SCCS

Системы управления, связи и безопасности

Systems of Control, Communication and Security

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

№2 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

№ 2
II 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

Шабанов А.П. ИННОВАЦИИ: ОТ УСТРОЙСТВ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ ДО ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ. ЧАСТЬ 1 - УСТРОЙСТВА ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ 1

Осовецкий Л.Г., Ефимов В.В. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ЦИФРОВОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СТАНЦИИ 44

Жидко Е.А. МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ШКАЛ И НОРМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ 58

Макаренко С.И. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ - СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 73

Юдицкий С.А. НОРМАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРВАЛОВ ПАРАМЕТРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИАГРАММ В СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 133

Волков В.Г. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРЫ С НАКАЧКОЙ МОЩНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ДИОДАМИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ 142

Абазина Е.С., Ерунов А.А. ЦИФРОВАЯ СТЕГАНОГРАФИЯ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ 182

Виноградов Г.П., Ивашкин Ю.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕГОВОРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ 202

Игнатенко В.А., Бажанов А.Г., Юдин Д.А., Чуев А.В., Юдицкий С.А. АГЕНТОЦЕНТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ 249

Левин В.И. РАЗДЕТЕРМИНИЗАЦИЯ - НОВЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ФУНКЦИЙ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ В ОСОБЫХ ТОЧКАХ 295

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 – 10,4 Мб.
Комплектация издания – 1 CD.
Тираж 100 экз.

УДК 681.3.06 (075.32)

Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления

Часть 1 – Устройства обмена информацией

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 и другие; во втором периоде эти технические решения послужили основой для разработки инновационных способов информационной поддержки деятельности организационных систем – ведомств, предприятий, учреждений, и интеграционных систем управления деятельностью организационных систем, консолидированных для решения общих задач.* ***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 решений субъектами управления.* ***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 обще применяемых, 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, приводится с целью возможного использования идей, лежащих в их основе, для воплощения на базе современных средств вычислительной техники; информация об изобретениях, разработанных во втором периоде, приводится с целью расширения потенциальной области их внедрения в отечественную практику управления деятельностью организационных систем, что позволит непрерывно отслеживать ее состояние и сократить время на принятие и исполнение решений по управлению в предметной области этой деятельности.*

Ключевые слова*: изобретения, критические технологии, системы управления, информационные системы, системы связи, накопление знаний, сценарии решений.*

Постановка задачи

Государственная политика, проводимая в настоящее время в сфере обеспечения национальной безопасности и социально-экономического развития Российской Федерации на фоне новых угроз, имеющих комплексный взаимосвязанный характер, требует устранения структурных дисбалансов в экономике и ее модернизации, повышения обороноспособности страны.

Обеспечение национальных интересов должно осуществляться посредством реализации стратегических национальных приоритетов, в том числе [1]:

- совершенствование научно-технической поддержки правоохранительной деятельности;
- повышение эффективности пограничной деятельности, включая совершенствование межведомственного взаимодействия и межгосударственного пограничного сотрудничества;
- развитие единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, ее территориальных и функциональных подсистем, взаимодействия с аналогичными иностранными системами;
- развитие информационной инфраструктуры с возможностью получения равного доступа к государственным услугам на всей территории Российской Федерации, в том числе с использованием информационных и коммуникационных технологий;
- обеспечение экономической безопасности, включая развитие промышленно-технологической базы и национальной инновационной системы, модернизацию и развитие приоритетных секторов национальной экономики;
- осуществление рационального импортозамещения, снижение критической зависимости от зарубежных технологий и промышленной продукции;
- завершение формирования базовой информационной инфраструктуры и других.

Представляется очевидным, что реализацию стратегических национальных приоритетов осуществить без создания перспективных информационных технологий затруднительно. При этом, как показывает анализ приведенного выше списка приоритетов, одной из наиболее важных задач развития информационных технологий является совершенствование и разработка новых способов и комплексов информационного взаимодействия между автоматизированными системами и комплексами управления, ситуационными и аналитическими центрами, функционирующими в различных организационных системах – российских ведомствах и органах власти, органах управления других государств, на предприятиях и в учреждениях.

Задачей настоящей статьи является представление изобретений, которые относятся к критическим технологиям – технологиям информационных и управляющих систем [2]. Эти технологии, наряду с другими, определяют основные направления научно-технического развития.

Разработка представленных в статье 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 и другие; во втором периоде эти технические решения послужили основой для разработки инновационных способов информационной поддержки деятельности организационных систем – ведомств, предприятий, учреждений, и интеграционных систем управления деятельностью организационных систем, консолидированных для решения общих задач.

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 решений субъектами управления.

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 обще применяемых, 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 разработки технических решений по обработке данных в компонентах вычислительных комплексов и компьютерных сетей с воздействием на порядок расположения данных и на их содержание.

Информация об изобретениях, разработанных в первом периоде, приводится с целью возможного использования идей, лежащих в их основе, для воплощения на базе современных средств вычислительной техники. Информация об изобретениях, разработанных во втором периоде, приводится с целью расширения потенциальной области их внедрения в отечественную практику управления деятельностью организационных систем. Это позволит непрерывно отслеживать состояние предметной области деятельности и сократить время на принятие и исполнение решений по управлению деятельностью.

В данной статье представлена информация об изобретениях, которые разработаны в первом периоде – в 1980-е годы.

Сбор и обработка актуальной информации об объектах управления

С целью обеспечения контроля над показателями своевременности предоставления информации разработан метод контроля и устройство сбора информации [3].

Метод тождественных измерений. В качестве показателей своевременности предоставления информации, относящейся к m-ой информационной системе (m=1, 2, …, M), tr-ому типу тракта (tr=1, 2, …, TR) и

r-ому ресурсу (r=1, 2, …, R), приняты значения времени $T_{tr}^{m,r}$ задержки информации и вероятности $P_{tr}^{m,r}$ его непревышения. Сбор статистических данных контроля и анализ на соответствие установленным показателям производится в отношении каждой информационной системы по каждому заданному показателю. Определение показателей контроля производится в соответствии со следующими условиями:

- показатели должны быть унифицированы;
- показатели должны исчисляться количественно, для расчета показателей не должны производиться сложные вычисления;
- в качестве информации для вычислений должны использоваться статистические выборки данных;
- показатели должны рассчитываться за установленный период наблюдений (неделя, месяц, год);
- показатели должны пониматься однозначно.

Для измерения показателей можно использовать наиболее простой метод, назовем его «Метод прямых измерений». С помощью этого метода определяются следующие показатели:

- K^+ и K^- – число требований пользователей (сообщений датчиков), обслуженных за рассматриваемый период, соответственно, с соблюдением и с нарушением критериев;
- δK^+ и δK^- – доли от числа требований пользователей (сообщений датчиков), обслуженных за рассматриваемый период, соответственно, с соблюдением и с нарушением критериев.

Однако при проведении измерений указанным методом требуется производить измерения при поступлении каждого требования. Такой подход представляется нерациональным, так как очевидно, что для этого потребуются затраты вычислительных ресурсов, сравнимые с затратами на обработку собственно этого требования (сообщения). В связи с этим, разработан «Метод тождественных измерений», основанный на измерении интервалов занятости ресурсов производительности. Суть данного метода заключается в следующем.

Критериям производительности W^r ресурсов сопоставляются соответствующие им граничные значения G^r стабильного функционирования ресурсов:

$$G^r = \sum_{tr=1}^{TR} \sum_{m=1}^{M} G_{tr}^{m,r} * w_{tr}^{m,r},$$

где $w_{tr}^{m,r}$ – вес требований m-ой информационной системы, применительно к r-му ресурсу и tr-му типу тракта; определяется частотой поступления требований, при этом сумма весов по переменным m и tr равна 1.

Граничным значениям G^r стабильного функционирования ресурсов сопоставляются соответствующие им значения T^r длительности интервалов непрерывной занятости ресурса. Используя формулы, приведенные в работе [4], получим:

$$T^r = \frac{V^r}{W^r} * N^r = \sum_{tr=1}^{TR} \sum_{m=1}^{M} \frac{V_{tr}^{m,r} \alpha_{tr}^{m,r}}{W_{tr}^{m,r} \eta_{tr}^{m,r}} * N_{tr}^{m,r} \beta_{tr}^{m,r},$$

где:

V^r и N^r –значения, соответственно, размера формата (число бит) и числа требований в интервале занятости r-го ресурса, при котором еще соблюдаются установленные критерии;

$\alpha_{tr}^{m,r}$, $\beta_{tr}^{m,r}$ и $\eta_{tr}^{m,r}$ – веса требований m-ой информационной системы, применительно к r-му ресурсу и tr-му типу, соответственно, для размера формата (параметр $V_{tr}^{m,r}$), числа требований (параметр $N_{tr}^{m,r}$) и производительности (параметр $W_{tr}^{m,r}$);

сумма весов по переменным m и tr равна 1.

С помощью системы контроля производится измерение интервалов занятости ресурсов и расчет показателей K^+, K^-, δK^+, δK^-, в соответствии с установленными, например, в соглашениях об уровнях ИТ услуг периодами наблюдений по следующим формулам:

$$K^{+r} = \sum_{i=1}^{G^r} i * L_i; \quad K^{-r} = \sum_{i=G^r+1}^{L_{max}} i * L_i; \quad \delta K^{+r} = \frac{\sum_{i=1}^{G^r} i * L_i}{\sum_{i=1}^{L_{max}} i * L_i}; \quad \delta K^{-r} = \frac{\sum_{i=G_r+1}^{L_{max}} i * L_i}{\sum_{i=1}^{L_{max}} i * L_i},$$

где:

L_i – длительность интервалов занятости r-го ресурса компьютерной сети, наблюдаемых за период, установленный в соглашении, выраженная числом временных интервалов обслуживания, равным i;

L_{max} – максимальная длительность интервалов занятости r-го ресурса компьютерной сети, наблюдаемых за период, установленный в соглашении, выраженная числом временных интервалов обслуживания, равным max.

Рассмотренный метод тождественных измерений позволяет значительно сократить затраты вычислительных ресурсов, по сравнению с методом прямых измерений. При этом условия измерений (время суток, частота и др.) значений параметров ресурсов компьютерной сети устанавливаются соглашениями между предприятиями, эксплуатирующими вычислительные комплексы и компьютерные сети и предприятиями-пользователями.

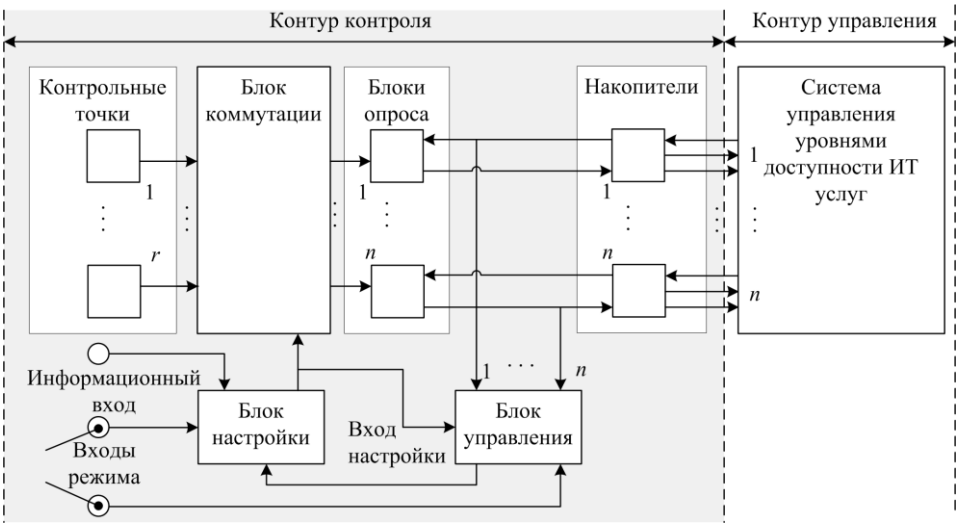


Рис. 1. Устройство сбора информации

Реализация данного метода производится с помощью устройства сбора информации [3], схема которого приведена на рис 1.

Подготовка устройства производится путем администрирования блоков настройки и управления (используются информационный вход, входы режима и вход настройки). В результате, в системе реализуется план взаимодействия между элементами системы и настраивается их функциональность.

Устройство работает следующим образом. Производится сбор информации с контрольных точек; в нашем примере в одной точке измеряется интервал занятости одного ресурса. Блоки опроса обеспечивают программное управление процессами измерений, обработкой статистических данных; выборки данных заносятся и хранятся в накопителях. Предоставляется возможность для анализа этих данных с помощью автоматизированной системы управления уровнями доступности ИТ услуг. В зависимости от соответствия измеряемых значений заданным критериям, система управления обеспечивает функциональные организационные структуры необходимой информацией для принятия решения.

Системный подход к аудиту производительных ресурсов

В стадии применения жизненного цикла компьютерных сетей существует задача актуализации информации о составе и состоянии производительных ресурсов – серверов, программ и баз данных, обеспечивающих функционирование информационных систем. Данная задача решается путем разработки и внедрения в компьютерные сети автоматизированных систем управления и мониторинга [5]. Эти системы, как правило, строятся и функционируют на базе готовых специализированных программных продуктов. Однако, разработка таких систем и их эксплуатация требуют значительных инвестиций, поэтому такой путь решения задачи доступен далеко не всем инвесторам.

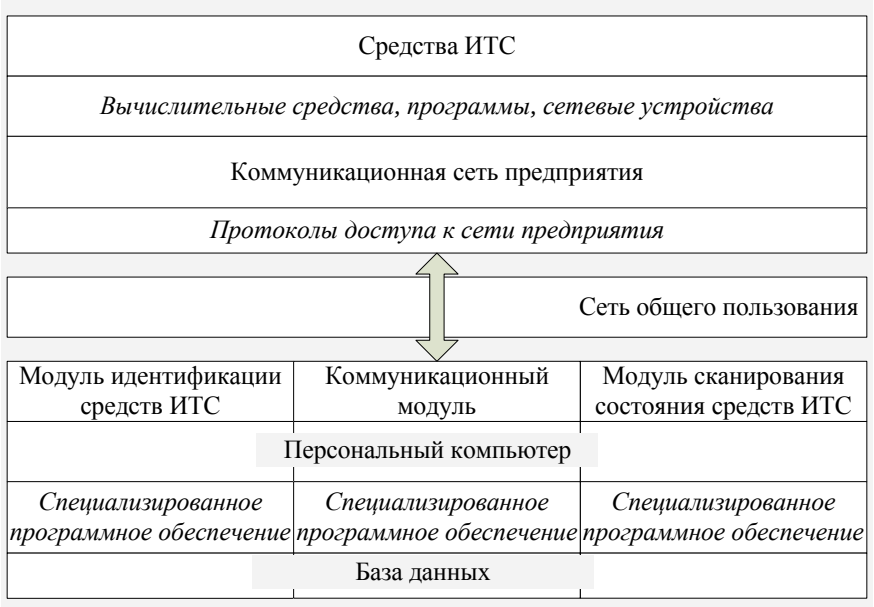


Рис. 2. Мобильная система аудита производительных ресурсов

Для обеспечения актуализации информации о составе и состоянии производительных ресурсов компьютерных сетей для более широкого круга организационных систем, предлагается использовать мобильную систему аудита, структура которой приведена на рис. 2.

