объектов функционируют аналогично комплексу 4 кодирования информации, за исключением того, что в них не требуется реализовывать алгоритм определения адресов объектов.

В качестве логической основы комплекса 4 кодирования информации КУ РО лежит уникальное техническое решение – «Способ передачи информации» [20], который обеспечивает максимальную степень скрытности факта передачи информации и, одновременно, снижает энергопотребление средств связи.

Способ передачи информации

Технической задачей, на решение которой направлен настоящий способ передачи информации [20] является предложение нового и улучшенного способа – способа передачи информации, обеспечивающего сокращение числа сигналов, передаваемых по каналу связи из передающего пункта в приёмный пункт, необходимых для воспроизведения в нём информации, до одного. Техническим результатом является сокращение электрической мощности, требуемой для передачи информации в двоичном коде по каналу связи. Технический результат достигается за счёт использования свойств сеансовой связи, организуемой между передающим и приёмным пунктами, при этом достигается максимальная степень скрытности факта передачи информации.

Способ передачи информации характеризуется тем, что

<u>в передающем и приёмном пункте</u>:

- вырабатывают периодическую последовательность тактовых импульсов;
- вырабатывают периодическую последовательность сигналов начала сеанса;

<u>в передающем пункте</u>:

- формируют и запоминают сигнал генерации;
- принимают от источника информацию в двоичном коде и запоминают её;
- формируют при поступлении очередного сигнала начала сеанса и соответствующего ему тактового импульса контрольную информацию в двоичном коде, начиная с единицы, увеличивая на единицу с поступлением каждого следующего тактового импульса;
- производят сравнение двоичного кода контрольной информации, начиная с единицы, с двоичным кодом информации, поступившей от

источника информации;
- прекращают формирование контрольной информации при совпадении двоичного кода контрольной информации с двоичным кодом информации, поступившей от источника информации;
- передают сигнал генерации в канал связи, а из канала связи передают его в приёмный пункт;

в приёмном пункте:
- формируют при поступлении сигнала начала сеанса и соответствующего ему тактового импульса контрольную информацию в двоичном коде, начиная с единицы, увеличивая на единицу с поступлением каждого последующего тактового импульса;
- прекращают формирование контрольной информации при поступлении из канала связи сигнала генерации;
- запоминают сформированную ко времени поступления из канала связи сигнала генерации контрольную информацию;
- маркируют её, как информацию, поступившую от источника;
- передают в приёмник информацию, поступившую от источника;
- обнуляют контрольную информацию;
- при поступлении следующего сигнала начала сеанса вновь формируют контрольную информацию в двоичном коде, начиная с единицы, и так далее.

При этом:
- последовательности тактовых импульсов в передающем и приёмном пункте синхронизированы с помощью внешней системы синхронизации, при этом длительность интервалов времени между соседними сигналами синхронизации определяется длительностью тактовых импульсов в передающем и приёмном пункте, периодом их следования и показателями стабильности канала связи;
- последовательности сигналов начала сеанса в передающем и приёмном пункте формируются на основе тактовых импульсов соответственно в передающем и приёмном пункте, а периоды следования сигналов начала сеанса в передающем и приёмном пункте равны;
- при нулевой контрольной информации в приёмном пункте информация, представляемая как информация, поступившая от источника в двоичном коде, в приёмник не передаётся;
- поступающая от источника информация в двоичном коде, содержащая только единицы или только нули, игнорируется – поступление данной информации не инициирует действия по формированию новой контрольной информации;
- в передающем пункте от источника принимается информация в двоичном коде числом бит не менее двух;
- в передающем пункте информация, принятая из источника, и контрольная информация обнуляется после передачи сигнала

генерации, обусловленного данной информацией, в канал связи;

– в передающем пункте принимается от источника новая информация, если передача сигнала генерации в канал связи, обусловленная принятой от источника предыдущей информацией, уже произведена, а предыдущая информация и контрольная информация, сформированная в соответствии с предыдущей информацией, обнулена;
– в передающем пункте игнорируются сигналы начала сеанса, если принятая от источника предыдущая информация и контрольная информация, сформированная в соответствии с предыдущей информацией, не обнулена – поступление данных сигналов начала сеанса не инициирует действия по формированию новой контрольной информации;
– в приёмном пункте игнорируются сигналы начала сеанса, если контрольная информация, сформированная до поступления данных сигналов в соответствии с сигналом генерации, не обнулена – поступление данных сигналов начала сеанса не инициирует действия по формированию новой контрольной информации;
– число тактовых импульсов, поступающих в каждом из периодов поступления сигналов начала сеанса в передающем пункте и в приёмном пункте, всегда больше максимально возможного десятичного кода, образующегося путём перекодирования двоичного кода информации, поступившей от источника.

Временные диаграммы обработки информации в передающем пункте, представленные на рис. 3, отображают:

$T_{ти}$ – период формирования тактовых импульсов в передающем пункте;

$T_{нс}$ – период формирования сигналов начала сеанса в передающем пункте;

$t_{нс}^{i}$ и $t_{нс}^{i+1}$ – соответственно время поступления очередного и последующего сигнала начала сеанса в передающем пункте;

D^i – информация, закодированная в двоичном коде, принятая от источника информации в передающем пункте, и информация, представляемая в приёмном пункте как информация, закодированная в двоичном коде и принятая в передающем пункте от источника информации;

$t_{пи}^{i}$ – время приёма в передающем пункте информации от источника (информация от источника принята в передающем пункте до времени $t_{нс}^{i}$,);

$t_{нс}^{i}$ – время поступления очередного (i-го) сигнала начала сеанса, начиная с которого производится формирование в передающем пункте контрольной информации;

($t_{нс}^{i} \div t_{нс}^{i+1}$) – интервал времени i-го сеанса, в котором в передающем пункте формируется контрольная информация в отношении информации D^i;

$t_{вк}^{i}$ – время окончания формирования в передающем пункте контрольной информации в отношении информации D^i;

T^i – длительность времени формирования в передающем пункте двоичного кода контрольной информации в отношении информации D^i, при этом

$$T^i = t_{вк}^{i} - t_{нс}^{i}, \quad (1)$$

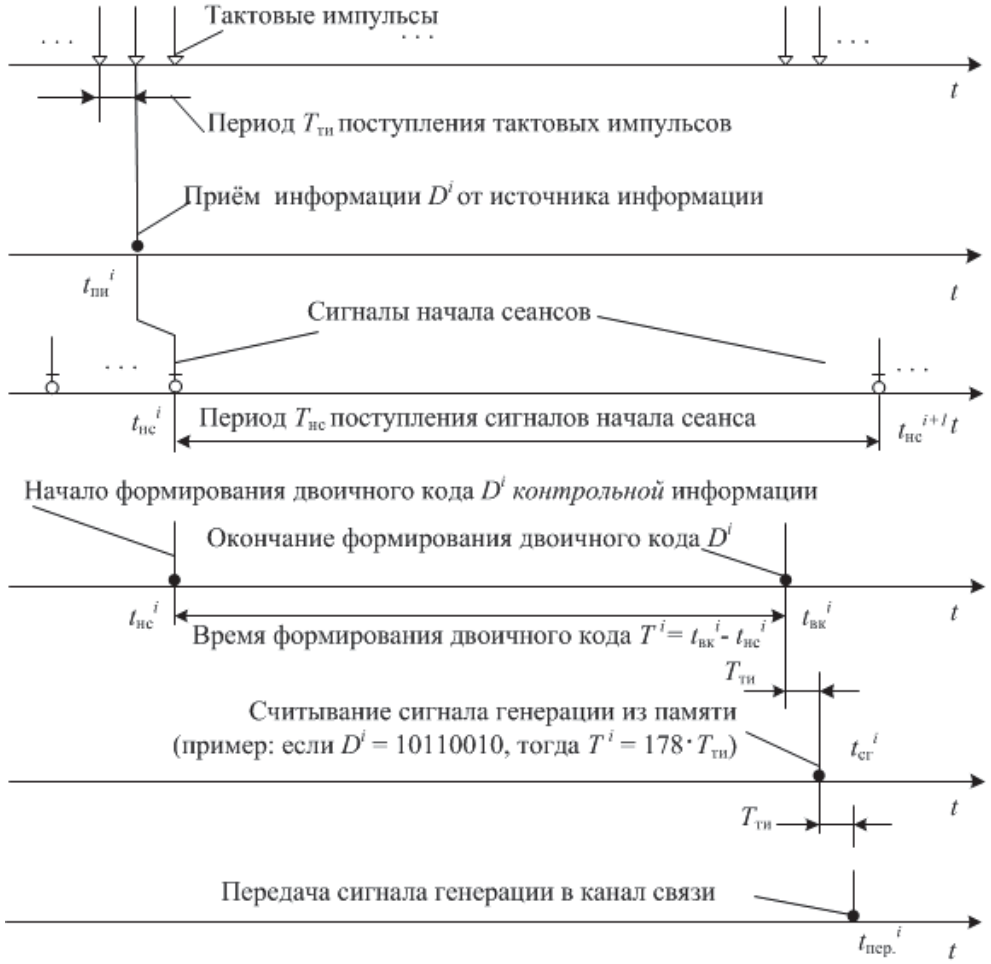


Рис. 3. Временные диаграммы обработки информации
в передающем пункте (пример)

например, если $T^i = 178\ T_{ти}$, тогда двоичный код контрольной информации в передающем пункте равен двоичному коду информации, поступившей от источника и равен:

$$D^i = 10110010; \quad (2)$$

$t_{сг}^{\ i}$ – время считывания сигнала генерации из памяти передающего пункта;

$t_{пер.}^{\ i}$ – время передачи сигнала генерации в канал связи.