Данная система в основном позиционируется, как инструмент для консалтинговых предприятий и предназначена:

– для проведения аудита производительных ресурсов на стадии применения компьютерных сетей в рамках договорных отношений по сопровождению проекта с предприятием-заказчиком;
– при проведении обследования либо на стадии замысла создания компьютерной сети, либо ее модернизации при создании новой информационной системы.

Рис. 3. Схема основных процессов аудита

Методически работа мобильной системы аудита основана на реализации процесса идентификации средств компьютерной сети и процесса сканирования (мониторинга) состояний этих средств, схемы которых приведены на рис. 3.

Процесс идентификации предназначен для определения параметров, присущих средствам, входящим в состав компьютерной сети, независимо от их состояния работоспособности (наименование, тип, производитель и т. п.). Процесс сканирования предназначен для определения состояний работоспособности отдельных средств и сервисов, обеспечиваемых средствами компьютерной сети.

При аудите компьютерной сети используются как оба процесса, так и по отдельности, в зависимости от обязательств договора.

Структурирование мобильной системы аудита осуществляется с учетом технических решений в области устройств сбора информации [3, 6–9]. В качестве примера базового решения для коммуникационного модуля на рис. 4 приведена схема устройства для обмена информацией [6].

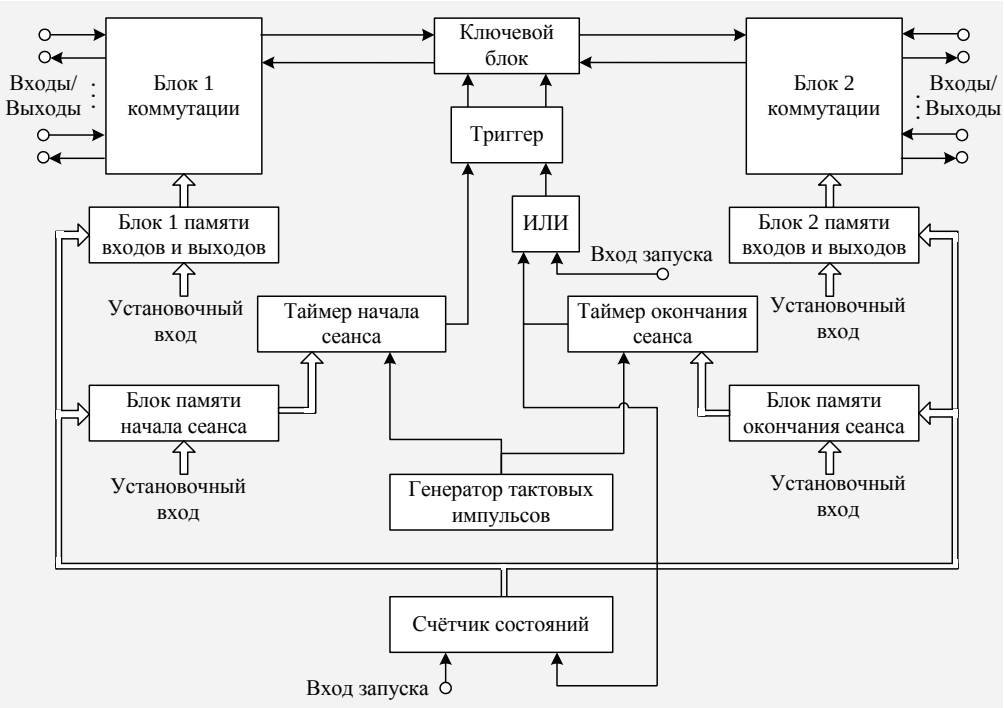


Рис. 4. Схема устройства для обмена информацией

В основе этого решения лежит возможность подключения мобильной системы аудита к средствам компьютерной сети через транспортную сеть в точно заданные интервалы времени без потери данных, передаваемых в трактах компьютерной сети во время подключения системы.

Функционирование мобильной системы аудита осуществляется с применением готовых программных изделий, например, ПО HP Operations Manager.

Важным свойством рассмотренной выше системы является ее гибкость применения:

– возможность постоянного использования в составе компьютерной

сети;
- возможность периодического подключения к ней на время аудита;
- возможность эпизодического удаленного подключения.

Устройства для сбора и обработки информации

Для обеспечения высокой производительности трактов компьютерной сети, разработаны системно-технические решения по построению и функционированию систем мониторинга, в основе которых лежат операции сканирования контрольных точек и прерывания процессов логической обработки запросов, поступающих в серверные комплексы от пользователей прикладных информационных систем.

Централизованное управление сканированием. Для рационального использования вычислительных ресурсов в серверных комплексах операции сканирования контрольных точек выполняются, как правило, отдельными процессорами серверного комплекса. С целью увеличения быстродействия опроса контрольных точек разработана система мониторинга с централизованным управлением процессом сканирования. Схема системы мониторинга с централизованным управлением процессом сканирования приведена ниже на рис. 5.

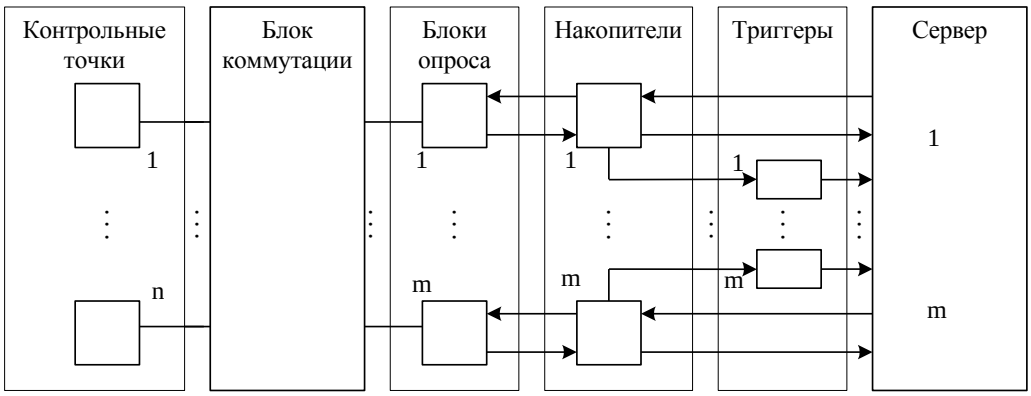


Рис. 5. Система мониторинга с централизованным управлением

Система мониторинга с централизованным управлением процессом сканирования работает следующим образом.

Блоки опроса через дискретные интервалы времени опрашивают контрольные точки (датчики информации), подключенные к ним через блок коммутации. Информация о состоянии контрольных точек записывается при каждом опросе в элементы памяти блока опроса, и затем сравнивается с информацией, полученной при предыдущем опросе.

При обнаружении изменения состояния данные об этом изменении и адрес записываются соответствующим блоком опроса в соединенный с ним накопитель.

После записи информации в накопитель соответствующий триггер устанавливается в единичное состояние и тем самым выставляется сигнал прерывания в сервер.

Сервер обращается в накопитель, триггер которого выставил сигнал

прерывания, и считывает из него информацию об изменении состояния контрольных точек.

Циклы работы блоков опроса обычно не совпадают со временем считывания сервером информации из накопителей. Поэтому в каждом накопителе может быть записано различное количество информации. Объем накопителей определяется с помощью известных моделей систем массового обслуживания. Для исключения потерь информации блоки опроса имеют входы останова, на которые поступают соответствующие сигналы при заполнении накопителя. После считывания информации сигнал останова снимается, и цикл опроса может быть продолжен.

Приведенное выше системно-техническое решение системы мониторинга с централизованным управлением сканированием позволяет одновременно, для разных групп контрольных точек:

- производить снятие с контрольных точек информации о состоянии контролируемых объектов;
- выявлять изменения в состоянии контролируемых объектов;
- считывать информацию об изменениях в сервер.

Таким образом, система мониторинга с централизованным управлением сканированием повышает производительность серверного комплекса, что в свою очередь, уменьшает время логической обработки запросов (требований), поступающих от пользователей информационных систем.

Подробное описание системы мониторинга с централизованным управлением сканированием приведено в описании изобретения «Устройство сканирования» [7].

Автономное сканирование. Особенностью приведенной выше системы мониторинга является функционирование ее блоков опроса под управлением со стороны сервера, занимающегося логической обработкой запросов, поступающих от пользователей прикладных информационных систем. В случае наличия высококонцентрированной системы контрольных точек, и, одновременно, высокой загруженности сервера запросами для логической обработки, становится заметным влияние простоев блоков опроса. Простои обусловлены временем ожидания сигнала управления от сервера для считывания информации из соответствующих накопителей. Пока накопитель не выдаст информации в сервер, соответствующий блок опроса простаивает. В целом это приводит к задержкам времени при снятии информации с контрольных точек.

С целью повышения производительности сканирования контрольных точек в ИТ инфраструктуре, разработана система мониторинга с автономным сканированием. Повышение производительности обеспечивается за счет того, что функции опроса контрольных точек в системе выполняются независимо от состояния простоя какого-либо блока опроса. В случае заполнения накопителя, опрос контрольных точек не прерывается, а информация записывается в резервные накопители. Схема системы мониторинга с автономным управлением процессом сканирования приведена выше на рис. 1.

Система мониторинга с автономным управлением процессом

сканирования работает следующим образом.

1. При подготовке к работе системы производится начальная установка:
   - блока настройки, путем подачи управляющих сигналов на его информационный вход и вход режима;
   - блока управления, путем подачи управляющих сигналов на его вход режима и введения информации о распределении основных и резервных накопителей на его вход настройки.

2. После снятия управляющих сигналов с входов блоков настройки и управления система мониторинга готова к работе. В результате начальной установки в системе мониторинга устанавливаются следующие состояния:
   - k из общего числа m блоков опроса и накопителей назначаются основными;
   - m-k блоков опроса и накопителей назначаются резервными;
   - основные блоки опроса соединены через блок коммутации с контрольными точками.

3. Функции составных частей системы мониторинга с автономным управлением процессом сканирования, следующие:
   - блок коммутации предназначен для автоматической коммутации информационных входов на основные или резервные блоки опроса; правила коммутации устанавливаются на основе управляющих сигналов, поступающих в блок коммутации из блока настройки;
   - основные блоки опроса осуществляют прием информации от источников (контрольных точек), сравнение ее с информацией, полученной ранее при предыдущих опросах; в случае различия в составе информации, блок опроса записывает вновь поступившую информацию в соединенный с ним накопитель;
   - резервные блоки опроса используются в качестве основных после подключения их к источникам информации;
   - основные накопители являются разделительной памятью между источниками информации (контрольными точками) и приемником информации (сервером); при заполнении накопителя информацией на выходе накопителя в сервер выставляется сигнал готовности (прерывания); при поступлении от сервера сигнала считывания, информация заносится в сервер; в случае длительного отсутствия сигнала считывания из сервера и большой интенсивности поступления информации из блока опроса может произойти переполнение накопителя, в этом случае из накопителя в блок опроса поступает сигнал, который останавливает его работу;
   - резервные накопители используются при переполнении основных накопителей;
   - блок управления при переполнении основных накопителей вырабатывает сигналы управления коммутацией, которые поступают в блок настройки;

– блок настройки обеспечивает режим работы системы, ее первоначальную установку, трансляцию в рабочем режиме системы сигналов управления из блока управления в блок коммутации, также блок настройки осуществляет формирование сигналов о состоянии «основные» и «резервные» цепей: блок опроса – накопитель, и выдачу этих сигналов в блок управления.

Приведенное выше описание функций составных частей в целом отражает функционирование системы мониторинга с автономным управлением процессом сканирования. Подробное описание системы мониторинга и ее составных частей приведено в описании изобретения «Устройство сбора информации» [3].

Самодиагностика при сканировании. Системно-технические решения по построению и функционированию систем мониторинга с централизованным и автономным управлением обеспечивают поступление в системы управления организационных систем:

– данных о состоянии контролируемых объектов;
– запросов пользователей прикладных информационных систем;
– пакеты команд управления и информационных сообщений от других серверных комплексов и персональных компьютеров, соединенных магистральной сетью передачи данных.

Однако в случае выхода из строя какого-либо блока опроса или накопителя происходит потеря информации. Это обусловлено тем, что оперативная замена этих отказавших элементов не предусмотрена. Отсутствует периодическая проверка указанных составных частей системы мониторинга (функциональный контроль), в связи с чем, отказавшие блоки могут быть длительное время не обнаружены. Переключение на резервные блоки происходит только при переполнении основных накопителей. В результате влияния данного фактора могут происходить большие задержки при поступлении в сервер информации, что снижает не только производительность системы мониторинга, но и в целом, качество обслуживания субъектов управления в организационных системах.

С целью повышения производительности системы мониторинга и исключения или снижения к минимуму задержек информации, циркулирующей в информационной системе, разработана система мониторинга с функцией самодиагностики.

Повышение производительности в этой системе достигается за счет:

– автоматической проверки свободных блоков опроса, накопителей и цепей между ними;
– автоматического подключения вместо отказавших – заранее подготовленных и исправных блоков.

Схема системы мониторинга с самодиагностикой приведена ниже на рис. 6. Система мониторинга с самодиагностикой работает следующим образом.

Перед началом работы подачей управляющих сигналов производится

установка блоков настройки, управления и контроля в рабочий режим, с выделением основных и резервных блоков опроса и накопителей.

В рабочем состоянии система мониторинга с самодиагностикой выполняет основные функции по выделению изменений в поступающей информации аналогично системам мониторинга с централизованным и автономным управлением.

Особенности функционирования системы мониторинга с самодиагностикой обусловлены введенными в нее дополнительными, по сравнению с предыдущими версиями, составными частями:

– второй блок коммутации;
– блок контроля.

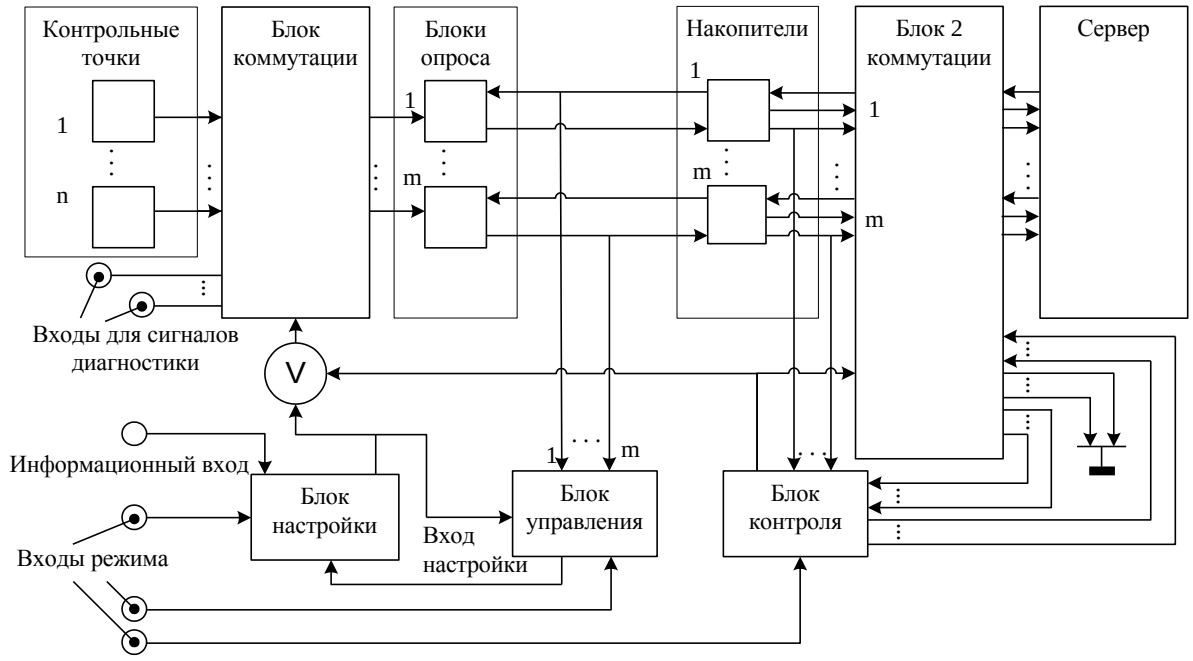


Рис. 6. Система мониторинга с самодиагностикой

Второй блок коммутации, наряду с первым блоком коммутации обеспечивает автоматическую коммутацию:

– информационных входов системы мониторинга на основные блоки опроса;
– контрольных входов (входов для сигналов диагностики) – на резервные блоки опроса;
– входы считывания, выходы прерывания и информационные выходы основных накопителей – на соответствующие выходы и входы сервера;
– входы считывания, выходы прерывания и информационные выходы резервных накопителей – на соответствующие выходы и входы блока контроля и на шину «Общий провод».

Автоматическая коммутация производится под воздействием управляющих сигналов, поступающих на входы управления обоих блоков коммутации из блока контроля через группу элементов ИЛИ: блок контроля,

принимая сигналы прерывания (сигналы готовности к передаче информации в сервер) из накопителей, вырабатывает сигналы управления коммутацией в соответствии с произведенной в нем на этапе подготовки настройкой.

Подробное описание системы мониторинга с самодиагностикой и ее составных частей приведено в описании изобретения «Устройство сбора информации» [8].

Технические решения по структуре информационных трактов

Основной целью разработки технических решений по структуре информационных трактов в компьютерных сетях является снижение объема передаваемой по ним информации – снижение нагрузки на тракты. В результате сокращается время предоставления информации субъектам управления.

Повышение информативности передаваемых по трактам пакетов данных. Увеличение информативности пакетов с командами и данными, передаваемых по трактам информационной системы достигается за счет наложения информации одного пакета на информацию другого пакета. Схема алгоритма сложения информации в пакете приведена ниже на рис. 7.

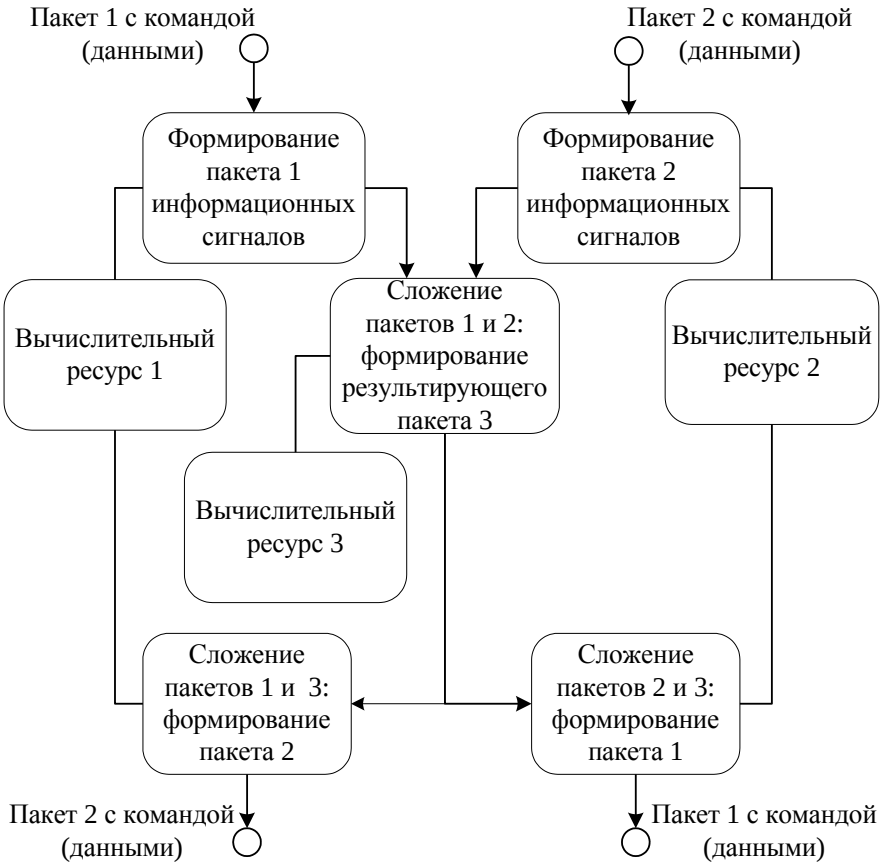


Рис. 7. Схема алгоритма сложения информации

Алгоритм сложения информации реализуется в устройствах для сложения пакетов информационных сигналов (устройства сложения информации).

Устройства сложения информации вводятся в состав вычислительных ресурсов систем связи, используемых в магистральных сетях передачи данных

информационных систем, повышая информативность в 2 раза.

Областью применения устройств является процесс передачи пакетов информационных сигналов между локальными сетями передачи данных. Место устройства сложения информации иллюстрируется ниже на рис. 8.

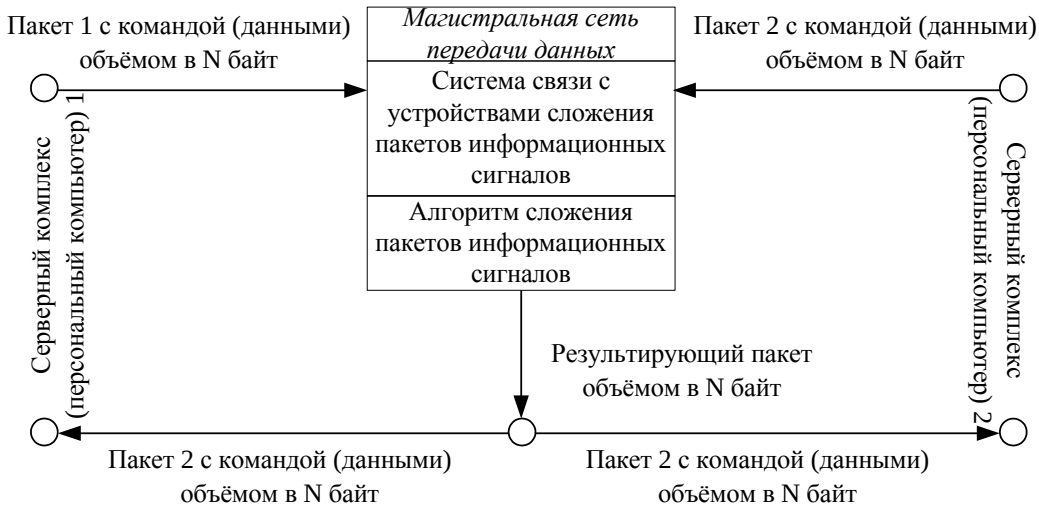


Рис. 8. Место устройства сложения информации

Увеличение информативности пакетов заключается в следующем:

- в магистральную сеть передачи данных из вычислительных (серверных) комплексов (персональных компьютеров) 1 и 2, далее по тексту, источников, между которыми образован информационный тракт, поступают пакеты с командами и данными, каждый объемом в *N* байт;
- в магистральной сети передачи данных пакеты из одного источника передаются на один вход, а пакеты из другого источника передаются на другой вход устройства сложения информации из состава системы связи;
- устройство сложения информации, реализуя специальный алгоритм сложения пакетов, образует на своем выходе результирующий пакет, объемом также в *N* байт;
- результирующий пакет передается в оба источника, в вычислительные ресурсы каждого из источников входят такие же аналогичные устройства сложения пакетов информационных сигналов;
- в устройстве сложения пакетов информации каждого из источников производится сложение результирующего пакета с копией пакета, переданного ранее из этого источника, в результате образуется пакет, переданный из другого источника;
- образованные таким образом пакеты передаются по назначению.

Структурная схема устройства сложения информации приведена ниже на рис. 9.

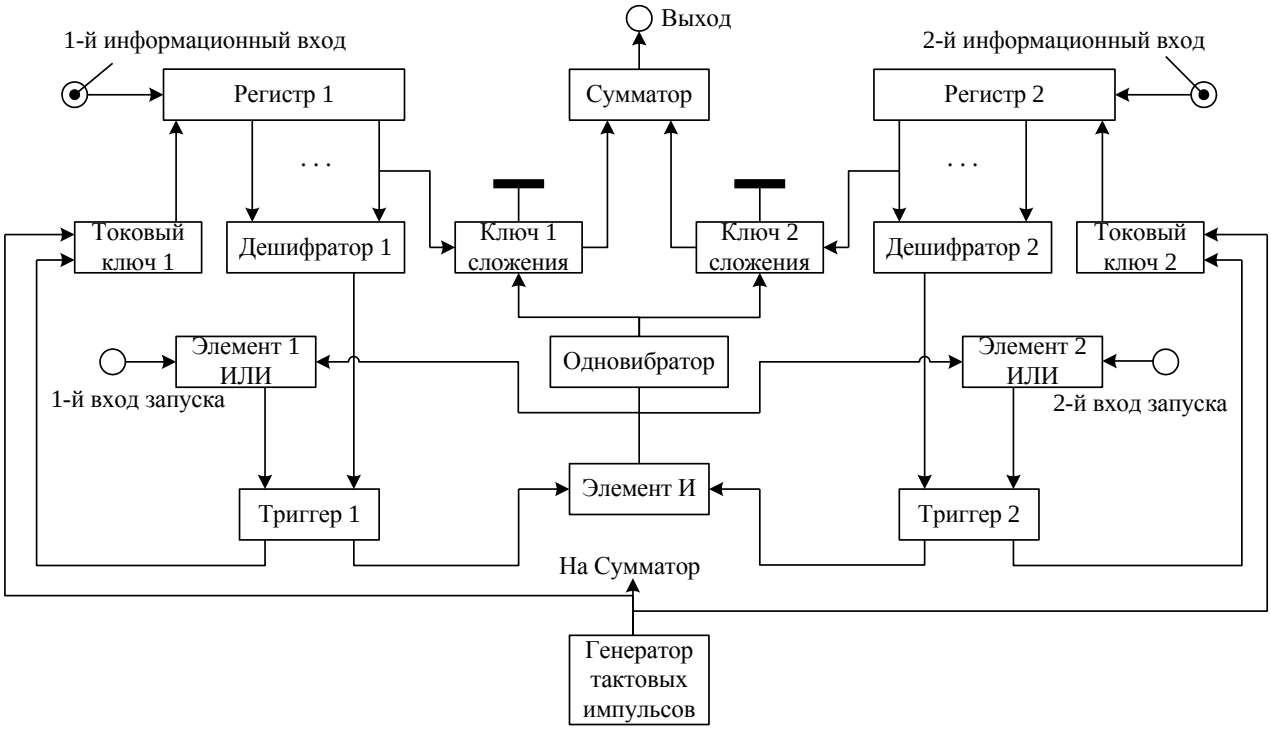


Рис. 9. Схема устройства сложения пакетов

Устройство сложения информации работает следующим образом.

1. В исходном состоянии на входы запуска подается импульс, устанавливающий триггеры в состояния, при которых токовые ключи открыты и через них поступают тактовые импульсы от генератора. Ключи сложения под воздействием нулевого потенциала, поступающего на их управляющие входы с выхода закрытого элемента И через одновибратор, подключают свои информационные входы на вторые выходы, соединенные с нулевым проводом.

2. С началом работы в регистры с обоих информационных входов устройства сложения записываются пакеты информационных сигналов. При записи в последние разряды этих регистров кодов начала пакета срабатывают дешифраторы, на выходах которых появляются сигналы, перебрасывающие триггеры. В результате этого токовые ключи закрываются, а на входы элемента И поступают единичные потенциалы. Если перебросится только один триггер, то элемент И останется закрытым. При перебрасывании обоих триггеров, что означает заполнение обоих регистров пакетами информационных сигналов, элемент И открывается, сигнал с его выхода вновь перебрасывает триггеры в исходное состояние и запускает одновибратор. Единичный потенциал с выхода одновибратора настраивает ключи сложения в состояние подключения своих информационных входов на выходы, соединенные с входами сумматора. Под воздействием тактовых импульсов информационные сигналы, продвигаясь через разряды регистров, поступают в сумматор, складываются в нем по модулю два и поступают на выход устройства.

3. Длительность единичного потенциала на выходе одновибратора выбирается необходимой для того, чтобы в сумматоре успели бы сложиться все сигналы пакетов из регистров. После этого ключи сложения закрываются, и устройство переводится в исходное состояние, готовое к приему новых

информационных пакетов.

Подробное описание устройства приведено в описании изобретения «Устройство сложения пакетов информационных сигналов» [9].

Устройства сложения информации включаются в состав систем следующих видов связи: радио-, спутниковой и волоконно-оптической связи.

Система радиосвязи. Структурная схема системы радиосвязи (спутниковой связи) приведена ниже на рис. 10.

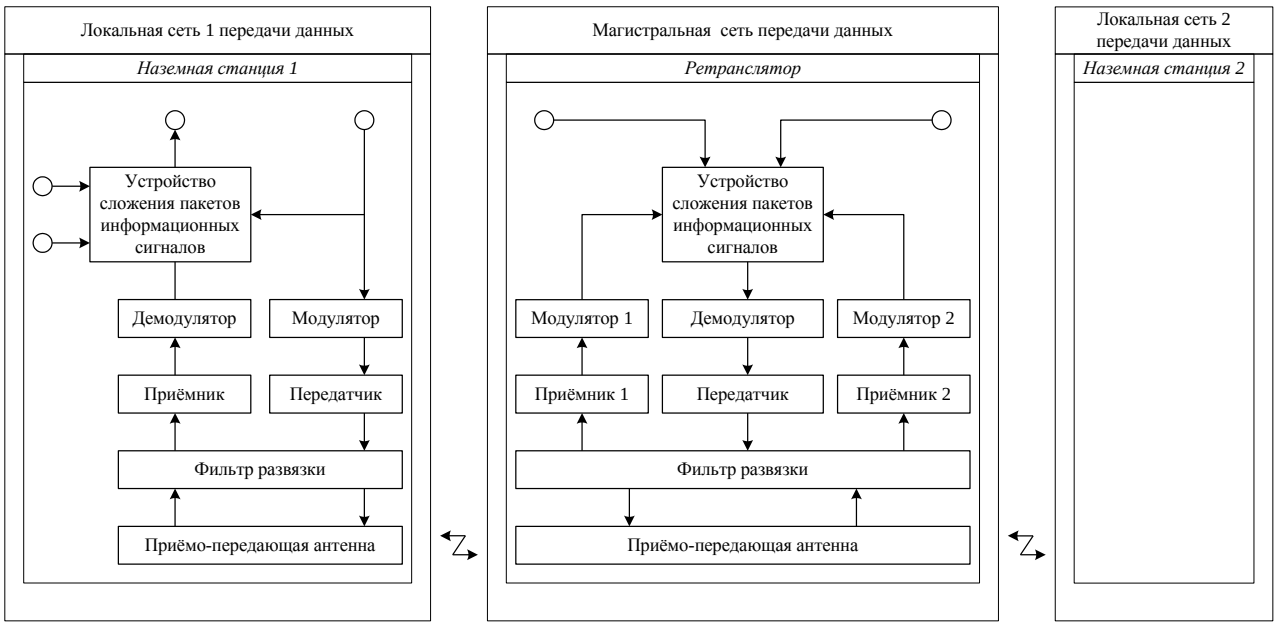


Рис. 10. Схема системы радиосвязи

Система радиосвязи работает следующим образом.