Временные диаграммы обработки информации в приёмном пункте, представленные на рис. 4, отображают:

$T^*_{ти}$ – период формирования тактовых импульсов в приёмном пункте;

$T^*_{нс}$ – период формирования сигналов начала сеанса в приёмном пункте;

D^{i*} – информация, представляемая в приёмном пункте как информация, закодированная в двоичном коде и принятая в передающем пункте от источника информации;

$t_{нс}^{\ i*}$ – время поступления очередного (i-го) сигнала начала сеанса и соответствующего этому сигналу тактового импульса;

$t_{нс}^{\ i*} + T^*_{ти}$ – время, начиная с которого производится формирование в приёмном пункте контрольной информации в отношении информации D^{i*};

$t_{пр.}^{\ i}$ – время приёма из канала связи в приёмном пункте сигнала генерации;

Рис. 4. Временные диаграммы обработки информации в приёмном пункте (пример)

$t_{пр.}^{i} + T^*_{ти}$ – время окончания формирования в приёмном пункте контрольной информации в отношении информации D^{i*};

$[(t_{нс}^{i*} + T^*_{ти}) \div (t_{пр.}^{i} + T^*_{ти})]$ – интервал времени i-го сеанса, в приёмном пункте в котором формируется контрольная информация в отношении информации D^{i*};

T^{i*} – длительность времени формирования в приёмном пункте двоичного кода контрольной информации в отношении информации D^{i}, при этом

$$T^{i*} = (t_{пр.}^{i} + T^*_{ти}) - (t_{нс}^{i*} + T^*_{ти}), \quad (3)$$

например, если $T^{i*} = 178 \cdot T^*_{ти}$, тогда двоичный код контрольной информации в приёмном пункте равен двоичному коду информации, представляемую в приёмном пункте как информацию, закодированную в двоичном коде и принятую в передающем пункте от источника, и равен:

$$D^{i*} = 10110010; \quad (4)$$

$t_{пер.}^{i*}$ – время передачи информации D^{i} в приёмник,

причём $T_{ти} = T^*_{ти}$:

$$T^{i} = 178 \cdot T_{ти} = T^{i*} = 178 \cdot T^*_{ти}; \quad (5)$$

$$D^{i} = 10110010 = D^{i*} = 10110010. \quad (6)$$

Таким образом, выполнение действий в соответствии с предлагаемым техническим решением – способом передачи информации [20], как это видно из приведённых на рис. 3 и рис. 4 временных диаграмм и из их описания (1)-(6), обеспечивает передачу информации, поступившей от источника через передающий пункт, канал связи и приёмный пункт в приёмник, без искажения. При этом в канале связи передаётся только сигнал генерации. Тракт передачи информации приведён на рис. 5.

Рис. 5. Тракт передачи информации (пример)

Комплекс информационного взаимодействия

Комплекс информационного взаимодействия [21] обеспечивает информационное взаимодействие в единой информационной среде объектов, подключенных к системам управления (комплексам, центрам и т.д.) разных организационных систем, отличающихся способами идентификации и системами внутренней адресации своих объектов, другими параметрами, в зависимости от назначения объектов. Техническим результатом является расширение функциональных возможностей за счёт обеспечения возможностей:

- преобразования принятой информации, представленной в виде данных, в данные о назначении этой информации и передача данных о назначении информации;
- приём данных о назначении информации, преобразование их в данные об этой информации и передача данных об информации.

Комплекс информационного взаимодействия (КИВ) содержит модуль анализа данных, модуль преобразования данных об информации, модуль преобразования данных о назначении информации, модуль кодирования данных и модуль шифрования данных, информационный вход и выход, объектовые выходы и входы, сетевой выход и вход, вход и выход настройки, вход электропитания (рис. 6).

КИВ работает в следующих режимах.

1. Режим 1 обработки данных, принятых с информационного входа 6.1.
2. Режим 2 обработки данных, принятых с одного из объектовых входов 8.1.
3. Режим 3 обработки данных, принятых с сетевого входа 9.1.

При подготовке КИВ к работе выполняют следующие действия.

1. В модуль 1 анализа данных с входа 7 настройки записывают и хранят:

- данные об адресах объектов, данные в которые и из которых передаются и принимаются соответственно через информационный выход 6.2 и вход 6.1;
- данные об адресах объектов, данные в которые и из которых передаются и принимаются соответственно через объектовые выходы 8.2 и входы 8.1;
- данные об адресах организационных систем (ОС), в объекты которых и из которых данные передаются и принимаются соответственно через сетевые выходы 9.2 и входы 9.1.

Рис. 6. Структурная схема комплекса информационного взаимодействия

2. В модуль 2 преобразования данных об информации с входа 7 настройки записывают и хранят:

– данные об адресе объекта, который подключен к информационному выходу 6.2 и в соответствии с которым, должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях КИВ;
– данные о некорректной ситуации;
– блоки данных о назначении объектов каждой ОС. В состав каждого из этих блоков данных входят данные о его назначении и данные о типах информации, которая может быть в него передана.

При этом:

– объекты, для которых предназначена информация, могут представлять собой робототехнические объекты (роботы и автоматизированные системы), информационные порталы, вычислительные комплексы, персональные компьютеры субъектов ОС, элементы информационных систем (серверы, компьютеры и др.) и компьютерных сетей (коммутаторы, маршрутизаторы и др.), элементы систем сигнализации

и оповещения и другие средства;

– каждому множеству объектов, однородных по назначению, но относящихся к разным ОС, сопоставляется соответствующее множество однородных типов информации;
– к типам информации относятся сценарий принятия решения, команда управления, информация для размещения на портале, запрос на получение информации с портала и др.;
– информация может быть представлена текстом или символами для передачи на портал (приёма с портала), параметрами команды управления или параметрами для настройки и др.;
– данные о назначении разных объектов в одной организационной системе могут совпадать (например, для основного объекта и резервирующего его объекта), но каждым из данных о назначении объекта сопоставляется множество данных о типах информации, присущих только этому объекту.

3. В модуль 3 преобразования данных о назначении информации с входа 7 настройки записывают и хранят:

– данные об адресе объекта, который подключен к информационному выходу 6.2 и в соответствии с которым, должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях КИВ;
– данные о некорректной ситуации;
– блоки данных о назначении информации, причём каждый из которых содержит данные о назначении одного из объектов из числа объектов, которые подключены к входам и выходам данного КИВ (в который входит данный модуль 3), а также данные об адресе этого объекта и данные о типах информации, которые могут быть в него переданы.

При этом:

– данные о назначении разных объектов могут совпадать (например, для основного объекта и резервирующего его объекта), но каждым из этих данных о назначении объекта сопоставляется множество данных о типах информации, присущих только этому объекту;
– к типам информации относятся сценарий принятия решения, команда управления, информация для размещения на портале, запрос на получение информации с портала и др.;
– информация может быть представлена текстом или символами для передачи на портал (приёма с портала), параметрами команды управления или параметрами для настройки и др.

4. В модуль 4 кодирования данных с входа 7 настройки записывают и запоминают:

– данные об адресах тех объектов, средства связи которых подключаются к объектовым входам 8.1 и выходам 8.2;
– данные о программе для кодирования и декодирования данных, которые используются в средствах связи объектов, которые подключаются к объектовым входам 8.1 и выходам 8.2.

5. В модуль 5 шифрования данных с входа 7 настройки записывают и запоминают:

- данные об адресе той ОС, к которой относятся данный модуль 5 и КИВ, в состав которого модуль 5 входит, это могут быть, например, данные о сетевом адресе КИВ в сети передачи данных;
- данные о ключе и/или программе для шифрования и дешифрования, которые используются, например, в сети передачи данных, к которой может быть подключен данный модуль;
- данные об адресе объекта, который подключен к информационному выходу 6.2 и в соответствии с которым, должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях КИВ;
- данные о некорректной ситуации.

Через вход 10 электропитания подаётся электропитание на входы электропитания модуля 1 анализа данных, модуля 2 преобразования данных об информации, модуля 3 преобразования данных о назначении информации, модуля 4 кодирования данных и модуля 5 шифрования данных.

В режиме 1 комплекс информационного взаимодействия работает следующим образом.

1. Модуль 1 анализа данных:

- принимает с информационного входа 6.1 исходный блок данных об информации, содержащий данные об адресе, данные о типе информации и данные об информации;
- производит анализ данных об адресе из состава этого блока данных;
- если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через один из объектовых выходов 8.2, то передаёт принятый исходный блок данных об информации через внутреннюю шину 11 в модуль 4 кодирования данных;
- если приняты данные об адресе ОС, в объекты которой передача данных должна производиться через сетевой выход 9.2, то передаёт принятый исходный *блок данных об информации* через внутреннюю шину 11 в модуль 2 преобразования данных об информации.

2. Модуль 4 кодирования данных:

- принимает из модуля 1 исходный блок данных об информации;
- выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом, кодирование данных о типе информации и об информации из состава блока данных об информации, принятого в модуле 4;
- передаёт кодированные данные о типе информации и об информации в соответствии с данными об адресе объекта, входящими в исходный блок данных об информации, через внутреннюю шину 11 на один из объектовых выходов 8.2.

3. Модуль 2 преобразования данных об информации:

- принимает из модуля 1 исходный блок данных об информации;
- определяет в соответствии с поступившими в модуль 2 данными об адресе ОС, входящих в состав исходного блока данных об

информации, множество блоков данных о назначении объектов этой ОС;

- производит поиск в этом множестве блоков данных блока данных о назначении объекта, в который входят данные о назначении и данные о типе информации, тождественные данным о назначении и данным о типе информации, которые входят в состав исходного блока данных об информации, принятого в модуле 2 из модуля 1;
- если такой блок данных не обнаружен, то передаёт принятый из модуля 1 блок данных об информации и данные о некорректной ситуации на информационный выход 6.2, сопровождая их адресом объекта, который подключен к информационному выходу 6.2 и в соответствии с которым, должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях КИВ;
- если такой блок данных обнаружен, то копирует из этого блока данных *данные о назначении объекта* и запоминает их;
- формирует исходный *блок данных о назначении информации* путём включения в него данных о назначении объекта и поступивших в модуль 2 данных об адресе ОС, данных о типе информации и данных об информации из состава исходного блока данных об информации;
- запоминает исходный блок данных о назначении информации и передаёт *его* через внутреннюю шину 11 в модуль 5 шифрования данных.

4. Модуль 5 шифрования данных:

- выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом (используя, например, запомненные ключ и/или программу шифрования) шифрование исходного блока данных о назначении информации;
- передаёт зашифрованный блок данных о назначении информации на сетевой выход 9.2.