1. В исходном состоянии на входы запуска устройств сложения информации, которые входят в состав наземных станций и ретранслятора, подаются импульсы, подготавливающие эти устройства к работе.

2. С началом сеанса связи на информационном входе каждой наземной станции появляется пакет информационных сигналов, предназначенный для передачи на противоположную наземную станцию. Пакет информационных сигналов поступает в устройство сложения информации, где запоминается, и одновременно поступает в модулятор, где осуществляется модулирование сигналов. Затем модулированные сигналы передаются в передающее устройство, антенну, и далее, соответственно на частоте F_1 от наземной станции 1 и на частоте F_2 от наземной станции 2 в ретранслятор.

3. Сигналы каждого пакета воспринимаются в ретрансляторе в соответствующем приемнике, поступают в демодулятор, а затем складываются друг с другом в устройстве сложения информации.

4. Полученный в результате сложения пакет поступает в модулятор, затем модулированные сигналы передаются в передающее устройство, антенну, и далее на частоте F_3 в наземные станции 1 и 2.

5. В каждой наземной станции сигналы результирующего пакета воспринимаются приемником и демодулятором, складываются в устройстве

сложения информации с сигналами пакета, запомненного ранее. Полученный в результате сложения пакет является пакетом информационных сигналов, переданным с противоположной наземной станции.

Подробное описание системы радиосвязи приведено в описании изобретения «Система радиосвязи» [10].

Система оптоволоконной связи. Структурная схема системы волоконно-оптической связи приведена ниже на рис. 11.

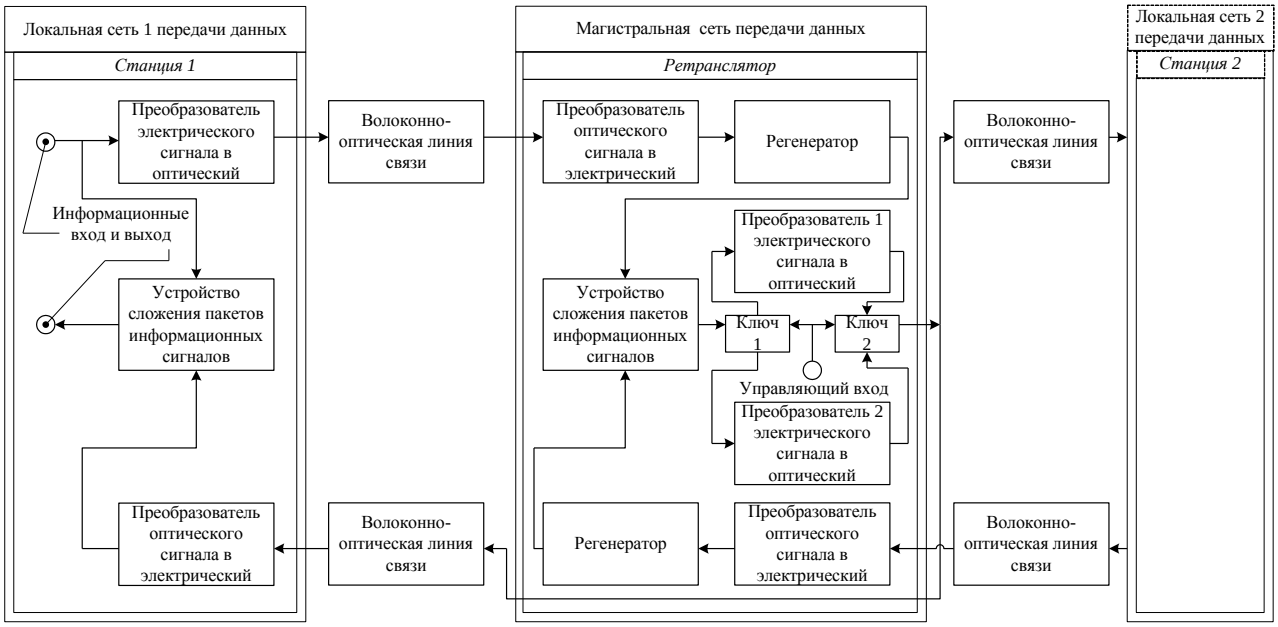


Рис. 11. Схема системы волоконно-оптической связи

Система волоконно-оптической связи работает следующим образом.

1. На информационной вход станции 1 поступает пакет информационных электрических сигналов, предназначенный для передачи на станцию 2. В станции 1 этот пакет поступает в устройство сложения информации, где запоминается. Одновременно с этим, пакет поступает в преобразователь электрического сигнала в оптический. С выхода преобразователя оптические сигналы подаются в волоконно-оптическую линию связи.

2. Из волоконно-оптической линии связи оптические сигналы поступают в ретранслятор, в преобразователь оптического сигнала в электрический. В преобразователе оптические сигналы преобразуются в электрические сигналы и поступают в регенератор, где восстанавливаются. С выхода регенератора пакет восстановленных информационных сигналов станции 1 подается в устройство сложения информации ретранслятора, где запоминается.

3. На информационной вход станции 2 поступает пакет информационных электрических сигналов, предназначенный для передачи на станцию 1. С данным пакетом производятся такие же преобразования, что описаны выше в отношении пакета информационных электрических сигналов, поступивших на информационной вход станции 1. В результате этих преобразований пакет восстановленных информационных сигналов станции 2 подается также в устройство сложения информации ретранслятора, где запоминается.

4. После запоминания в устройстве сложения информации ретранслятора пакетов, переданных с обеих станций, сигналы этих пакетов складываются друг с другом. Результирующий пакет информационных сигналов поступает на вход ключа 1, предварительно установленного в состояние, при котором результирующий пакет поступает в преобразователь 1 электрического сигнала в оптический. Установка ключа производится подачей потенциала на управляющий вход ретранслятора. В преобразователе 1 электрические сигналы результирующего пакета преобразуются в оптические сигналы.

5. Результирующий пакет оптических сигналов поступает с выхода преобразователя 1 через ключ 2 (также предварительно установленный потенциалом с управляющего входа ретранслятора в соответствующее состояние) в волоконно-оптические линии связи, протянутые к станции 1 и к станции 2. В станциях 1 и 2 оптические сигналы результирующего пакета поступают в преобразователи оптического сигнала в электрический сигнал, где преобразуются в электрические сигналы. Электрические сигналы результирующего пакета поступают в устройства сложения информации.

6. В устройствах сложения информации результирующий пакет запоминается и суммируется с пакетом информационных сигналов, запомненным ранее в каждой станции. Результатом сложения является пакет информационных сигналов, переданный на соответствующую станцию из противоположной станции. Данные пакеты поступают затем по назначению адресатам соответствующей локальной сети передачи данных.

Подробное описание системы приведено в описании изобретения «Система волоконно-оптической связи» [11].

Эффективность рассмотренных выше систем связи заключается в уменьшении времени передачи команд и данных по трактам компьютерной сети. Уменьшение времени передачи достигается путем:

- высвобождения частотного ресурса, используемого в системах радиосвязи (спутниковой связи) и путем высвобождения в системах волоконно-оптической связи количества преобразователей электрического сигнала в оптический сигнал;
- использования высвобождаемых ресурсов для передачи заданного потока пакетов информационных сигналов с более высокой скоростью.

Технические решения, построенные с учетом ограничений по времени

Устройства сеансовой связи. В этих устройствах рациональное распределение времени использования каналов производится за счет организации сеансов передачи пакетов информации в компьютерных сетях между вычислительными комплексами (персональными компьютерами).

Организация сеансов для передачи пакетов информационных сигналов поясняется с помощью описания работы устройства сеансовой связи, схема которого приведена ниже на рис. 12.

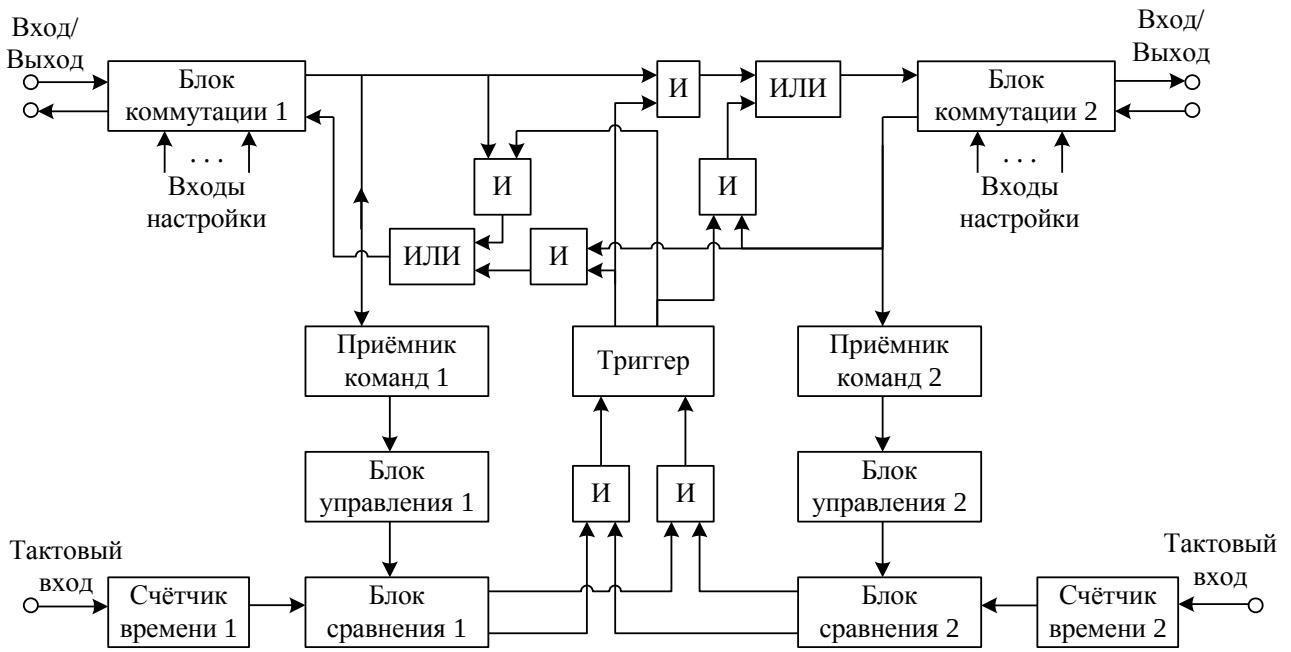


Рис. 12. Схема устройства сеансовой связи

Устройство сеансовой связи обеспечивает начало сеанса в точно заданное время. Устройство работает следующим образом:

1. Для установления начала сеанса с момента времени T_1 в устройство поступают команды, содержащие эту метку времени, при этом:
   - первая команда поступает через первые блок коммутации, приемник команд и блок управления в первый блок сравнения;
   - вторая команда поступает через вторые блок коммутации, приемник команд и блок управления во второй блок сравнения.
2. В каждом блоке сравнения происходит сравнение поступивших команд, содержащих коды времени T_1 с сигналами текущего времени. Тактовые входы блоков сравнения синхронизированы. До тех пор, пока сигналы текущего времени не совпали с T_1, каналы связи, подключенные к блокам коммутации, замкнуты сами на себя.
3. В момент совпадения сигналов текущего времени с T_1, выход и вход канала связи, подключенного к первому блоку коммутации, подключаются соответственно к входу и выходу второго блока коммутации. Таким образом, устройство позволяет организовать подключение конкретных двух каналов связи в точно установленное время и тем самым образовать тракт для передачи пакетов информационных сигналов между серверными комплексами (персональными компьютерами) в информационной системе.

Подробное описание устройства приведено в описании изобретения «Устройство сеансовой связи» [12].

Надежность установления связи в точно назначенное время повышается при модернизации указанного выше устройства, осуществляемой за счет введения дополнительных элементов и выполнения определенным образом блоков сравнения. Модернизированное устройство обеспечивает установление связи в точно заданное время при расхождении моментов поступления команд на установление сеанса связи. Описание модернизированного устройства

приведено в описании изобретения «Устройство сеансовой связи» [13].

Устройство переключения каналов. Для исключения потери информации при одновременном переключении каналов связи на объектах, удаленных друг от друга, разработано специальное устройство переключения каналов.

Схема устройства переключения каналов приведена ниже на рис. 13.

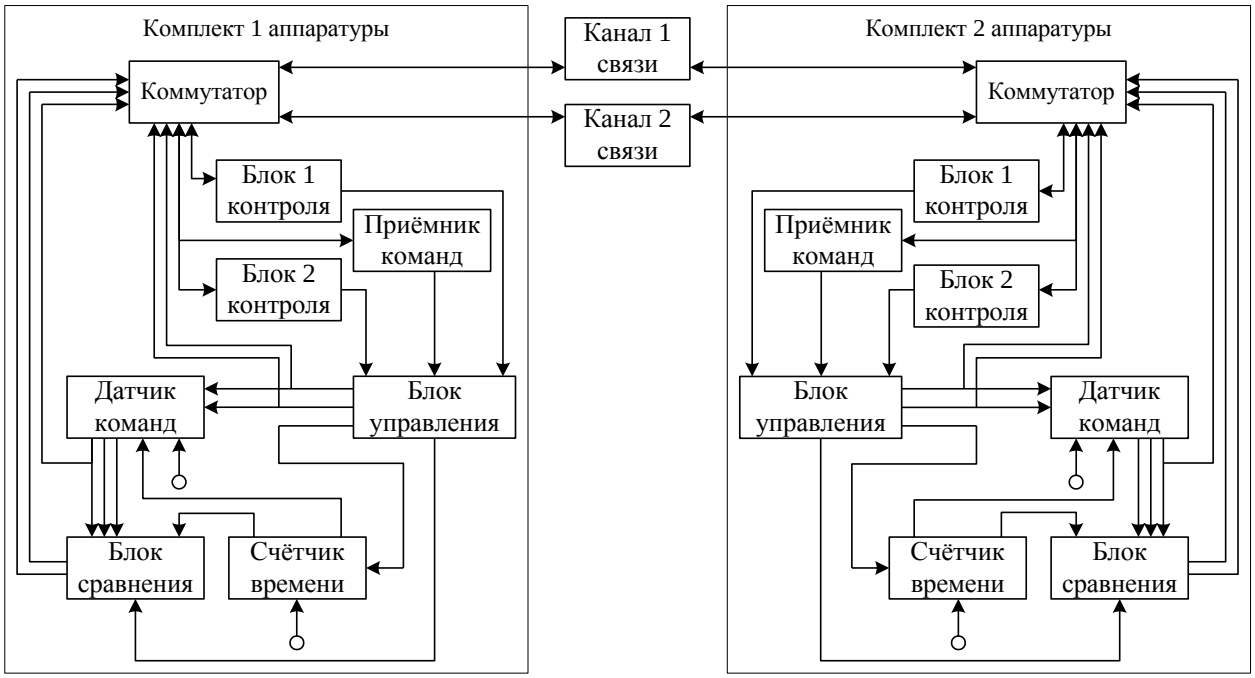


Рис. 13. Схема устройства переключения каналов

Устройство переключения каналов работает следующим образом.

1. В исходном состоянии блоки 1 контроля в обоих комплектах аппаратуры через коммутаторы включены в канал 1 связи. Блоки 2 контроля в обоих комплектах аппаратуры включены в канал 2. Блоки контроля производят анализ и оценку качества каналов связи по каким-либо параметрам (остаточное затухание, краевые искажения, количество ошибок, уровни информационных сигналов, помех и т. п.).

2. Результаты оценки качества каналов связи разбиваются на несколько пределов, соответствующих, например, оценкам «норма», «предупреждение» и «авария».

3. Устройство переключения каналов осуществляет переключение на резервный канал при еще исправном состоянии основного канала, но находящемся на пределе. Например, при ухудшении качества канала 1 на выходе блока 1 контроля в комплекте 1 аппаратуры появляется сигнал «предупреждение», который поступает в блок управления.

4. Блок управления подготавливает переключение связи на канал 2 и, в то же время, подготавливает обратное переключение, при этом:

- обеспечивает запись текущего кода времени из счетчика времени в датчик команд;
- обеспечивает запись кода «переключение на канал 2» в датчик команд;

– передает команду в коммутатор на подключение датчика команд к каналу 2;
– передает команду в датчик команд на считывание кода в канал 2.

5. Датчик команд производит считывание кода в канал 2 и одновременно записывает этот код в блок сравнения.

6. Блок сравнения:
– последовательно производит сравнение записанного в него кода с кодами текущего времени;
– при совпадении записанного и текущего кодов времени передает команду в коммутатор и приемник команд на переключение блока 1 контроля к каналу 2, а блока 2 контроля к каналу 1. При этом датчик команд отключается от канала 2.

7. Приемник команд, получив переданную ему из блока сравнения команду, вырабатывает сигнал «переключение на канал 2» и передает его в блок управления.

8. Блок управления комплекта 1 аппаратуры обеспечивает переключение каналов. Соответствующие операции производятся в комплекте 2 аппаратуры после приема из канала 2 кода «переключение на канал 2». В результате этих операций блок управления комплекта 2 аппаратуры также обеспечивает переключение каналов.

Потеря информации при переключении каналов исключается за счет обеспечения в устройстве следующих условий:
– переключение передающих цепей информационных трактов в обоих комплектах производится одновременно;
– переключение приемных цепей информационных трактов в обоих комплектах также производится одновременно, но позже, чем переключение передающих цепей, на время распространения сигнала по каналу связи. Элементы задержки введены в коммутаторы устройства.

Подробное описание устройства и его составных частей: коммутатора, блоков управления и сравнения, датчика команд и счетчика времени, приведено в описании изобретения «Устройство для переключения каналов связи» [14].

Устройство для обмена информацией. Общим свойством способов, реализуемых в устройствах, рассмотренных выше, является обеспечение возможности образования (разрушения и/или переключения) информационных трактов в заданные моменты времени. При этом потери информации не происходит.

Обеспечение такой возможности на практике в информационных системах позволяет автоматизировать процессы обмена информацией между множеством вычислительных комплексов (персональных компьютеров). Выше на рис. 4 приведена схема устройства для обмена информацией, реализующего возможность образования (разрушения и/или переключения) информационных трактов в заданные моменты времени.

Устройство для обмена информацией работает следующим образом.

1. В исходном состоянии записывается следующая информация:
- в блок 1 памяти входов и выходов записываются номера входов/выходов первого блока коммутации, участвующих в планируемых сеансах;
- в блок 2 памяти входов и выходов записываются номера входов/выходов второго блока коммутации, участвующих в планируемых сеансах связи. Запись осуществляется в привязке к соответствующим входам/выходам первого блока коммутации;
- в блок памяти начала сеанса записываются метки времени T_1 начала сеансов, в привязке к соответствующим парам входов и выходов первого и второго блоков коммутации;
- в блок памяти окончания сеанса записываются метки времени T_2 окончания сеансов, в привязке к соответствующим парам входов/выходов первого и второго блоков коммутации.

Запись производится с соответствующих установочных входов, причем первоначально память обнуляется, затем записывается информация.

2. К входам/выходам блоков коммутации подключаются выходы/входы вычислительных комплексов (персональных компьютеров), участвующих в процессах обмена в различных сеансах.

3. Счетчик состояний и триггер устанавливаются в нулевые состояния, путем подачи импульса на их входы запуска.

4. Под воздействием нулевой комбинации, поступающей на адресные входы всех блоков памяти, производятся следующие подключения:
- вход/выход первого блока коммутации, который запланирован к участию в первом сеансе подключается к первым входу/выходу ключевого блока;
- вход/выход второго блока коммутации, который запланирован к участию в первом сеансе подключается ко вторым входу/выходу ключевого блока;
- на первый вход таймера начала сеанса поступает метка времени T_1 начала первого сеанса. На второй вход таймера начала сеанса поступают сигналы текущего времени из счетчика состояний;
- на первый вход таймера окончания сеанса поступает метка времени T_2 окончания первого сеанса. На второй вход таймера окончания сеанса поступают сигналы текущего времени из счетчика состояний.

5. Таймеры начала и окончания сеанса изменяют свои состояния под воздействием импульсов, поступающих от генератора тактовых импульсов.

6. При совпадении метки текущего времени с меткой времени T_1 начала первого сеанса на выходе таймера начала сеанса появляется импульс, перебрасывающий триггер. Триггер включает ключевой блок и его первые вход/выход подключаются к его второму выходу/входу. Тем самым обеспечивается обмен пакетами информации между вычислительными комплексами (персональными компьютерами), участвующими в первом сеансе.

7. При совпадении метки текущего времени с меткой времени T_2

окончания первого сеанса на выходе таймера окончания сеанса появляется импульс. Данный импульс вновь перебрасывает триггер, в результате чего:

- разрывается соединение его первых входа/выхода и вторых выхода/входа ключевого блока;
- первый вход подключается к первому выходу, второй вход подключается ко второму выходу, образуя шлейфы. Тем самым прекращается обмен пакетами информации между вычислительными комплексами (персональными компьютерами), участвующими в первом сеансе;
- счетчик состояний устанавливается в следующее состояние, при котором устройство обмена готовится ко второму сеансу.

Аналогичным образом проходят все запланированные сеансы. Затем, после прохода таймерами максимальных значений процессы повторяются до записи новой информации о сеансах.

Подробное описание устройства приведено в описании изобретения «Устройство для обмена информацией» [6].

Обеспечение устойчивости при использовании коммутируемых линий

Устройство приема данных. Для обеспечения своевременности доставки команд и данных информационные сигналы одного пакета передают одновременно по нескольким коммутируемым линиям городских и междугородных телефонных сетей. При таком способе организации тракта необходимо применять решения, исключающие потери информации в связи с различным временем распространения сигналов в коммутируемых линиях.

С целью обеспечения устойчивой работы информационных трактов по каналам связи с различным временем распространения сигналов разработано устройство приема данных.

Схема устройства приема данных приведена ниже на рис. 14.

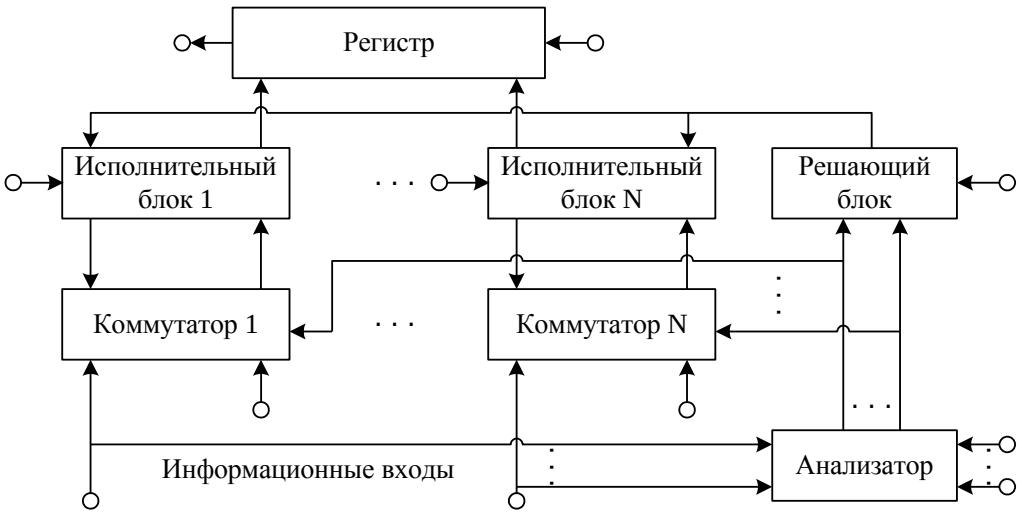


Рис. 14. Схема устройства приема данных

Устройство приема данных работает следующим образом.

1. На информационные входы коммутаторов и анализатора поступают

информационные сигналы. Каждой последовательности информационных сигналов (пакету информации) предшествует служебный сигнал. Моменты поступления служебных сигналов неизвестны и в общем случае отличаются друг от друга.

2. В коммутаторах служебные сигналы записываются.

3. На выходах анализатора появляются сигналы установки. Между появлением первого и последнего сигналов установки в коммутаторах, в которых уже записаны служебные сигналы, производится запись поступающих информационных сигналов. Считывание этих сигналов запрещено сигналами с соответствующих исполнительных блоков.

4. В то время, когда выделяется служебный сигнал, с выхода анализатора сигнал установки поступает в соответствующий коммутатор и в решающий блок.

5. Коммутатор устанавливается в состояние готовности.

6. При поступлении в решающий блок сигналов установки со всех выходов анализатора, с выхода решающего блока поступает разрешающий потенциал в исполнительные блоки.

7. Исполнительные блоки переключаются и пропускают тактовые импульсы в коммутаторы для считывания информационных сигналов в регистр и далее на выход устройства.

Таким образом, устройство приема данных достоверно восстанавливает информационные сигналы, поступившие по различным каналам, в едином пакете.

Подробное описание устройства приема данных и его составных частей – коммутаторов, исполнительных блоков, анализатора и решающего блока приведено в описании изобретения «Устройство приема данных» [15].

Устройство для сопряжения вычислительных ресурсов. На основе описанного выше устройства приема данных разработано устройство для сопряжения вычислительных ресурсов (вычислительных комплексов, персональных компьютеров). Данное устройство предназначено для достоверной (без потери информации) передачи и приема информации в многоканальном тракте, образованном между двумя вычислительными ресурсами. Данное устройство обеспечивает:

- прием пакета информации от передающего вычислительного ресурса;
- распределение информационных сигналов этого пакета в разные каналы связи с целью одновременной их передачи в направлении приемного вычислительного ресурса;
- прием этих сигналов, сборка их в едином пакете и передача пакета информационных сигналов в приемный вычислительный ресурс.

Схема устройства для сопряжения вычислительных ресурсов приведена ниже на рис. 15.

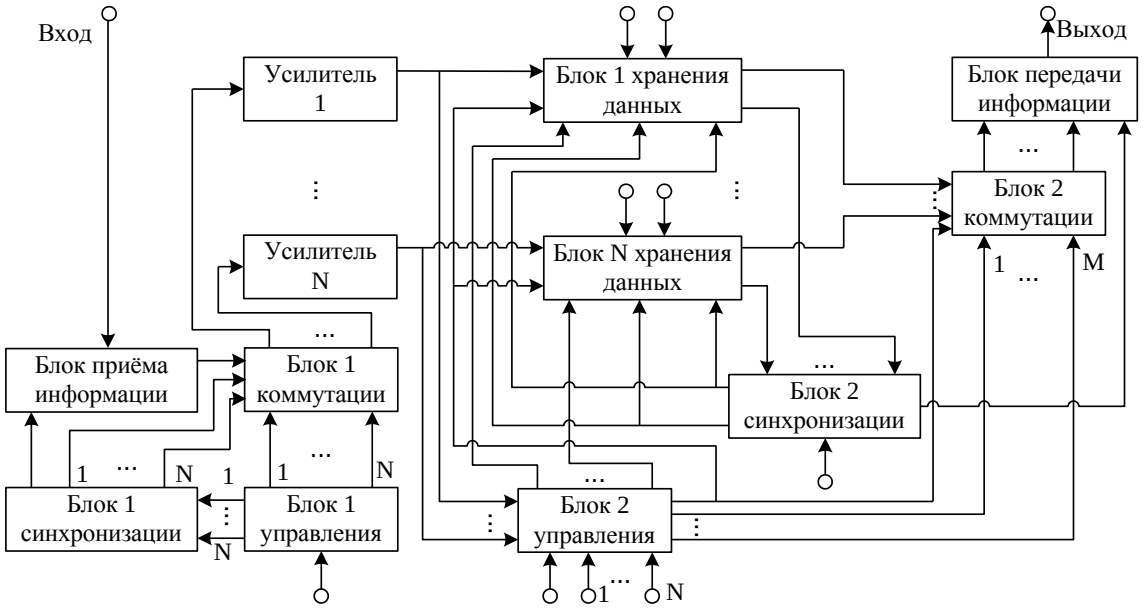


Рис. 15. Схема устройства для сопряжения вычислительных ресурсов

Подробное описание устройства для сопряжения вычислительных ресурсов и его составных частей – блоков хранения данных, коммутации, управления и синхронизации приведено в описании изобретения «Устройство для сопряжения ЦВМ» [16]. Данное устройство позволяет осуществлять передачу информационных сигналов по каналам с нестабильным временем распространения сигналов.

Двухканальное устройство для сопряжения вычислительных ресурсов. Это устройство предназначено для повышения пропускной способности информационного тракта, образованного между двумя вычислительными ресурсами. Данное устройство обеспечивает обмен пакетами информации между двумя вычислительными ресурсами через двухпроводную соединительную телефонную сеть. Схема двухканального устройства для сопряжения вычислительных ресурсов приведена на рис. 16.

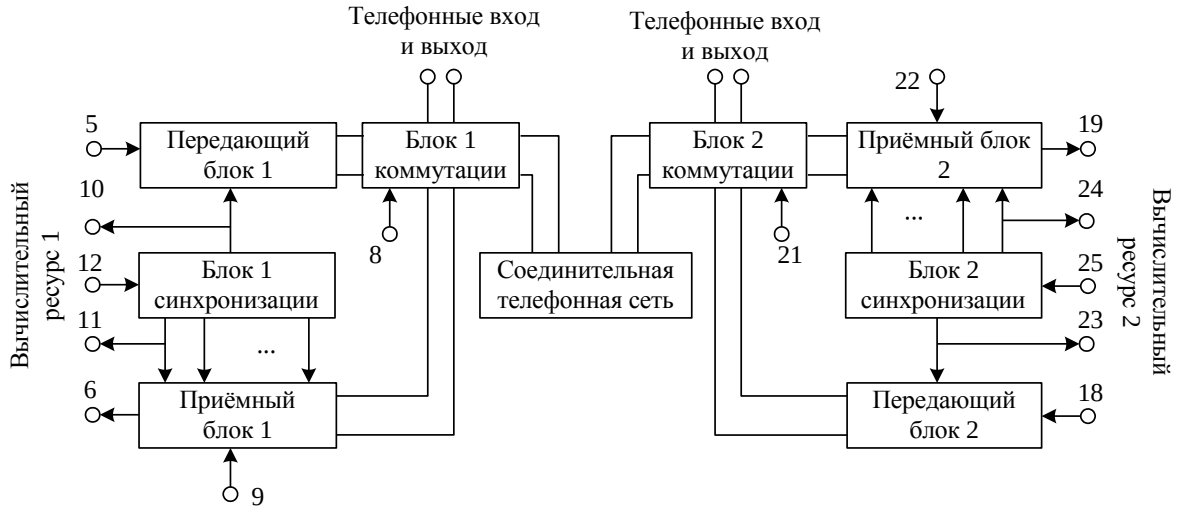


Рис. 16. Схема двухканального устройства

На данной схеме цифрами обозначены следующие элементы:

- 5 и 6 – выход и вход первого вычислительного ресурса;
- 18 и 19 – выход и вход второго вычислительного ресурса;
- 10 и 11 – выходы синхронизации соответственно передачи и приема первого вычислительного ресурса;
- 23 и 24 – выходы синхронизации соответственно передачи и приема второго вычислительного ресурса;
- 12 и 25 – входы записи «1» в блоки синхронизации;
- 8 и 9 – соответственно вход управления и вход установки эталона на стороне первого вычислительного ресурса;
- 21 и 22 – соответственно вход управления и вход установки эталона на стороне второго вычислительного ресурса;
- 7 – телефонные вход и выход на стороне первого вычислительного ресурса;
- 20 – телефонные вход и выход на стороне второго вычислительного ресурса.