В режиме 2 комплекс информационного взаимодействия работает следующим образом.

1. Модуль 4 кодирования информации:

- принимает с одного из объектовых входов 8.1 закодированный исходный блок данных об информации, содержащий данные об адресе, данные о типе информации и данные об информации;
- производит декодирование принятого исходного блока данных о назначении информации;
- передаёт декодированный исходный блок данных об информации через внутреннюю шину 11 в модуль 1 анализа информации.

2. Модуль 1 анализа данных:

- принимает из модуля 4 декодированный исходный блок данных об информации;
- производит анализ данных об адресе из состава этого блока данных;
- если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через информационный выход 6.2, то передаёт

принятый декодированный исходный блок данных об информации на выход 6.2;

– если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через один из объектовых выходов 8.2, то передаёт принятый декодированный исходный блок данных об информации через внутреннюю шину 11 обратно в модуль 4 кодирования данных;
– если приняты данные об адресе ОС, в объекты которой передача данных должна производиться через сетевой выход 9.2, то передаёт принятый декодированный исходный блок данных об информации через внутреннюю шину 11 в модуль 2 преобразования данных об информации.

3. Модуль 4 кодирования данных:

– принимает из модуля 1 декодированный исходный блок данных об информации;
– выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом (например, используя данные о программе для кодирования), кодирование принятого из модуля 1 декодированного исходного блока данных об информации;
– передаёт этот закодированный блок данных, в соответствии с данными об адресе объекта, входящими в его состав, на один из объектовых выходов 8.2.

Модуль 2 преобразования данных об информации:

– принимает из модуля 1 декодированный исходный блок данных об информации;
– определяет в соответствии с поступившими в модуль 2 данными об адресе ОС множество блоков данных о назначении объектов этой ОС;
– производит поиск в этом множестве блоков данных блока данных о назначении объекта, в который входят данные о назначении объекта и данные о типе информации, тождественные данным о назначении объекта и данным о типе информации, входящих в состав принятого в модуле 2 из модуля 1 декодированного исходного блока данных об информации;
– если такой блок данных не обнаружен, то передаёт принятый из модуля 1 декодированный исходный блок данных об информации и данные о некорректной ситуации на информационный выход 6.2, сопровождая их адресом объекта, который подключен к информационному выходу 6.2 и в соответствии с которым, должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях КИВ;
– если такой блок данных обнаружен, то копирует из этого блока данных *данные о назначении объекта* и запоминает их;
– формирует исходный *блок данных о назначении информации* путём включения в него данных о назначении объекта и поступивших в модуль 2 данных об адресе ОС, данных о типе информации и данных

об информации из состава декодированного исходного блока данных об информации;

– запоминает исходный блок данных о назначении информации и передаёт *его* через внутреннюю шину 11 в модуль 5 шифрования данных.

4. Модуль 5 шифрования данных:

– выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом (используя, например, запомненные ключ и/или программу шифрования), шифрование исходного блока данных о назначении информации;

– передаёт зашифрованный исходный блок данных о назначении информации на сетевой выход 9.2.

В режиме 3 комплекс информационного взаимодействия работает следующим образом.

1. Модуль 5 шифрования данных:

– принимает в соответствии с присущим ему сетевым адресом (данными об адресе ОС) с сетевого входа 9.1 зашифрованный исходный блок данных о назначении информации, включающий данные об адресе ОС, данные о назначении объекта, данные о типе информации и данные об информации;

– дешифрует и запоминает исходный блок данных о назначении информации;

– проверяет тождественность данных об адресе ОС, которые хранятся в модуле 5, и данных об адресе ОС, которые содержатся в дешифрованном исходном блоке данных о назначении информации;

– если проверяемые данные не тождественны, то дешифрованный исходный блок данных о назначении информации и данные о некорректной ситуации передает на информационный выход 6.2, сопровождая их данными об адресе объекта, в который должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях КИВ, а дешифрованный исходный блок данных о назначении информации стирает из модуля 5;

– если проверяемые данные тождественны, то передаёт дешифрованный исходный блок данных о назначении информации через внутреннюю шину 11 в модуль 3 преобразования данных о назначении информации.

2. Модуль 3 преобразования данных о назначении информации:

– принимает из модуля 5 и запоминает дешифрованный исходный блок данных о назначении информации;

– производит поиск во множестве блоков данных о назначении информации, хранящихся в модуле 3, блока данных о назначении информации, в который входят данные о назначении объекта и данные о типе информации, тождественные данным о назначении объекта и данным о типе информации, входящих в состав принятого из модуля 5 дешифрованного исходного блока данных о назначении информации;

– если искомый блок данных о назначении информации не обнаружен, то передаёт принятый из модуля 5 дешифрованный исходный блок данных о назначении информации и данные о некорректной ситуации на информационный выход 6.2, сопровождая их адресом объекта, который подключен к информационному выходу 6.2 и в соответствии с которым, должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях КИВ, а дешифрованный исходный блок данных о назначении информации стирается из модуля;
– если искомый блок данных о назначении информации обнаружен, то копирует из этого блока данных *данные об адресе объекта* и запоминает их;
– формирует и запоминает выходной *блок данных об информации* путём включения в него запомненных данных об адресе объекта и данных о типе информации и данных об информации из состава дешифрованного исходного блока данных о назначении информации;
– передаёт выходной блок данных об информации через внутреннюю шину 11 в модуль 1 анализа данных.

3. Модуль 1 анализа данных:
– принимает из модуля 3 выходной блок данных об информации;
– производит анализ данных об адресе объекта из состава этого блока данных;
– если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через информационный выход 6.2, то передаёт принятый выходной блок данных об информации на выход 6.2;
– если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через один из объектовых выходов 8.2, то передаёт принятый выходной блок данных об информации через внутреннюю шину 11 в модуль 4 кодирования данных.

4. Модуль 4 кодирования данных:
– принимает из модуля 1 выходной блок данных об информации;
– выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом (например, используя данные о программе для кодирования), кодирование выходного блока данных об информации;
– передаёт выходной блок данных об информации, в соответствии с данными об адресе объекта, входящими в состав этого блока, на один из объектовых выходов 8.2, при этом *фиксируют*, что данные о типе информации и данные об информации, входящие в выходной блок данных об информации, тождественны данным о типе информации и данным об информации, входящим в исходный блок данных об информации.

Областью применения технического решения «Комплекс информационного взаимодействия» [21] являются системы (центры) управления (ситуационные и аналитические центры, центры технической поддержки и поддержки пользователей и т. п.) консолидируемых

организационных систем – ведомств, предприятий, учреждений и т. п., которые должны совместно выполнять работы на основе информационного взаимодействия (функционировать в единой информационной среде). Предназначением КИВ является обеспечение информационного взаимодействия между объектами, входящими в системы управления консолидируемых организационных систем.

Устройство управления

Предыдущее инновационное решение [21] позволяет осуществить непосредственное управление объектами, относящимися к разным организационным системам, в том числе и которые отличаются внутренней адресацией объектов. Однако данное решение не обеспечивает возможность переключения режимов управления объектами с местного на дистанционное и обратно, и возможность непосредственного управления объектами, которые имеют другие коды данных – внутреннюю структуру данных. В частности, это может быть обусловлено производством и настройкой однородных по функциям объектов, но разными предприятиями.

В то же время, потребность в таком виде управления существует.

Для организационных систем это может быть в следующих случаях:

1) локальная система управления в подразделении организации неисправна, модернизируется или неработоспособна в конкретном временном интервале;
2) обнаружение проблемы в предметной области деятельности организации или подразделения не позволяет использовать в целях управления систему управления этого подразделения в связи с отсутствием в ней необходимых данных о сценариях принятия решений, необходимых для устранения этой проблемы [3];
3) объекты, которые размещены в зоне организационной системы, находятся в юрисдикции центрального аппарата, другого подразделения или другой консолидируемой организационной системы, предприятия.

В этих случаях функции управления могут быть переданы в систему управления другой организационной системы, в систему управления центрального аппарата или другого подразделения этого или другого предприятия.

Техническим результатом, на достижение которого направлено настоящее инновационное решение – устройство управления [22], является обеспечение дистанционного управления объектами технических систем, вне зависимости от соответствия исходных кодов данных команды управления и кодов данных в объектах любой из консолидируемых организационных систем или любого из их подразделений.

Устройство управления (УУ) предназначено для консолидируемых организационных систем, характеризующихся наличием объектов технических систем, систем управления и сети передачи данных, и содержит модуль анализа данных, модуль преобразования данных об информации, модуль

преобразования данных о назначении информации, модуль кодирования данных, модуль шифрования данных, модуль преобразования данных о командах управления и модуль преобразования данных о функциях команд управления (рис. 7).