Двухканальное устройство для сопряжения вычислительных ресурсов работает следующим образом:

1. В исходном состоянии подачей управляющих сигналов на входы 8 и 21 управления устройство устанавливается в телефонный режим. При этом телефонные входы и выходы подключаются через блоки коммутации к соединительной телефонной сети. Операторы обоих вычислительных ресурсов по телефону договариваются о сеансе передачи данных и о порядке смены направлений передачи данных, например, время начала сеанса 12.00, продолжительность сеанса 12 минут, смена направления передачи данных через каждые 2 минуты, первое направление передачи от первого вычислительного ресурса. После этого операторы первого и второго вычислительных ресурсов подачей управляющих сигналов на входы управления соответствующих блоков коммутации устанавливают устройство в режим передачи данных от первого вычислительного ресурса ко второму.

2. Устройство в режиме передачи данных работает следующим образом. С выхода первого вычислительного ресурса информационные сигналы подаются на вход передающего блока 1 с частотой следования синхронизирующих импульсов, поступающих из блока 1 синхронизации. Передающий блок 1 настроен таким образом, что автоматическая телефонная станция в соединительной телефонной сети не принимала бы интервалы времени прохождения информационных сигналов, равных логическому «0», за паузы между импульсами набора номера, а интервалы времени прохождения информационных сигналов, равных логической «1», за импульсы набора номера.

3. На приемной стороне в приемном блоке 2 происходит преобразование аналогового сигнала, приходящего из соединительной телефонной сети и подвергшегося искажениям, в цифровые комбинации числом m для каждого логического «0» или «1» и по n бит в каждой комбинации. Например, при

реализации аналого-цифрового преобразователя в приемном блоке в виде ИКМ преобразователя параметр n=8, а параметр m можно выбрать равным трем. Под воздействием двух последовательностей синхронизирующих импульсов соответственно с частотами mnf и mf, поступающих из блока 2 синхронизации, происходит:

- поочередное накопление в приемном блоке 2 кодов m дискретных отсчетов одного и того же принятого аналогового сигнала;
- поочередное сравнение этих кодов с эталонным кодом, подаваемым с входа 22 установки эталона;
- по результатам сравнения восстанавливаются информационные сигналы, переданные из первого вычислительного ресурса, и передаются во второй вычислительный ресурс.

Аналогичным образом осуществляется передача информационных сигналов в обратном направлении.

Таким образом, данное устройство обеспечивает высокую пропускную способность информационного тракта между двумя вычислительными ресурсами при использовании двухпроводной соединительной телефонной сети для обмена пакетами информации.

Данный эффект достигается за счет того, что автоматическая телефонная станция в соединительной телефонной сети воспринимает процесс передачи данных как обычный аналоговый процесс, происходящий при разговоре двух абонентов. Тем самым исключаются возможные прерывания процесса передачи данных при совпадении этих комбинаций с комбинациями специальных кодов автоматической телефонной станции. Информационный тракт становится прозрачным.

Подробное описание устройства для сопряжения вычислительных ресурсов и его составных частей – передающего и приемного блоков, блоков синхронизации и коммутации, приведено в описании изобретения «Двухканальное устройство для сопряжения ЭВМ» [17].

Повышение устойчивости информационных трактов

Построение трактов передачи информации. При создании компьютерных сетей возникают ситуации, когда в составе их магистральных, а подчас и локальных, сетей передачи данных используются многоканальные цифровые системы связи. Как правило, канальные интервалы в этих системах задействуются и для передачи речи в телефонных сетях и для передачи данных в прикладных информационных системах организационных систем. Дальнейшее развитие многоканальные цифровые системы связи получили в связи с разработкой системно-технических решений, обеспечивающих переключение транспортных ресурсов этих систем – канальных интервалов, между потоками передачи речевой информации, и потоками данных, в зависимости от потребностей систем управления.

С помощью разработанных системно-технических решений для передачи информации между вычислительными ресурсами можно образовывать информационные тракты с переменной скоростью передачи данных. Значение

скорости в тракте зависит от загрузки транспортных ресурсов, выделенных изначально для передачи речевой информации и подключаемых по мере их освобождения в информационный тракт для передачи данных. Отключаются эти ресурсы из информационного тракта по мере востребованности их для передачи речевой информации или в соответствии с регламентом.

Различают следующие основные способы организации информационного тракта с переменной скоростью передачи данных:

- способ подключения (отключения) канала связи к информационному тракту;
- способ введения данных в паузы речи, передаваемой по каналам связи телефонной сети;
- способ совместного использования каналов связи для передачи речевой информации и данных.

Подключение канала связи к тракту. Суть способа подключения канала связи, изначально предназначенного для передачи речи, к тракту компьютерной сети наглядно демонстрируется на примере функционирования разработанного устройства для передачи речи и данных. Схема устройства приведена ниже на рис. 17.

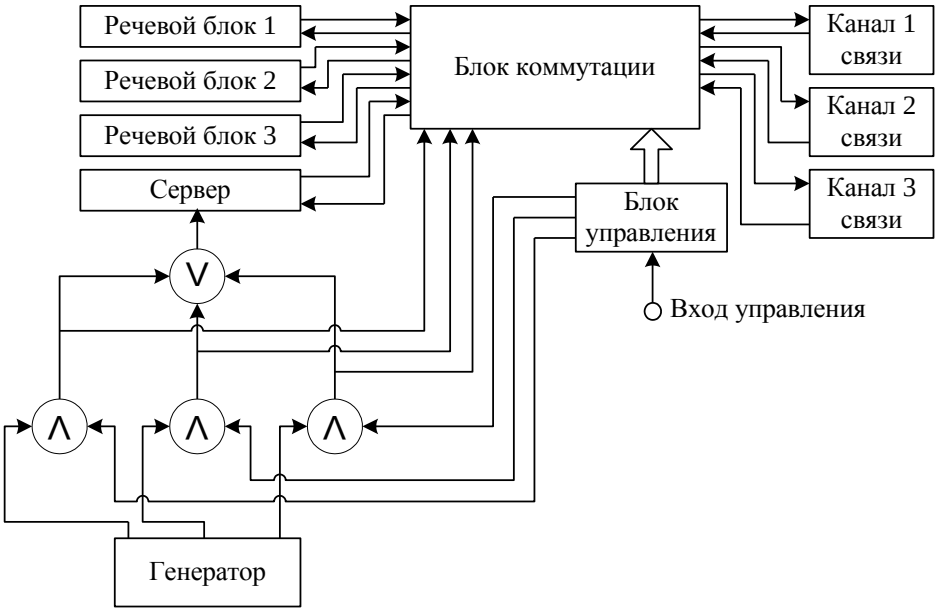


Рис. 17. Схема устройства передачи речи и данных

Устройство работает следующим образом.

1. Если речевые блоки 1 и 2 находятся в активном состоянии, а речевой блок 3 – в свободном состоянии, то:

- речевые блоки 1 и 2 подключены соответственно к каналам 1 и 2 связи;
- сервер подключен к каналу 3 связи.

2. В результате такого подключения по каналам 1 и 2 связи передается речь, а по каналу 3 связи передаются данные. После перехода речевого блока 1 в свободное состояние оператор выставляет на входе управления комбинацию

сигналов, под воздействием которой блок управления устанавливает блок коммутации в новое состояние. Это состояние характеризуется тем, что сервер продолжает передавать данные и в канал 3 связи, и начинает передавать данные в канал 1 связи. Считывание данных из сервера в каналы связи осуществляется под воздействием тактовых сигналов, поступающих через логические схемы И и ИЛИ от генератора. Скорость передачи данных увеличивается. Аналогичные операции производятся при переключениях и других каналов связи. При переходе какого-либо речевого блока в активное состояние, канал связи, изначально предназначенный для этого блока, переключается на него.

Таким образом, зная закон загрузки каналов связи речью, можно определить дополнительную производительность тракта компьютерной сети. Подробное описание устройства передачи речи и данных и его составных частей приведено в описании изобретения «Устройство для передачи данных с переключением каналов связи» [18].

Передача данных по речевым каналам. На основе описанного выше способа увеличения производительности трактов компьютерной сети за счет производительности каналов связи, изначально предназначаемых для передачи речи, разработана многоканальная цифровая система связи, схема которой приведена ниже на рис. 18.

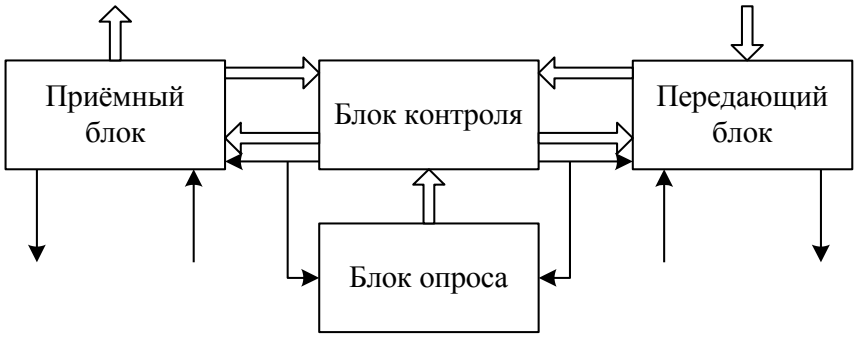


Рис. 18. Схема 1 многоканальной цифровой системы связи

Данная система связи работает в двух режимах:

– в режиме переключения канальных интервалов для передачи данных;
– в режиме переключения канальных интервалов для передачи речи.

Образование высокоскоростного информационного тракта для передачи данных в системе связи достигается с помощью блоков контроля и опроса, осуществляющих включение свободных канальных интервалов в информационный тракт.

В состав передающего блока входят следующие составные части: согласующие блоки передачи, передатчики; кодер; формирователь линейных сигналов; преобразователь кода передачи; блок передачи дискретной информации (данных); генератор передачи; формирователь синхропосылок; элементы ИЛИ.

В состав приемного блока входят следующие составные части: согласующие блоки приема; приемники; блок распределения; генератор приема; приемник синхропосылок; декодер; преобразователь кода приема; блок

приема дискретной информации (данных); ключи и элементы ИЛИ.

В состав блока контроля входят следующие составные части: решающие блоки; определитель; анализатор; переключатели.

В состав блока опроса входят следующие составные части: дешифраторы; счетчики.

Многоканальная цифровая система связи (рис. 18) работает следующим образом.

1. При поступлении сигналов «Отбой» со стороны телефонного абонента в передающий блок. Передающий блок устанавливается в состояние отбоя на передаче для соответствующего канального интервала.

2. При поступлении сигналов «Отбой» со стороны линейно-цифрового тракта в приемный блок. Приемный блок устанавливается в состояние отбоя на приеме для того же канального интервала, что и на передаче.

3. Отслеживание номера освободившегося канального интервала осуществляется в блоке опроса. Блок опроса выдает сигнал о готовности этого канального интервала к передаче данных.

4. Блок контроля фиксирует канальный интервал свободным и подключает его в информационный тракт для передачи данных.

5. Передача данных в этом канальном интервале осуществляется до прихода сигнала «Вызов» от телефонного абонента в передающий блок и из линейно-цифрового тракта в приемный блок.

6. С приходом сигнала «Вызов» от телефонного абонента в передающий блок и из линейно-цифрового тракта в приемный блок канальный интервал отключается из информационного тракта и используется для передачи речи.

Подробное описание данной многоканальной цифровой системы связи и ее составных частей приведено в описании изобретения «Многоканальная цифровая система связи» [19]. Описание варианта устройства временного уплотнения из состава данной многоканальной цифровой системы связи приведено в описании изобретения «Устройство временного уплотнения для многоканальных цифровых систем связи» [20].

Устройство установления скорости. С целью повышения пропускной способности тракта компьютерной сети разработано системно-техническое решение, позволяющее автоматически устанавливать в тракте скорость передачи данных, в зависимости от поступающих сигналов управления телефонными соединениями (сигналы «Вызов» и «Отбой»). Схема устройства установления скорости передачи данных в информационном тракте приведена на рис. 19.

Устройство установления скорости передачи данных в информационном тракте работает следующим образом.

1. Режим приема сигнала «Вызов» от абонента на исходящей станции. На входы дешифратора исходящих сигналов поступает сигнал «Вызов», который:

– подготавливает с помощью анализатора состояния каналов блок задержки для прохождения через него соответствующих сигналов с выхода переключателя приема, появляющихся на его входе после

подтверждения сигналов «Вызов» в определителе каналов и анализаторе сигналов;

– обеспечивает на исходящей станции прохождение тактовых импульсов в блоке задержки и далее в передающий и приемный блоки многоканальной цифровой системы связи без задержки.

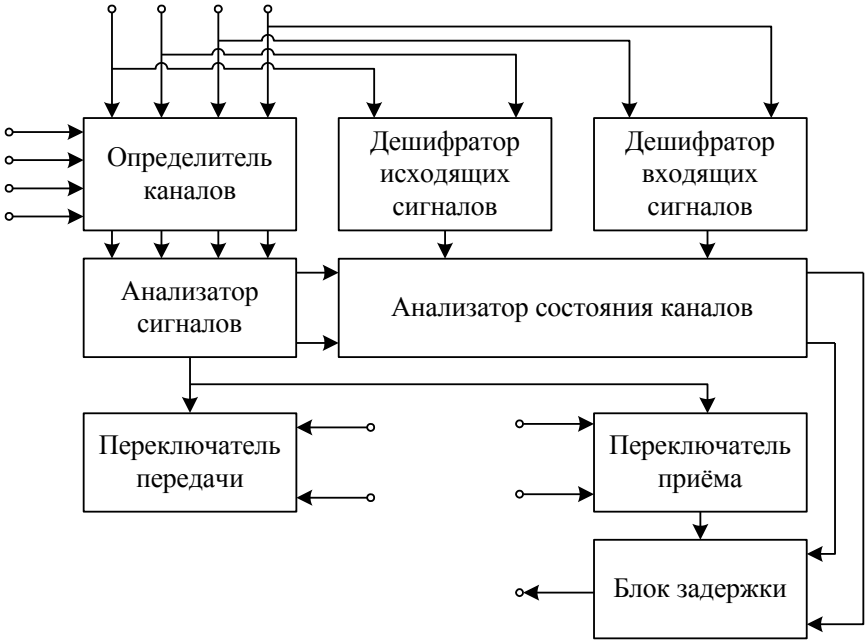


Рис. 19. Схема устройства установления скорости

2. Режим приема сигнала «Вызов» из канала на входящей станции. Поступающий на вход дешифратора входящих каналов сигнал «Вызов»:

– подготавливает анализатор состояния каналов и блок задержки для прохождения через них соответствующих сигналов, при этом осуществляются операции, аналогичные операциям, описанным выше для режима приема сигнала «Вызов» от абонента на исходящей станции;
– обеспечивает на входящей станции прохождение тактовых импульсов через блок задержки и далее в передающий блок многоканальной цифровой системы связи без задержки;
– обеспечивает на входящей станции прохождение тактовых импульсов через блок задержки и далее в приемный блок многоканальной цифровой системы связи с задержкой во времени.