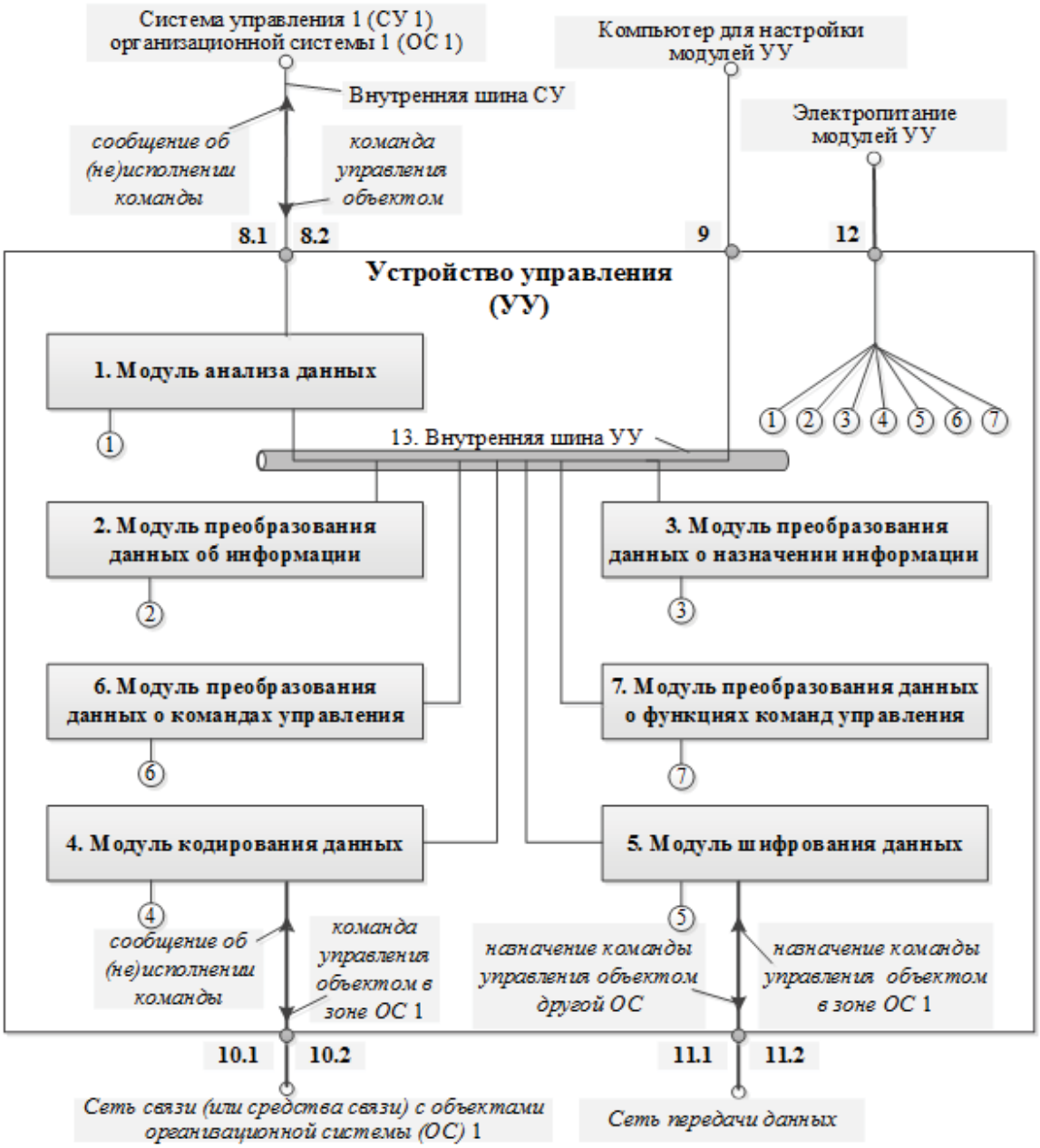


Рис. 7. Структурная схема устройства управления (УУ)

Областью применения устройства управления являются технические системы организационных систем – ведомств, учреждений, предприятий, их подразделений и другие, субъекты которых или автоматические средства (робототехнические объекты и системы) должны выполнять работы на основе взаимодействия в единой информационно-управляющей среде.

Устройство управления работает в следующих режимах.

1. Режим 1 обработки данных, принятых с информационного входа 8.1.
2. Режим 2 обработки данных, принятых с одного из объектовых

входов 10.1.

3. Режим 3 обработки данных, принятых с сетевого входа 11.1.

При подготовке УУ к работе выполняют следующие действия.

1. В модуль 1 анализа данных с входа 7 настройки записывают и хранят:

– данные об адресах объектов, данные в которые и из которых передаются и принимаются соответственно через информационный выход 8.2 и вход 8.1;
– данные об адресах объектов, данные в которые и из которых передаются и принимаются соответственно через объектовые выходы 10.2 и входы 10.1;
– данные об адресах ОС, в объекты которых и из которых данные передаются и принимаются соответственно через сетевые выходы 11.2 и входы 11.1;
– данные о команде управления, инициирующий запрет на приём данных с информационного входа 8.1 от системы управления организационной системы, с которой соединён УУ, в который входит данный модуль 1;
– данные о команде управления, инициирующий разрешение на приём данных с информационного входа 8.1 от системы управления организационной системы, с которой соединён УУ, в который входит данный модуль 1.

2. В модуль 2 преобразования данных об информации с входа 9 настройки записывают и хранят:

– данные об адресе объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
– данные о некорректной ситуации;
– блоки данных о назначении объектов каждой ОС. В состав каждого из этих блоков данных входят данные о его назначении и данные о типах информации, которая может быть в него передана.

При этом:

– объекты, для которых предназначена информация, могут представлять собой роботы и автоматизированные системы, информационные порталы, вычислительные комплексы, персональные компьютеры, элементы информационных систем – серверы, компьютеры и др., и компьютерных сетей – коммутаторы, маршрутизаторы и др., элементы систем сигнализации и оповещения, и другие средства, выполняющие действия и операции в соответствии с записанными или замонтированными в них программами, которые инициируются поступающими в эти объекты данными о командах управления или по времени;
– каждому множеству объектов, однородных по назначению, но относящихся к разным ОС, сопоставляется соответствующее множество однородных типов информации;
– к типам информации относятся сценарий принятия решения,

информация для размещения на портале, запрос на получение информации с портала или ответ на запрос и др.;
- информация может быть представлена текстом или символами для передачи на портал (приёма с портала), параметрами для команды управления или параметрами для настройки объекта и др.;
- данные о назначении разных объектов в одной организационной системе могут совпадать (например, для основного объекта и резервирующего его объекта), но каждым из данных о назначении объекта сопоставляется множество данных о типах информации, присущих только этому объекту.

3. В модуль 3 преобразования данных о назначении информации с входа 9 настройки записывают и хранят:
- данные об адресе объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- данные о некорректной ситуации;
- блоки данных о назначении информации, причём каждый из которых содержит данные о назначении одного из объектов из числа объектов, которые подключены к входам и выходам УУ, в который входит данный модуль 3, а также данные об адресе этого объекта и данные о типах информации, которые могут быть в него переданы.

При этом:
- данные о назначении разных объектов могут совпадать (например, для основного объекта и резервирующего его объекта), но каждым из этих данных о назначении объекта сопоставляется множество данных о типах информации, присущих только этому объекту;
- к типам информации относятся сценарий принятия решения, информация для размещения на портале, запрос на получение информации с портала или ответ на запрос, и др.;
- информация может быть представлена текстом или символами для передачи на портал или приёма с портала, параметрами для команды управления или параметрами для настройки объекта и др.

4. В модуль 4 кодирования данных с входа 9 настройки записывают и запоминают:
- данные об адресах тех объектов, средства связи которых подключаются к объектовым входам 10.1 и выходам 10.2;
- данные о программе для кодирования и декодирования данных, которые используются в средствах связи объектов, которые подключаются к объектовым входам 10.1 и выходам 10.2.

5. В модуль 5 шифрования данных с входа 9 настройки записывают и запоминают:
- данные об адресе той ОС, к которой относятся данный модуль 5 и УУ, в состав которого модуль 5 входит, это могут быть, например, данные о сетевом адресе УУ в сети передачи данных;
- данные о ключе и/или программе для шифрования и дешифрования,

которые используются, например, в сети передачи данных, к которой может быть подключен данный модуль;
- данные об адресе объекта, в соответствии с которым, должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- данные о некорректной ситуации.

6. В модуль 6 преобразования данных о командах управления с входа 9 настройки записывают и хранят:
- данные об адресе объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- данные о некорректной ситуации;
- блоки данных о командах управления, причём каждый блок содержит данные об адресе одной из ОС, данные о командах управления, которые могут быть переданы в объекты этой ОС и данные о функциях (операциях), выполняемых этими командами управления.

При этом:
- объекты, для которых предназначена информация, могут представлять собой роботы и автоматизированные системы, информационные порталы, вычислительные комплексы, персональные компьютеры, элементы информационных систем – серверы, компьютеры и др., и компьютерных сетей – коммутаторы, маршрутизаторы и др., элементы систем сигнализации и оповещения, и другие средства, выполняющие действия и операции в соответствии с записанными или замонтированными в них программами, которые инициируются поступающими в эти объекты данными о командах управления или по времени;
- команды управления предназначены для выполнения следующих функций (операций): запись в объекты или считывание из объектов данных о сценариях принятия решений, для настройки параметров объектов, для управления операциями или действиями, производимыми объектами, для записи и передачи по назначению запросов или ответов на запросы;
- команды управления могут иметь другое смысловое значение, в зависимости от осуществляемой организационными системами деятельности.

7. В модуль 7 преобразования данных о функциях команд управления с входа 9 настройки записывают и хранят:
- данные об адресе объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- данные о некорректной ситуации;
- блоки данных о функциях команд управления, причём каждый из блоков содержит данные о функциях (операциях) команд управления, предназначенных к выполнению над одним из объектов или одним из объектов, подключённых к входам и выходам УУ, в который входит данный модуль 7, данные о командах управления, соответствующих

этим функциям, и данные об адресе этого объекта.

При этом:

– объекты, для которых предназначена информация, могут представлять собой роботы и автоматизированные системы, информационные порталы, вычислительные комплексы, персональные компьютеры, элементы информационных систем – серверы, компьютеры и др., и компьютерных сетей – коммутаторы, маршрутизаторы и др., элементы систем сигнализации и оповещения, и другие средства, выполняющие действия и операции в соответствии с записанными или замонтированными в них программами, которые инициируются поступающими в эти объекты данными о командах управления или по времени;
– команды управления предназначены для выполнения следующих функций (операций): запись в объекты или считывание из объектов данных о сценариях принятия решений, для настройки параметров объектов, для управления операциями или действиями, производимыми объектами, для записи и передачи по назначению запросов или ответов на запросы;
– команды управления могут иметь другое смысловое значение, в зависимости от осуществляемой организационными системами деятельности, от работ, выполняемых робототехническими объектами и системами.

В режиме 1 устройство управления работает следующим образом.

1. Модуль 1 анализа данных:
– принимает с информационного входа 8.1 исходный блок данных, содержащий данные об адресе, данные о команде управления, данные о типе информации и данные об информации;
– производит анализ данных об адресе из состава этого блока данных;
– если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через один из объектовых выходов 10.2, то передаёт принятый исходный блок данных через внутреннюю шину 13 в модуль 4 кодирования данных;
– если приняты данные об адресе ОС, в объекты которой передача данных должна производиться через сетевой выход 11.2, то передаёт принятый исходный блок данных через внутреннюю шину 13 в модуль 2 преобразования данных об информации.