3. В режиме приема сигнала «Отбой» от абонента на исходящей станции выполняются операции, подобные операциям, производимым в режиме приема сигнала «Вызов» от абонента на исходящей станции. В этом режиме на исходящей станции тактовые импульсы проходят в передающий и приемный блоки многоканальной цифровой системы связи без задержки.

4. В режиме приема сигнала «Отбой» из канала на входящей станции выполняются операции, подобные операциям, производимым в режиме приема сигнала «Вызов» из канала на входящей станции. В этом режиме на входящей станции тактовые импульсы проходят в приемный блок многоканальной

цифровой системы связи с задержкой во времени.

Повышение быстродействия в проводных многоканальных цифровых системах связи достигается с помощью описанного здесь решения за счет установки времени задержки, равном времени прохождения сигнала в канале связи. Это позволяет осуществлять наращивание скорости передачи данных в информационных трактах сразу после освобождения того или иного канала связи от передачи по нему речевых сигналов (в моменты поступления сигналов «Отбой»).

Подробное описание устройства установления скорости передачи данных в информационном тракте и его составных частей приведено в описании изобретения «Устройство для установления соединений в многоканальной цифровой системе связи» [21].

Тракты с переменной скоростью. Основным свойством рассмотренных в предыдущем разделе системно-технических решений, является образование высокоскоростного информационного тракта для передачи данных между вычислительными комплексами. При этом условием, регулирующим скорость передачи в информационном тракте, является наличие канальных интервалов, свободных в определенном временном интервале от передачи речевых сигналов. Областями применения таких решений являются интегральные сети передачи речи и данных.

Для магистральных и локальных сетей передачи данных, построенных исключительно для транспортного обеспечения компьютерной сети, разработаны системно-технические решения, позволяющие образовывать в многоканальных цифровых системах связи несколько информационных трактов с регулируемой скоростью передачи данных. На рис. 20 приведена схема многоканальной цифровой системы, которая обеспечивает управление скоростью передачи данных в информационных трактах.

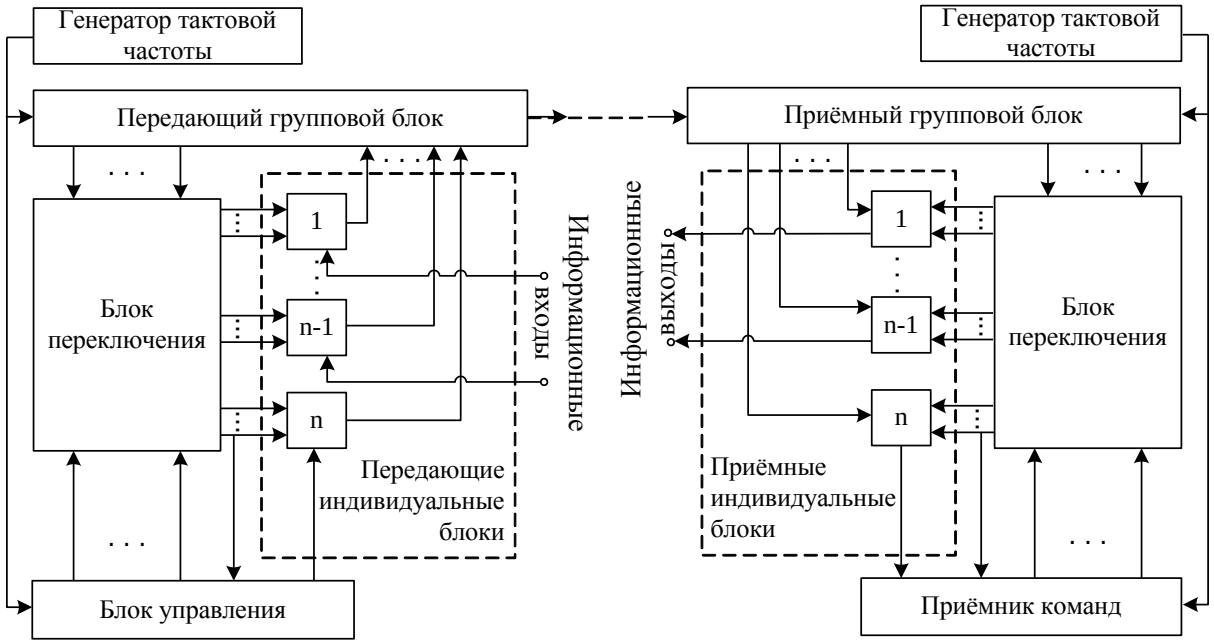


Рис. 20. Схема многоканальной цифровой системы связи

Многоканальная цифровая система связи с управлением скоростью передачи данных в информационных трактах работает следующим образом.

1. Последовательности информационных сигналов поступают по соединительным линиям на информационные входы передающих индивидуальных блоков, в которых восстанавливается их форма.

2. Далее восстановленные сигналы со всех передающих индивидуальных блоков поступают в передающий групповой блок, который обеспечивает их временное объединение, распределение по циклам и передачу по групповому тракту в приемный групповой блок.

3. В приемном групповом блоке сигналы фазируются, перегруппировываются и передаются в приемные индивидуальные блоки, в которых они преобразуются для передачи по соединительным линиям и далее выдаются на информационные выходы.

4. Блок управления устанавливает скорость передачи информационных сигналов через каждые передающий и приемный индивидуальные блоки. Это производится следующим образом:

- комбинация управляющих сигналов поступает в блок переключения и в *n*-й передающий индивидуальный блок;
- блок переключения, в соответствии с установленным состоянием подготавливает передающие индивидуальные блоки к прохождению через них информационных сигналов;
- под воздействием тактовых импульсов, поступающих из передающего группового блока, передающие индивидуальные блоки обеспечивают прохождение информационных сигналов в групповой тракт;
- *n*-й передающий индивидуальный блок передает принятую комбинация управляющих сигналов в канал связи и далее через *n*-й приемный индивидуальный блок – в приемник команд;
- приемник команд обеспечивает прохождение через приемные индивидуальные блоки информационных сигналов и выдачу их на выход с теми же скоростями, которые были установлены на передающей стороне.

Подробное описание многоканальной цифровой системы связи с управлением скоростью в отдельных информационных трактах, а также описание ее составных частей приведено в описании изобретения «Многоканальная цифровая система связи» [22].

Увеличение пропускной способности информационных трактов. Данная цель может быть достигнута путем использования для передачи данных специальных каналов, выделяемых в типовых многоканальных цифровых системах связи только для передачи служебных сигналов. Это возможно за счет передачи дополнительной информации по служебному каналу в интервалы времени, свободные от передачи служебных сигналов, для чего разработаны системно-технические решения по построению блока управления и приемника команд в многоканальной цифровой системе связи (рис. 20). Схемы блока управления и приемника команд приведены ниже на рис. 21 и рис. 22.

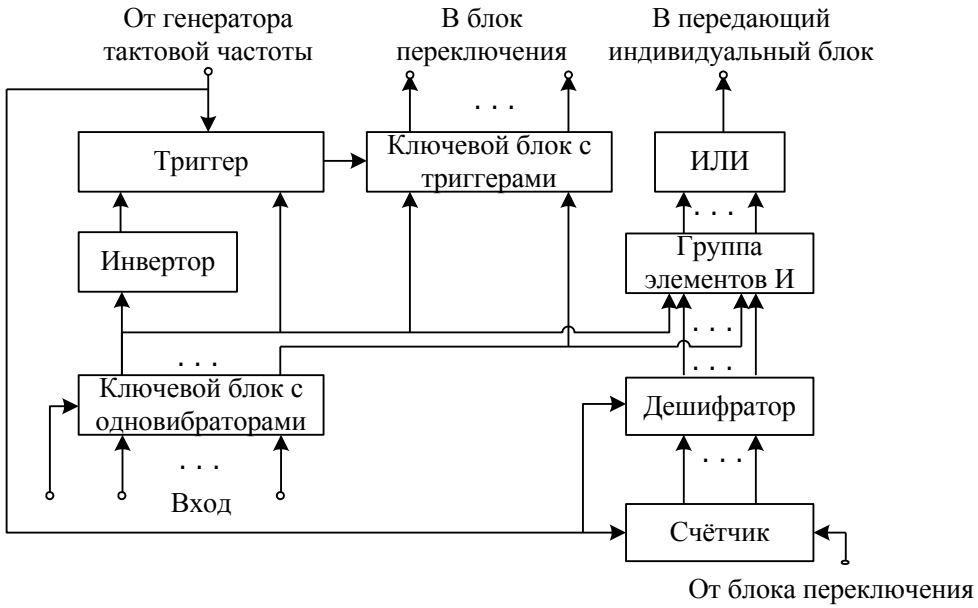


Рис. 21. Схема блока управления
для многоканальной цифровой системы связи

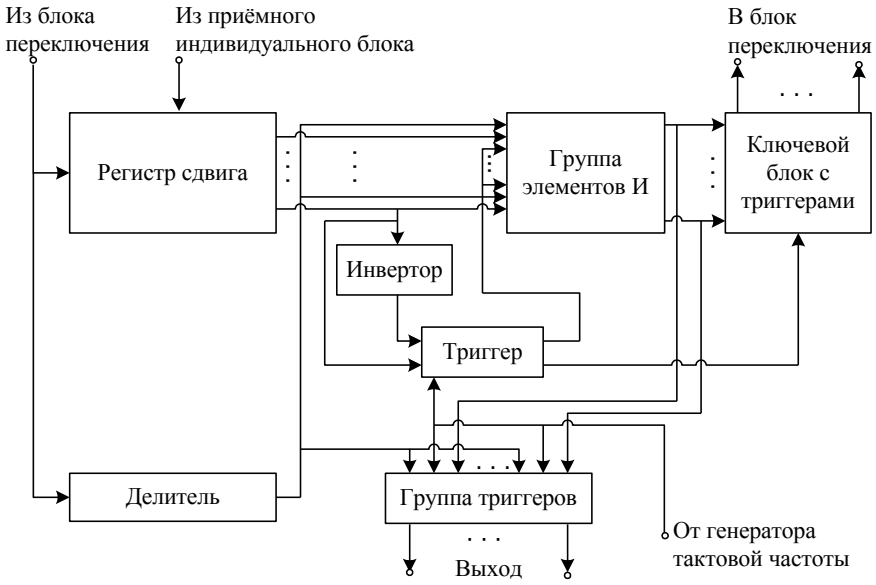


Рис. 22. Схема приемника команд
для многоканальной цифровой системы связи

Многоканальная цифровая система связи в части управления скоростью работает в соответствии с алгоритмом, приведенным выше, но со следующими особенностями:

– в кодах установки скорости передачи данных, вырабатываемых блоком управления (комбинации управляющих сигналов), первый бит является логической единицей;
– в остальных кодах (пакеты информационных сигналов), которые могут поступать на управляющий вход и информационные входы системы, первые биты являются логическими нулями. На приемной стороне эти коды снимаются со служебного выхода.

Реализация указанных особенностей обеспечивается внутренней структурой блока управления и приемника команд.

Блок управления работает следующим образом.

1. При поступлении импульса на управляющий вход блока управления комбинация управляющих сигналов с его служебного входа проходит через ключевой блок с одновибраторами:

– на информационные входы ключевого блока с триггерами;
– на информационные входы группы логических элементов И.

2. Если бит первого разряда комбинации управляющих сигналов является логической единицей, то триггер переводится в единичное состояние и открывает ключевой блок с триггерами. На выходе ключевого блока с триггерами устанавливается принятая комбинация управляющих сигналов и существует до прихода другой комбинации. Счетчик запускается с приходом циклового импульса на его первый вход и начинает отсчет с приходом каждого тактового импульса на его второй вход. Сменяющиеся комбинации на выходе счетчика управляют дешифратором. На выходах дешифратора появляются сигналы, которые поочередно открывают элементы И из состава группы элементов И. В результате этого, на входы элемента ИЛИ поступает комбинация управляющих сигналов, которая далее проходит в передающий индивидуальный блок.

3. Если бит первого разряда комбинации управляющих сигналов является логическим нулем, то на выходе инвертора образуется единичный сигнал, который сбрасывает триггер в нулевое состояние. В результате этого, пакет информации (команда) не поступает на выходы ключевого блока с триггерами. Указанные операции относятся к процессу передачи информации через систему с ее служебного входа на ее служебный выход между двумя внешними, по отношению к системе устройствами, например, серверами.

Приемник команд работает следующим образом.

1. Как только в регистр сдвига поступит пакет импульсов, соответствующий полной комбинации управляющих сигналов, с делителя (делитель на число сигналов в комбинации) поступает потенциал:

– в группу элементов И, подготавливая их к открытию;
– в группу триггеров осуществляя сброс триггеров и, тем самым, подготавливая их к записи в них комбинации управляющих сигналов.

2. Если бит первого разряда комбинации управляющих сигналов является логическим нулем, то сигнал с выхода регистра сдвига, поступив через инвертор в триггер, перебрасывает триггер в состояние, при котором:

– нулевой потенциал с одного выхода триггера закрывает ключевой блок с триггерами;
– единичный потенциал с другого выхода триггера открывает группу логических элементов И.

В результате комбинации управляющих сигналов с выхода регистра сдвига поступают через группу логических элементов И:

– на информационные входы ключевого блока с триггерами, но не проходит через него, т. к. этот блок закрыт;
– в группу триггеров и далее на служебный выход системы.

Подробное описание многоканальной цифровой системы связи с повышенной пропускной способностью приведено в описании изобретения «Многоканальная цифровая система связи» [23].

Территориально распределенные компьютерные сети. Для компьютерных сетей, в которых тракты строятся между организационными системами, осуществляющими деятельность в различных часовых поясах, разработана специальная многоканальная цифровая система связи.

Целью разработки является автоматическое регулирование скорости передачи данных в информационных трактах в зависимости от времени суток. Цель достигается путем управления частотой генераторов тактовой частоты на передаче и на приеме. Схема многоканальной цифровой системы связи с регулированием скорости передачи данных в трактах компьютерной сети приведена на рис. 23.