2. Модуль 4 кодирования данных:
– принимает из модуля 1 исходный блок данных;
– выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом, кодирование данных о команде управления, данных о типе информации и об информации из состава блока данных, принятого в модуле 4;
– передаёт кодированные данные о команде управления, о типе информации и об информации в соответствии с данными об адресе объекта, входящими в исходный блок данных, через внутреннюю

шину 13 на один из объектовых выходов 10.2.

3. Модуль 2 преобразования данных об информации:
- принимает из модуля 1 исходный блок данных;
- определяет в соответствии с поступившими в модуль 2 данными об адресе ОС, входящих в состав исходного блока данных, множество блоков данных о назначении объектов этой ОС.
- производит поиск в этом множестве блоков данных, блока данных о назначении объекта, в который входят данные о назначении объекта и данные о типе информации, которые тождественны данным о типе информации, которые входят в состав исходного блока данных, принятого в модуле 2 из модуля 1;
- если такой блок данных не обнаружен, то передаёт принятый из модуля 1 блок данных и данные о некорректной ситуации, сопровождая их адресом объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- если такой блок данных обнаружен, то копирует из этого блока данных данные о назначении объекта и запоминает их;
- формирует блок данных о назначении информации путём включения в него данных о назначении объекта и поступивших в модуль 2 данных об адресе ОС, данных о команде управления, данных о типе информации и данных об информации из состава исходного блока данных;
- запоминает блок данных о назначении информации и передаёт его через внутреннюю шину 13 в модуль 6 преобразования данных о командах управления.

4. Модуль 6 преобразования данных о командах управления:
- принимает из модуля 2 блок данных о назначении информации;
- определяет в соответствии с поступившими в модуль 6 данными об адресе ОС, входящими в состав блока данных о назначении информации, блок данных о командах управления, предназначенных для объектов этой ОС;
- производит в этом блоке данных поиск данных о функции команды управления, соответствующей команде управления, данные о которой входят в состав блока данных о назначении информации, принятого в модуле 6 из модуля 2;
- если эти данные не обнаружены, то передаёт принятый из модуля 2 блок данных о назначении информации и данные о некорректной ситуации, сопровождая их адресом объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- если эти данные о функции команды управления обнаружены, то копирует и запоминает их;
- преобразует блок данных о назначении информации путём включения в него данных о функции команды управления, вместо данных о

команде управления, и включения в него поступивших в модуль 6 данных об адресе ОС, данных о назначении объекта, данных о типе информации и данных об информации из состава блока данных о назначении информации, принятого из модуля 2;

– запоминает преобразованный блок данных о назначении информации и передаёт его через внутреннюю шину 13 в модуль 5 шифрования данных.

5. Модуль 5 шифрования данных:

– выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом (используя, например, запомненные ключ и/или программу шифрования) шифрование преобразованного блока данных о назначении информации;
– передаёт зашифрованный преобразованный блок данных о назначении информации на сетевой выход 11.2.

В режиме 2 устройство управления работает следующим образом.

1. Модуль 4 кодирования информации:

– принимает с одного из объектовых входов 10.1 закодированный исходный блок данных, содержащий данные об адресе, данные о команде управления, данные о типе информации и данные об информации;
– производит декодирование принятого исходного блока данных;
– передаёт декодированный исходный блок данных через внутреннюю шину 13 в модуль 1 анализа информации.

2. Модуль 1 анализа данных:

– принимает из модуля 4 декодированный исходный блок данных;
– производит анализ данных об адресе из состава этого блока данных;
– если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через информационный выход 8.2, то передаёт принятый декодированный исходный блок данных на выход 8.2;
– если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через один из объектовых выходов 10.2, то передаёт принятый декодированный исходный блок данных через внутреннюю шину 11 обратно в модуль 4 кодирования данных.
– если приняты данные об адресе ОС, в объекты которой передача данных должна производиться через сетевой выход 11.2, то передаёт принятый декодированный исходный блок данных через внутреннюю шину 11 в модуль 2 преобразования данных об информации.

3. Модуль 4 кодирования данных:

– принимает из модуля 1 декодированный исходный блок данных;
– выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом (например, используя данные о программе для кодирования), кодирование принятого из модуля 1 декодированного исходного блока данных;
– передаёт этот закодированный блок данных, в соответствии с данными об адресе объекта, входящими в его состав, на один из объектовых

выходов 10.2.

4. Модуль 2 преобразования данных об информации:
- принимает из модуля 1 декодированный исходный блок данных;
- определяет в соответствии с поступившими в модуль 2 данными об адресе ОС множество блоков данных о назначении объектов этой ОС;
- производит поиск в этом множестве блоков данных, блока данных о назначении объекта, в который входят данные о назначении объекта и данные о типе информации, которые тождественны данным о типе информации, входящих в состав принятого в модуле 2 из модуля 1 декодированного исходного блока данных;
- если такой блок данных не обнаружен, то передаёт принятый из модуля 1 декодированный исходный блок данных и данные о некорректной ситуации, сопровождая их адресом объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- если такой блок данных обнаружен, то копирует из этого блока данных данные о назначении объекта и запоминает их;
- формирует блок данных о назначении информации путём включения в него данных о назначении объекта и поступивших в модуль 2 данных об адресе ОС, данных о команде управления, данных о типе информации и данных об информации из состава декодированного исходного блока данных;
- запоминает блок данных о назначении информации и передаёт его через внутреннюю шину 13 в модуль 6 преобразования данных о командах управления.

5. Модуль 6 преобразования данных о командах управления:
- принимает из модуля 2 блок данных о назначении информации;
- определяет в соответствии с поступившими в модуль 6 данными об адресе ОС, входящих в состав блока данных о назначении информации, блок данных о командах управления, предназначенных для объектов этой ОС;
- производит в этом блоке данных поиск данных о функции команды управления, соответствующей команде управления, данные о которой входят в состав блока данных о назначении информации, принятого в модуле 6 из модуля 2;
- если эти данные не обнаружены, то передаёт принятый из модуля 2 блок данных о назначении информации и данные о некорректной ситуации, сопровождая их адресом объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- если эти данные о функции команды управления обнаружены, то копирует и запоминает их;
- преобразует блок данных о назначении информации путём включения в него данных о функции команды управления, вместо данных о

команде управления, и включения в него поступивших в модуль 6 данных об адресе ОС, данных о назначении объекта, данных о типе информации и данных об информации из состава блока данных о назначении информации, поступившего из модуля 2;

– запоминает преобразованный блок данных о назначении информации и передаёт его через внутреннюю шину 13 в модуль 5 шифрования данных.

6. Модуль 5 шифрования данных:

– выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом (используя, например, запомненные ключ и/или программу шифрования), шифрование преобразованного блока данных о назначении информации;
– передаёт зашифрованный преобразованный блок данных о назначении информации на сетевой выход 11.2.

В режиме 3 комплекс интеграции работает следующим образом.

1. Модуль 5 шифрования данных:

– принимает в соответствии с присущим ему сетевым адресом (этот адрес соответствует данным об адресе ОС) с сетевого входа 11.1 зашифрованный преобразованный блок данных о назначении информации, включающий данные об адресе ОС, данные о функции команды управления, данные о назначении объекта, данные о типе информации и данные об информации;
– дешифрует и запоминает принятый блок данных о назначении информации;
– проверяет тождественность данных об адресе ОС, которые хранятся в модуле 5, и данных об адресе ОС, которые содержатся в дешифрованном блоке данных о назначении информации;
– если проверяемые данные не тождественны, то передает дешифрованный блок данных о назначении информации и данные о некорректной ситуации, сопровождая их данными об адресе объекта, в который должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ, а дешифрованный блок данных о назначении информации стирает из модуля 5;
– если проверяемые данные тождественны, то передаёт дешифрованный блок данных о назначении информации через внутреннюю шину 13 в модуль 3 преобразования данных о назначении информации.

2. Модуль 3 преобразования данных о назначении информации:

– принимает из модуля 5 и запоминает дешифрованный блок данных о назначении информации;
– производит поиск во множестве блоков данных о назначении информации, хранящихся в модуле 3, блока данных о назначении информации, в который входят данные о назначении объекта и данные о типе информации, тождественные данным о назначении объекта и данным о типе информации, входящих в состав принятого из модуля 5

дешифрованного блока данных о назначении информации;
- если искомый блок данных о назначении информации не обнаружен, то передаёт принятый из модуля 5 дешифрованный исходный блок данных о назначении информации и данные о некорректной ситуации, сопровождая их адресом объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ, а дешифрованный блок данных о назначении информации стирается из модуля;
- если искомый блок данных о назначении информации обнаружен, то копирует из этого блока данных данные об адресе объекта и запоминает их;
- формирует и запоминает выходной блок данных об информации путём включения в него запомненных данных об адресе объекта и данных о функции команды управления, данных о типе информации, данных об информации из состава дешифрованного блока данных о назначении информации, принятого из модуля 5;
- передаёт выходной блок данных об информации через внутреннюю шину 13 в модуль 7 преобразования данных о функциях команд управления.

3. Модуль 7 преобразования данных о функциях команд управления:
- принимает из модуля 3 выходной блок данных об информации;
- определяет в соответствии с поступившими в модуль 7 данными об адресе объекта и данными о функции команды управления, входящих в состав принятого из модуля 3 выходного блока данных об информации, данные о команде управления, предназначенной для этого объекта;
- если эти данные не определены, то передаёт принятый из модуля 3 выходной блок данных об информации и данные о некорректной ситуации, сопровождая их адресом объекта, в соответствии с которым должны передаваться данные о некорректных ситуациях в модулях УУ;
- если эти данные о команде управления определены, то копирует и запоминает их;
- преобразует выходной блок данных об информации путём включения в него данных о команде управления, вместо данных о функции команды управления, и включения в него поступивших в модуль 7 данных об адресе объекта, данных о типе информации и данных об информации из состава выходного блока данных об информации, принятого из модуля 3;
- запоминает преобразованный выходной блок данных об информации и передаёт его через внутреннюю шину 13 в модуль 1 анализа данных.

4. Модуль 1 анализа данных:
- принимает из модуля 7 преобразованный выходной блок данных об информации;

– производит анализ данных о команде управления из состава этого блока данных;
– если приняты данные о команде управления, инициирующей запрет на приём данных с информационного входа 8.1 от системы управления организационной системы, с которой соединён УУ, в который входит данный модуль 1, то модуль 1 устанавливает такой режим запрета;
– если приняты данные о команде управления, инициирующей разрешение на приём данных с информационного входа 8.1 от системы управления организационной системы, с которой соединён УУ, в который входит данный модуль 1, то модуль 1 устанавливает такой режим разрешения;
– если приняты другие данные о команде управления, то модуль 1 производит анализ данных об адресе объекта из состава принятого блока данных;
– если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через информационный выход 8.2, то передаёт принятый преобразованный выходной блок данных об информации на выход 8.2;
– если приняты данные об адресе объекта, в который передача данных должна производиться через один из объектовых выходов 10.2, то передаёт принятый преобразованный выходной блок данных об информации через внутреннюю шину 13 в модуль 4 кодирования данных.

5. Модуль 4 кодирования данных:
– принимает из модуля 1 преобразованный выходной блок данных об информации;
– выполняет, в соответствии с внутренним алгоритмом (например, используя данные о программе для кодирования), кодирование выходного блока данных об информации;
– передаёт кодированный выходной блок данных об информации, в соответствии с данными об адресе объекта, входящими в состав этого блока, на один из объектовых выходов 10.2, при этом фиксируют, что данные о типе информации и данные об информации, входящие в выходной блок данных об информации, тождественны данным о типе информации и данным об информации, входящим в исходный блок данных об информации.

Положительный эффект от использования технического решения «Устройство управления» [22] в консолидируемых организационных системах состоит в обеспечении дистанционного управления объектами технических систем, вне зависимости от соответствия исходных кодов данных команды управления и кодов данных в объектах. Это достигается за счёт возможности переключения режимов управления объектами технических систем с местного на дистанционное и преобразования данных о функции команды управления в данные об этой команде и передачи их в объект технической системы в кодах

этого объекта.

С целью сокращения инвестиционных активов при создании единой управляемой информационной среды для интегрированных систем управления, в частности, при управлении робототехническими объектами, изменяющими места своей дислокации в зонах ответственности консолидируемых организационных систем, целесообразно рассмотреть и другие варианты (не только выше рассмотренное устройство управления [22]). Одними из таких вариантов является применение передатчика [23] и приёмника [24] данных в различных интерпретациях их комбинирования в единой управляемой информационной среде.

Передатчик данных

Техническим результатом, на достижение которого направлено инновационное решение – передатчик данных [23], является автоматическое преобразование исходных данных о команде управления, сформированных в одной системе управления, в данные о функции этой команды и передачи их в соответствии с адресом в другую систему управления. Передатчик данных содержит модуль анализа данных, модуль преобразования данных о команде управления, модуль данных о командах управления, информационный вход, вход и выход настройки, сетевой выход, вход электропитания и внутреннюю шину (рис. 8).

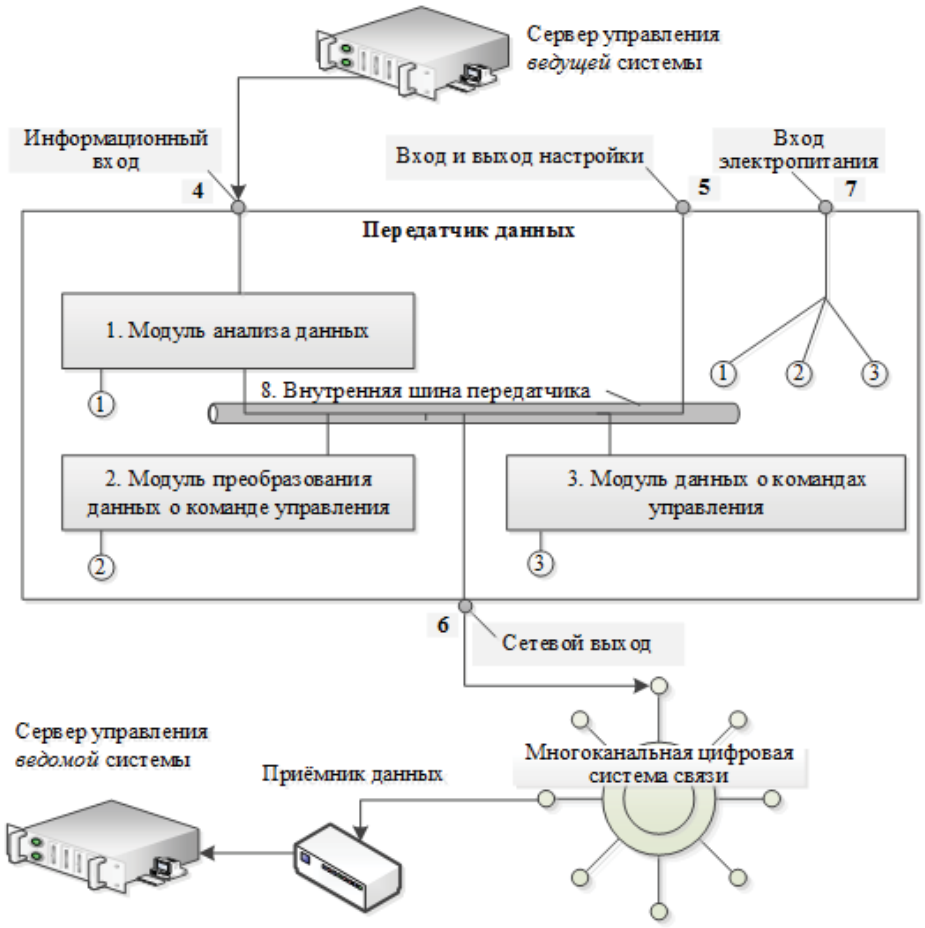


Рис. 8. Структурная схема передатчика данных

Передатчик данных работает следующим образом.

1. При подготовке к работе формирует и запоминает в модуле 3 передатчика данных блоки данных о командах управления, каждый из которых содержит:
   - данные об инструкции, представленные кодами ведущей системы управления, с которой соединён передатчик данных;
   - данные о названии этой инструкции, представляющем собой текстовую информацию о функции, которая должна быть выполнена в ведомой системе управления в соответствии с инструкцией.
2. Принимает с информационного входа 4 в модуле 1 из ведущей системы управления данные об исходной команде управления, которые включают данные об адресе ведомой системы управления, данные об инструкции, представленные в кодах ведущей системы управления и данные о приложении к инструкции, представленные в кодах, которые однозначно воспринимаются ведущей и ведомой системами управления.
3. Выбирает в блоках данных о командах управления, запомненных в модуле 3, и в соответствии с данными об инструкции, входящими в состав данных об исходной команде управления, данные о названии инструкции.
4. Преобразует в модуле 2 данные об исходной команде управления в данные об исходной функции команды управления, которые включают данные об адресе ведомой системы управления, данные о названии инструкции и данные о приложении к инструкции.
5. Передает данные об исходной функции команды управления на сетевой выход 6 и далее в сеть передачи данных.

Приёмник данных

Техническим результатом, на достижение которого направлено техническое решение – приёмник данных [24], является приём и автоматическое преобразование данных о функции команды управления в данные об этой команде и передачи их в систему управления в кодах этой системы. Приёмник данных содержит модуль анализа данных, модуль преобразования данных о функции команды управления, модуль данных о функциях команд управления, информационный выход, вход и выход настройки, сетевой вход, вход электропитания и внутреннюю шину (рис. 9).

Приёмник данных работает в составе системы передачи данных совместно с сетью передачи данных (или с многоканальной цифровой системой связи) и передатчиком данных следующим образом.

1. При подготовке к работе формируют и запоминают в модуле 11 данных о командах управления в передатчике данных блоки данных о командах управления, каждый из которых содержит:
   - данные об инструкции, представленные кодами ведущей системы управления, с которой соединён передатчик данных;
   - данные о названии этой инструкции, представляющем собой текстовую информацию о функции, которая должна быть выполнена в ведомой системе управления в соответствии с инструкцией.

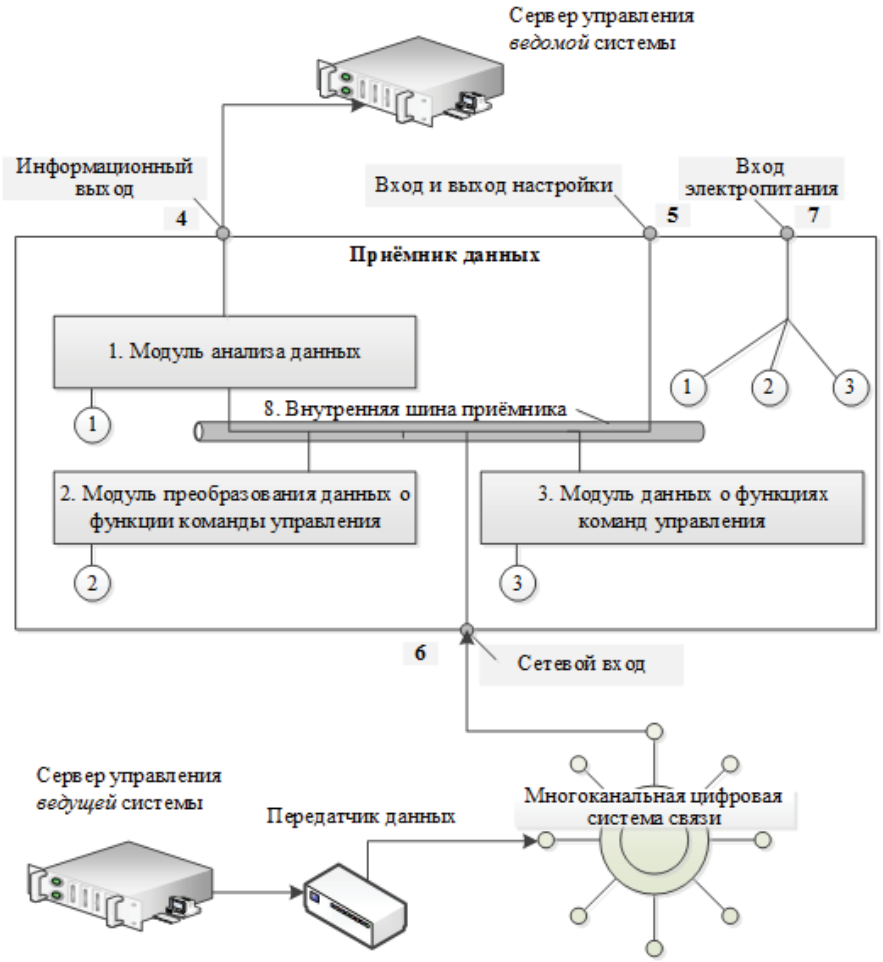


Рис. 9. Структурная схема приёмника данных

2. Формируют и запоминают в модуле 3 данных о функциях команд управления в приёмнике данных блоки данных о функциях команд управления, каждый из которых содержит:

- данные о названии инструкции, представленные кодами, тождественными кодам данных о соответствующем названии инструкции, которые запомнены в передатчике данных;
- данные об инструкции, соответствующей этому названию, представленные кодами ведомой системы управления, с которой соединён приёмник данных;
- данные об адресе компонента системы управления, с которой соединён приёмник данных, и над которым должны произвести операции (действия) в соответствии с этой инструкцией.

3. Принимают из сети передачи данных с сетевого входа 6 через внутреннюю шину 8 приёмника в модуле 1 анализа данных данные о выходной функции команды управления.

4. Выбирают в блоках данных о функциях команд управления, запомненных в модуле 3, и в соответствии с данными о названии инструкции, входящими в состав данных о выходной функции команды управления, данные об инструкции и данные об адресе компонента, над которым должны

произвести действия в соответствии с этой инструкцией.

5. Преобразуют в модуле 2 преобразования данных о функции команды управления данные о выходной функции команды управления в данные о выходной команде управления, которые включают данные об адресе компонента, данные об инструкции и данные о приложении к инструкции.

6. Передают выходные данные о команде управления через модуль 1 и информационный выход 4 в ведомую систему управления.

Промышленные свойства инновационных решений

Технические решения – управляющее устройство [22], как один вариант решения и передатчик [23] с приёмником [24] данных, как другой вариант решения одной и той же задачи, обладают следующими промышленными свойствами.

1. Областью применения являются интегрированные системы управления, между которыми осуществляется обмен управляющей информацией, в том числе, для решения задач по предотвращению различных угроз и ликвидации негативных последствий. К таким системам относятся:

- системы управления робототехническими объектами;
- автоматизированные системы управления деятельностью ведомств и предприятий;
- центры и пункты управления в учреждениях и научных организациях;
- ситуационные, ситуационно-аналитические и аналитические центры в ведомствах, государственных, региональных и муниципальных органах власти, другие системы.

2. Передача команды в системе передачи данных осуществляется от ведущей системы управления, например, из её сервера управления через её общую шину в соединённый с ней передатчик данных, далее через сеть передачи данных и приёмник данных в соединённую с ним ведомую систему управления, например, через её общую шину в её сервер управления (рис. 9).

3. Каждая команда управления может состоять из следующих сегментов:

- адрес, представляющий собой информацию об адресе ведомой системы управления, в которую должна быть передана эта команда, причём это может быть электронный адрес в сети передачи данных приёмника данных, выход которого соединён через общую шину ведомой системы управления с её сервером управления;
- инструкция, представляющая собой кодовую информацию о действии, которое должно быть произведено в ведомой системе управления (например, это м. б. действие «записать сценарий принятия решения в систему хранения данных аудита о деятельности организационной системы», как в [17]);
- приложение к инструкции – представляет собой информационный объект, используемый при производстве действий в соответствии с инструкцией (например, это м. б. «сценарий принятия решения», как в [17]).

При этом:

- в случае прямого канала передачи данных – информационного тракта, между взаимодействующими системами управления сегмент адреса в команде управления может отсутствовать, а, следовательно, могут отсутствовать данные об адресе в исходной команде управления;
- в случае наличия во взаимодействующих системах управления баз знаний о командах управления, тождественных по выполняемым действиям и не требующих приложений, сегмент приложения к инструкции в команде управления может отсутствовать, а, следовательно, могут отсутствовать данные о приложении к инструкции в данных об исходной команде управления;
- при обоих указанных выше условиях команда управления может включать только сегмент инструкции.

4. Аппаратно-программные платформы взаимодействующих систем управления могут быть построены разными компаниями на технических и программных средствах от разных производителей и произведённых на разных предприятиях, поэтому тождественные по функциям команды управления в разных системах управления могут отличаться кодами данных.

Заключение

Инновационность представленных в статье технических решений заключается в расширении применения баз знаний сценариев управленческих решений интегрированных систем управления на область управления робототехническими объектами с изменением мест их дислокации в зонах ответственности консолидируемых организационных систем. Это достигается как на основе ранее рассмотренных решений [12] в части:

- априорного метода – путём обработки и анализа ретроспективной информации о всех сущностях, оказавших влияние на состояние деятельности организаций в предшествующие интервалы времени;
- опытного добавления знаний путём обработки вновь созданного сценария и уже применённого к конкретной обстановке в среде деятельности и анализа всех обстоятельств, относящихся к этой обстановке;
- проверки актуальности компонентов выбранного из базы знаний сценария решения непосредственно до предоставления его лицу, принимающему решение или до передачи его на исполнение, и, при необходимости, модернизации этого сценария,

так и путём обеспечения выполнения в различных интерпретациях в компонентах компьютерных сетей логических операций по автоматической обработке и преобразованию данных о функциях команд управления, о собственно командах управления, о технических объектах организационных систем и об их назначении [14, 20–24].

Положительный эффект от внедрения представленных в приложении изобретений и полезных моделей в практику управления деятельностью

организационных систем с применением робототехнических объектов заключается:

- в повышении устойчивости государственного, ведомственного и других видов управления;
- в повышении достоверности сценариев управленческих решений и, как следствие, в сокращении сроков достижения целей управления при предотвращении угроз для деятельности различных уровней иерархии, при минимизации негативных последствий от уже реализованных угроз и при выполнении плановых работ;
- в повышении устойчивости функционирования информационных систем в консолидируемых организационных системах;
- в повышение устойчивости бизнеса предприятий различных отраслей хозяйствования.

Литература

1. Земцов С., Баринова В., Панкратов А., Куценко Е. Потенциальные высокотехнологичные кластеры в российских регионах: от текущей политики к новым точкам роста // Форсайт. 2016. Т. 10. № 3. С. 34–52. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26718339 (дата обращения 07.11.2016).

2. Брауде-Золотарев М., Гребнев Г., Ермаков Р., Рубанов Г., Сербина Е. Интероперабельность информационных систем. Сборник материалов – М.: INFO-FOSS.RU, 2008. – 128 с. – URL: http://www.ifap.ru/library/book358.pdf (дата обращения 07.11.2016).

3. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2015. – 232 с. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26346357 (дата обращения 07.11.2016).

4. Проскурин О. Н. Информационная совместимость – обязательное условие реализации концепции «сетецентрических войн» // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2011. № 70. С. 45–51. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=17060799 (дата обращения 07.11.2016).

5. Васин В. А., Миндели Л. Э. Пространственные аспекты формирования и развития национальной инновационной системы // Инновации. 2011. № 11 (157). С. 24–34. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=18017310 (дата обращения 07.11.2016).

6. Зусев Г. Ю. Трансформация условий и инструментов формирования человеческого капитала в информационном обществе. Дисс. канд. экон. наук. – Курск: Юго-западный государственный университет, 2012. – 197 с. – URL: http://www.dissercat.com/content/transformatsiya-uslovii-i-instrumentov-formirovaniya-chelovecheskogo-kapitala-v-informatsion (дата обращения 07.11.2016).

7. Плотников В. А., Койда С. П. Информационная инфраструктура и ее роль в обеспечении инновационного развития бизнеса // Экономика и управление. 2014. № 1. С. 30-35. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=21248160 (дата обращения 07.11.2016).

8. Мамыкин В. Открытые стандарты и совместимость ИС // LAN: Журнал сетевых решений. 2006. № 11. – URL: http://www.osp.ru/lan/2006/11/3675867/ (дата обращения 07.11.2016).

9. Макаренко С. И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 73-132. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/04-Makarenko.pdf (дата обращения 07.11.2016).

10. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Интеграционный характер информационной поддержки решений по противодействию военным угрозам национальной безопасности // Стратегическая стабильность. 2016. № 3 (76). С. 31–37. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26539316 (дата обращения 21.11.2016).

11. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Шабанов А. П. Об информационной поддержке деятельности в системах управления критическими технологиями на основе ситуационных центров // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 98–113. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2015-04/05-Zatsarinnyy.pdf (дата обращения 07.11.2016).

12. Шабанов А. П. Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления. Часть 2 – Управление деятельностью организационных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 179–226. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/05-Shabanov.pdf (дата обращения 27.11.2016).

13. Шабанов А. П. Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления. Часть 1 – Устройства обмена информацией // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 1-43. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/01-Shabanov.pdf (дата обращения 07.11.2016).

14. Козлов С. В., Козлов В. С., Шабанов А. П. Комплекс управления робототехническими объектами // Патент на полезную модель RU 140887 U1, опубл. 20.05.2014, бюл. № 14. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=25998512 (дата обращения 07.11.2016).

15. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Сучков А. П., Шабанов А. П. Центр управления организационной системы // Патент на полезную модель RU 127493 U1, опубл. 27.04.2013, бюл. № 12. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=25995467 (дата обращения 07.11.2016).

16. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Система управления деятельностью организационных систем // Патент на изобретение RU 2595335 C2, опубл. 27.08.2016, бюл. № 24. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26545435 (дата обращения 07.11.2016).

17. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Сучков А. П., Шабанов А. П. Система ситуационно-аналитических центров организационной системы // Патент на изобретение RU 2533090 C1, опубл. 20.11.2014, бюл. № 32. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=25995572 (дата обращения 07.11.2016).

18. Сонг Д., Джеунг С., Ли Д., Ко Д., Лим К. Мобильная робототехническая система и способ управления этой системой // Патент на изобретение RU 2313442 C1, опубл. 27.12.2007, бюл. 36 – URL: http://www.fips.ru/Archive/PAT/2007FULL/2007.12.27/DOC/RUNWC1/000/000/002/313/442/document.pdf (дата обращения 07.11.2016).

19. Сурженко И. Ф., Луночкина И. М., Сапрунов В. Н., Сидоров А. Н. Интерактивная система управления робототехнической системой // Патент на полезную модель RU 80050 U1, опубл. 20.01.2009, бюл. 2 – URL: http://www.fips.ru/Archive/PAT/2009FULL/2009.01.20/DOC/RUNWU1/000/000/000/080/050/document.pdf (дата обращения 07.11.2016).

20. Козлов С. В., Козлов В. С., Шабанов А. П. Способ передачи информации // Патент на изобретение RUS 2560820, 09.10.2013. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26073990 (дата обращения 05.12.2016).

21. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Комплекс информационного взаимодействия // Патент на полезную модель RUS 160257, 11.11.2015. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=25998444 (дата обращения 05.12.2016).

22. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Устройство управления // Патент на полезную модель RUS 167247, решение о выдаче патента от 28.10.2016 по заявке № 2016114483 от 14.04.2016.

23. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Передатчик данных // Патент RU165924U1 на полезную модель, опубл. 10.11.2016, бюл. № 31. – URL: http://www.fips.ru/Archive4/PAT/2016FULL/2016.11.10/DOC/RUNWU1/000/000/000/165/924/document.pdf (дата обращения 05.12.2016).

24. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Приёмник данных // Патент RU165993U1 на полезную модель, опубл. 10.11.2016, бюл. № 31. – URL: http://www.fips.ru/Archive4/PAT/2016FULL/2016.11.10/DOC/RUNWU1/000/000/000/165/993/DOCUMENT.PDF (дата обращения 05.12.2016).

References

1. Zemtsov S., Barinova V., Pankratov A., Kutsenko E. Potential High-Tech Clusters in Russian Regions: From Current Policy to New Growth Areas. *Foresight and STI Governance*, 2016, vol. 10, no 3, pp. 34–52. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.34.52. Available at: https://foresight-journal.hse.ru/2016-10-3/191162713.html (accessed 09 December 2016) (in Russian).

2. Braude-Zolotarev M., Grebnev G., Yermakov R., Rubanov G., Serbina E. Interoperability of information systems. *Compendium.* Moscow, INFO-FOSS.RU, 2008. – 128 p. Available at: http://www.ifap.ru/library/book358.pdf (accessed 09 December 2016) (in Russian).

3. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Information technology support for the activities of the organizational systems based on situational centers. Moscow, TORUS PRESS, 2015. – 232 p. Available at: http://elibrary.ru/item.asp?id=26346357 (accessed 09 December 2016) (in Russian).

4. Proskurin O. N. Compatibility information is a mandatory condition of implementation of the concept of «network-centric warfare». *Proceedings of the Russian Academy of missile and artillery Sciences*, 2011, no 70, pp. 45–51. Available

at: http://elibrary.ru/item.asp?id=17060799 (accessed 09 December 2016) (in Russian).

5. Vasin V. A., Mindeli L. E. Spatial aspects of formation and development of national innovation system. *Innovation*, 2011, vol. 157, no. 11, pp. 24–34. Available at: http://elibrary.ru/item.asp?id=18017310 (accessed 09 December 2016) (in Russian).

6. Zusev G. U. Transformation conditions and tools for the formation of human capital in a knowledge-based society. Dis. Ph.D. of Econ. Sciences. Kursk, 2012. – 197 p. Available at: http://www.dissercat.com/content/transformatsiya-uslovii-i-instrumentov-formirovaniya-chelovecheskogo-kapitala-v-informatsion (accessed 09 December 2016) (in Russian).

7. Plotnikov V. A., Kojda S. P. Information infrastructure and its role in providing innovative business development. *Economics and management*, 2014, no. 1, pp. 30–35. Available at: http://elibrary.ru/item.asp?id=21248160 (accessed 09 December 2016) (in Russian).

8. Mamikin V. Open standards and IS compatibility // Publishing House «Open systems». *LAN. Journal of network solutions*, 2006, no. 11. Available at: http://www.osp.ru/lan/2006/11/3675867/ (accessed 09 December 2016) (in Russian).

9. Makarenko S. I. Military Robots – the Current State and Prospects of Improvement. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 2, pp. 73–132. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/04-Makarenko.pdf (accessed 09 December 2016) (in Russian).

10. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. About the technological approach to the information support of the armed forces. *Strategic stability*, 2016, vol. 76, no. 3, pp. 31–37. Available at: http://elibrary.ru/item.asp?id=26539316 (accessed 09 December 2016) (in Russian).

11. Zatsarinnyy A. A., Kozlov S. V., Shabanov A. P. Information Support for the Activities of the Critical Technologies in Control Systems Based on Situational Centers. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 98–113. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2015-04/05-Zatsarinnyy.pdf (accessed 09 December 2016) (in Russian).

12. Shabanov A. P. Innovation: Sharing Devices to Integrated Management Systems. Part 2 – Management of organizational systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 3, pp. 179–226. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/05-Shabanov.pdf (accessed 09 December 2016) (in Russian).

13. Shabanov A. P. Innovation: Sharing Devices to Integrated Management Systems. Part 1 – Sharing Devices. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 2, pp. 1–43. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/01-Shabanov.pdf (accessed 12 September 2016) (in Russian).

14. Kozlov S. V., Kozlov V. S., Shabanov A. P. Robotic control objects. Patent Russia RU 140887 U1. Publish. 20.05.2014, bul. no. 14 (in Russian).

15. Zatsarinnyy A. A., Kozlov S. V., Suchkov A. P., Shabanov A. P. Management Center of organizational system. Patent Russia RU 127493 U1. Publish. 27.04.2013, bul. no. 12 (in Russian).

16. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Organizational systems management system. Patent Russia RU 2595335 C2. Publish. 27.08.2016, bul. no. 24 (in Russian).

17. Zatsarinnyy A. A., Kozlov S. V., Suchkov A. P., Shabanov A. P. System for situation-analytical centers of organizational system. Patent Russia RU 2533090 C2. Publish. 20.11.2014, bul. no. 32 (in Russian).

18. Song D., Djeung S., Li D., Ko D., Lim K. Mobile robotic system and method of managing this system. Patent Russia RU 2313442 C1. Publish. 27.12.2007, bul. no. 36 (in Russian).

19. Surgenko I. F., Lunochkina I. M., Saprunov V. N., Sidorov A. N. Interactive control system of robotic system. Patent Russia RU 80050 U1, Publish. 20.01.2009, bul. no. 2 (in Russian).

20. Kozlov S. V., Kozlov V. S., Shabanov A. P. Information transmission method. Patent Russia RU 2560820 C1, Publish. 20.08.2015, bul. no. 23 (in Russian).

21. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Complex communication. Patent Russia RU 160257 U1. Publish. 10.03.2016, bul. no. 7 (in Russian).

22. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Device management. Patent Russia RU 167247 U1, the decision on the grant of a patent 28.10.2016 (in Russian).

23. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Data transmitter. Patent Russia RU 165924 U1. Publish. 10.11.2016, bul. no. 31 (in Russian).

24. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Data receiver. Patent Russia RU 165993U1. Publish. 10.11.2016, bul. no. 31 (in Russian).

Статья поступила 13 декабря 2016 г.

Информация об авторе

Шабанов Александр Петрович – доктор технических наук. Ведущий научный сотрудник. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН. Область научных интересов: информационная поддержка деятельности организационных систем – ведомств, предприятий, учреждений. E-mail: apshabanov@mail.ru

Адрес: Россия, 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, кор. 2.

Innovation: Sharing Devices to Integrated Management Systems

Part 3 – The Integrated Control Systems For Robotic Objects

A. P. Shabanov

Introduction. *About the inventions that relate to critical technologies - technology information and control systems, that define the main directions of scientific and technological development.* ***Characteristic.*** *Analysis of technical decisions has been implemented in two time periods of modern history of the domestic electronics industry – during the formation of integration of scientific-industrial complexes and large-scale system projects in 1980-ies, and during recovery of this approach in 2010-ies. In the first stage of technical solutions have been developed for the collection and processing of relevant information about facilities management, to improve the sustainability of tracts of computer networks using radio communications and*

fiber-optic connection, on time management providing information and other. In the second period, these technical solutions have provided the basis for the development of innovative ways of information support for the activities of organizational systems – departments, enterprises and institutions, for the development of integration of control systems of the activities of organizational systems, which consolidated to solve common tasks using robotic objects. ***Technical result.*** *The technical solutions, which are developed in the first period, improves qualitative indicators of control systems in timeliness and reliability. The technical solutions, which are developed in the second period, helps to ensure the maximum degree of automation based on prior training scenarios for the adoption and implementation of the control solutions.* ***The essence.*** *Common property that unites all inventions is the author's approach to finding inventive concept and its development. This approach includes the famous stages and phases of formation, accumulation and use of knowledge about entities, that affect the field of activity, for which created the invention This knowledge is carried out by processing the data in computer systems and components in the components of computer networks with exposure on the order data and their contents.* ***Practical significance.*** *Information on inventions developed in the first period was published in order to use the ideas that underlie inventions for their implementation based on modern computing tools. Information on inventions that were presented in the previous issue of the magazine allow you to continuously monitor the status of activities and reduce the time for adoption and execution of decisions governing departments, enterprises and institutions. Presented in this article system-technical solutions intended to create a unified information Wednesday to manage various organizational systems that solve common tasks, including to prevent emergencies in various fields of activity.*

Key words: *inventions, critical technologies, control systems, information systems, communication systems, accumulation of knowledge, solution scripts.*

Information about Author

Alexander Petrovich Shabanov – Dr. habil. of Engineering Sciences. Leading Researcher. Federal Research Center «Informatics and control» RAS. Field of research: information support for the activities of the organizational systems – departments, enterprises and institutions. E–mail: apshabanov@mail.ru

Address: Russia, 119333, Moscow, Vavilova str., h. 44, s. 2.