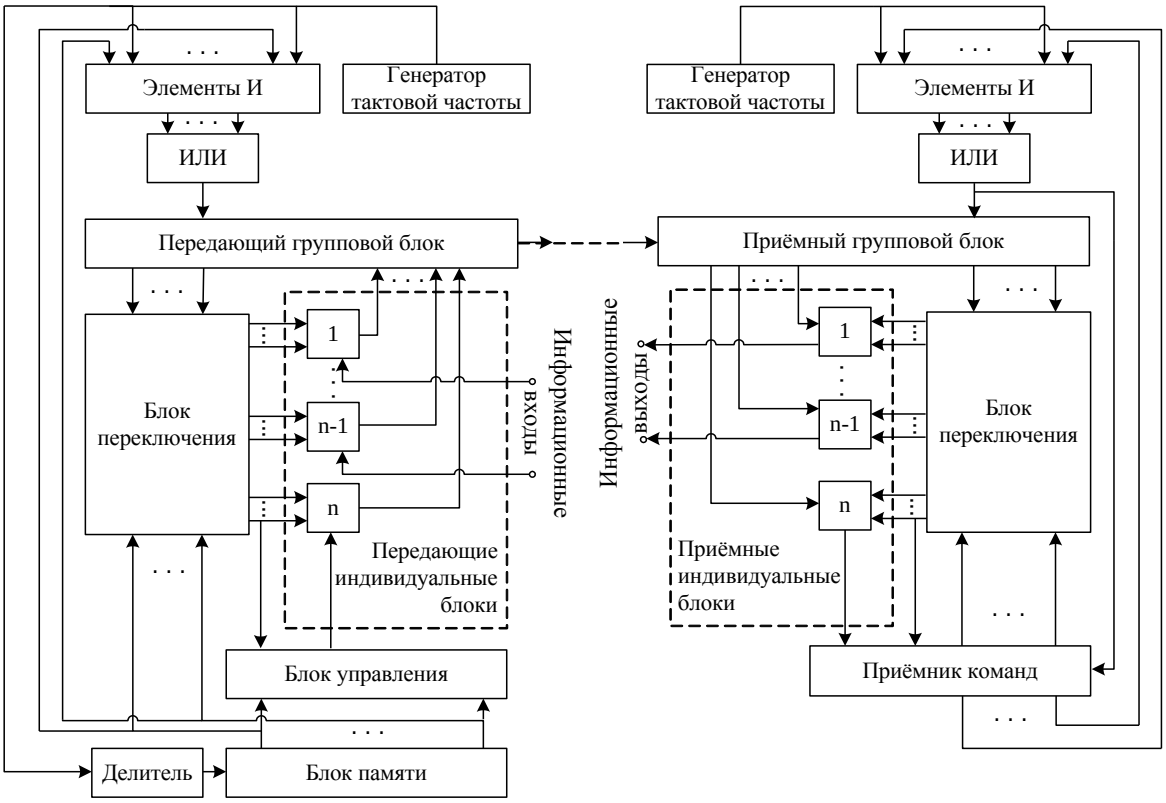


Рис. 23. Схема многоканальной цифровой системы связи с регулированием скорости передачи данных в трактах компьютерной сети

Многоканальная цифровая система связи с регулированием скорости передачи данных в информационных трактах работает следующим образом.

1. В исходном состоянии в блок памяти записываются коды команд. Сменяемость кодов обеспечивается с течением времени при поступлении импульсов с выхода делителя на вход блока памяти.

2. Перевод системы в рабочее состояние подачей кода команды

(комбинации управляющих сигналов):

– в блок переключения передающей части системы;
– в приемник команд (через групповой тракт).

3. Коды команд, записанные в блоке памяти, устанавливают:

– скорость передачи (приема) сигналов в групповом тракте;
– скорость передачи (приема) сигналов через каждый передающий и приемный индивидуальный блок.

4. Установление скорости передачи (приема) сигналов производится следующим образом. На выходе блока памяти под воздействием импульсов, поступающих с делителя, появляется комбинация управляющих сигналов, которая поступает:

– на передающей части системы: на управляющие входы блока переключения, на первые входы элементов И, а также на информационные входы блока управления;
– через *n*-й передающий индивидуальный блок, передающий групповой блок, групповой тракт, приемный групповой блок и *n*-й приемный индивидуальный блок в приемник команд.

5. На сигнальные входы блока переключения передающей части системы поступают импульсы из передающего группового блока, которые, в зависимости от состояния переключателей, определяемого комбинацией управляющих сигналов, передаются в передающие индивидуальные блоки.

6. Комбинация управляющих сигналов с выхода приемника команд передается на вторые входы блока переключения приемной части системы. Этим обеспечивается работа передающей и приемной частей системы, согласованная:

– по скорости ввода информации в передающие индивидуальные блоки;
– по скорости вывода информации из приемных индивидуальных блоков.

Согласованная работа блока управления и приемника команд обеспечивается за счет подачи на тактовый вход блока управления и на второй вход приемника команд идентичных последовательностей тактовых импульсных сигналов.

Таким образом, с помощью комбинаций управляющих сигналов, поступающих с выхода блока памяти и различающихся в зависимости от времени суток, вырабатывается соответствующая частота тактовых импульсов для считывания информационных сигналов, которая определяет:

– скорость передачи и приема сигналов в групповом тракте системы;
– пропорционально измененные скорости передачи и приема в индивидуальных информационных трактах, образованных с помощью передающих и приемных индивидуальных блоков.

Проводя анализ нагрузки на информационные тракты в различные интервалы времени, и записывая по результатам анализа в блок памяти соответствующие коды команд, можно установить скорости передачи сигналов, оптимальные с точки зрения максимальной пропускной способности системы

для различных интервалов времени.

Подробное описание многоканальной цифровой системы связи с регулированием скорости передачи данных в информационных трактах приведено в описании изобретения «Многоканальная цифровая система связи» [24].

Заключение

Разработка представленных в статье технических решений осуществлялась в 1980-е годы – во время становления интеграционных научно-производственных комплексов и постановки масштабных системных проектов. В их основу положены 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. Использование представленных технических решений, повышает качественные показатели управления и связи по своевременности и надежности предоставления информации. Представленный анализ изобретений приводится с целью возможного использования идей, лежащих в их основе, для воплощения на базе современных средств вычислительной техники.

Литература

1. О стратегии национальной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 / Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201512310038 (дата обращения: 31.12.2015).

2. 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 27.03.2016).

3. Шабанов А. П., Неманежин В. В., Родин А. С. Устройство сбора информации // Авторское свидетельство SU 1508242 A1. Кл. G 06 F 15/74. Опубл.: 15.09.1989. Бюл. № 34.

4. Шабанов А. П., Беляков А. Г. Организационные структуры массового обслуживания. М.: ИПУ РАН, 2007. – 100 с.

5. Шабанов А. П., Аракелян М. А. О мобильных контрольно-учетных системах для корпоративных компьютерных систем» // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИЭМ, 2011. – С. 144-147.

6. Шабанов А. П., Дворжецкий Ю. О. Устройство для обмена информацией // Авторское свидетельство SU 1821802 A1. Кл. G 06 F 13/00. Опубл. 15.06.93. Бюл. № 22.

7. Шабанов А. П, Родин А. С. Устройство сканирования // Авторское свидетельство SU 1172065 A1. Кл. H 04 M 3/22. Опубл. 07.08.85. Бюл. № 29.

8. Шабанов А. П., Родин А. С. Устройство сбора информации // Авторское свидетельство SU 1742834 A1. Кл. H 04 M 3/22. Опубл. 23.06.92. Бюл. № 23.

9. Шабанов А. П., Дворжецкий Ю. О. Устройство сложения пакетов информационных сигналов // Авторское свидетельство SU 1756896 A1. Кл. G 06 F 13/00. Опубл. 23.08.93. Бюл. № 31.

10. Шабанов А. П. Система радиосвязи // Авторское свидетельство SU 1755381 A1. Кл. H 04 B 7/165. Опубл. 15.08.92. Бюл. № 30.

11. Шабанов А. П., Родин А. С., Луговой Е. Б. Система волоконно-оптической связи // Авторское свидетельство SU 1800630 A1. Кл. H 04 B 10/24. Опубл. 07.03.93. Бюл. № 9.

12. Шабанов А. П. Устройство сеансовой связи // Авторское свидетельство SU 1481905 A1. Кл. H 04 B 3/46, 1/74. Опубл. 23.05.89 .Бюл. № 19.

13. Шабанов А. П. Устройство сеансовой связи // Авторское свидетельство SU 1739500 A1. Кл. H 04 B 3/46, 1/74. Опубл. 07.06.92. Бюл. № 21.

14. Шабанов А. П., Ладиков В. П., Данилов Ю. Е. Устройство для переключения каналов связи // Авторское свидетельство SU 1374435 A1. Кл. H 04 B 3/46, 1/74. Опубл. 15.02.88. Бюл. № 6.

15. Шабанов А. П., Ладиков В. П., Булдаков М. В. Устройство приема данных // Авторское свидетельство SU 1478360 A1. кл. H 04 J 3/16. Опубл. 07.05.89. Бюл. № 17.

16. Шабанов А. П., Просалков А. С., Ладиков В. П. Устройство для сопряжения ЦВМ // Авторское свидетельство SU 1494008 A1. Кл. G 06 F 13/00. Опубл. 15.07.89. Бюл. № 26.

17. Шабанов А. П., Бабичев В. Ю. Двухканальное устройство для сопряжения ЭВМ // Авторское свидетельство SU 1735860 A1. Кл. G 06 F 13/00. Опубл. 23.05.92. Бюл. № 19.

18. Шабанов А. П., Булдаков М. В., Ладиков В. П., Поляков А. А. Устройство для передачи данных с переключением каналов связи // Авторское свидетельство SU 1394439 A1. Кл. H 04 B 1/74. Опубл. 07.05.88. Бюл. № 17.

19. Шабанов А. П., Булдаков М. В., Просалков А. С., Жуковская Е. М. Многоканальная цифровая система связи // Авторское свидетельство SU 1406805 A1. Кл. H 04 J 3/17. Опубл. 30.06.88. Бюл. № 24.

20. Шабанов А. П., Булдаков М. В., Жуковская Е. М. Устройство временного уплотнения для многоканальных цифровых систем связи // Авторское свидетельство SU 1338768 A1. Кл. H 04 J 3/17. Опубл. 30.06.88. Бюл. № 24.

21. Шабанов А. П., Ладиков В. П., Булдаков М. В., Просалков А. С. Устройство для установления соединений в многоканальной цифровой системе связи // Авторское свидетельство SU 1483659 A1. Кл. H 04 J 3/16. Опубл. 30.05.89. Бюл. № 20.

22. Шабанов А. П., Родин А. С., Линник И. Д., Ладиков В. П., Иванцовский В. С., Булдаков М. В. Многоканальная цифровая система связи // Авторское свидетельство SU 1453607 A1. Кл. H 04 J 3/24. Опубл. 23.01.89. Бюл. № 3.

23. Шабанов А. П., Родин А. С. Многоканальная цифровая система связи // Авторское свидетельство SU 1790035 A1. Кл. H 04 J 3/24. Опубл. 23.01.93. Бюл. № 3.

24. Шабанов А. П., Родин А. С. Многоканальная цифровая система связи // Авторское свидетельство SU 1800631 A1. Кл. H 04 J 3/24. Опубл. 07.03.93. Бюл. № 9.

References

1. The strategy of national security of the Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation from December 31, 2015, no. 683. *Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii* [Online Resource]. Available at: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201512310038 (accessed 15 November 2014) (in Russian).

2. 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 27 March 2016) (in Russian).

3. Shabanov A. P., Nemanegin V. V., Rodin A. S. *Device for collecting information*. Patent of USSR no. SU 1508242 A1. Publish.: 15.09.1989, bul. no. 34 (in Russian).

4. Shabanov A. P., Beljakov A. G. *Organizatsionnye struktury massovogo obsluzhivaniia* [Organizational structure mass maintenance]. Moscow, Institute of control named Trapeznikova RAS, 2007. 100 p. (in Russian).

5. Shabanov A. P., Arakeljan M. A. About mobile control and accounting systems for corporate computer systems. *Innovatsii na osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologii. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Innovation Based on Information and Communication Technologies. The Materials of the International Scientifically Practical Conference].Moscow, MIEM HSE, 2011, pp. 144-147 (in Russian).

6. Shabanov A. P., Dvorgetskyy U. O. *Device for exchanging information*. Patent Russia, no SU 1821802 A1. Publish. 15.06.93, bul. no. 22 (in Russian).

7. Shabanov A. P., Rodin A. S. *Device scan*. Patent Russia, no SU 1172065 A1. Publish. 07.08.85, bul. no. 29 (in Russian).

8. Shabanov A. P., Rodin A. S. *Device for collecting information*. Patent Russia, no SU 1742834 A1. Publish. 23.06.92, bul. no. 23 (in Russian).

9. Shabanov A. P., Dvorgetskyy U. O. *Adding device information packet signals*. Patent Russia, no SU 1756896 A1. Publish. 23.08.93, bul. no. 31 (in Russian).

10. Shabanov A. P. *Radio communication system.* Patent Russia, no SU 1755381 A1. Publish. 15.08.92, bul. no. 30 (in Russian).

11. Shabanov A. P., Rodin A. S. Lugovoy E. B. *Fiber-optical communication system.* Patent Russia, no SU 1800630 A1. Publish. 07.03.93, bul. no. 9 (in Russian).

12. Shabanov A. P. *Session device connection*. Patent Russia, no SU 1481905 A1. Publish. 23.05.89, bul. no. 19 (in Russian).

13. Shabanov A. P. *Session device connection* Patent Russia, no SU 1739500 A1. Publish. 07.06.92, bul. no. 21 (in Russian).

14. Shabanov A. P., Ladikov V. P., Danilov U. E. *Device for switching communication channels.* Patent Russia, no SU 1374435 A1. Publish. 15.02.88, bul. no. 6 (in Russian).

15. Shabanov A. P., Ladikov V. P., Buldakov M. V. *Data reception device*. Patent Russia, no SU 1478360 A1. Publish. 07.05.89, bul. no. 17 (in Russian).

16. Shabanov A. P., Prosalkov A. S., Ladikov V. P. *Device for coupling DIGITAL COMPUTERS.* Patent Russia, no SU 1494008 A1. Publish. 15.07.89, bul. no. 26 (in Russian).

17. Shabanov A. P., Babichev V. U. *Two-channel device to interface COMPUTERS.* Patent Russia, no SU 1735860 A1. Publish. 23.05.92, bul. no. 19 (in Russian).

18. Shabanov A. P., Buldakov M. V., Ladikov V. P., Poljakov A. A. *Device for data transfer with switching communication channels*. Patent Russia, no SU 1394439 A1. Publish. 07.05.88, bul. no. 17 (in Russian).

19. Shabanov A. P., Buldakov M. V., Prosalkov A. S., Gukovskay E. M. *Multi-channel digital communication system.* Patent Russia, no SU 1406805 A1. Publish. 30.06.88, bul. no. 24 (in Russian).

20. Shabanov A. P., Buldakov M. V., Gukovskay E. M. *Temporary sealing device for multichannel digital communication systems*. Patent Russia, no SU 1338768 A1. Publish. 30.06.88, bul. no. 24 (in Russian).

21. Shabanov A. P., Ladikov V. P., Buldakov M. V., Prosalkov A. S. *Device to establish connections in the multi-channel digital communication system.* Patent Russia, no SU 1483659 A1. Publish. 30.05.89, bul. no. 20 (in Russian).

22. Shabanov A. P., Rodin A. S., Linnik I. D., Ladikov V. P., Ivantsovskyy V. S., Buldakov M. V. *Multi-channel digital communication system.* Patent Russia, no SU 1453607 A1. Publish. 23.01.89, bul. no. 3 (in Russian).

23. Shabanov A. P., Rodin A. S. *Multi-channel digital communication system.* Patent Russia, no SU 1790035 A1. Publish. 23.01.93, bul. no. 3 (in Russian).

24. Shabanov A. P., Rodin A. S. *Multi-channel digital communication system.* Patent Russia, no SU 1800631 A1. Publish. 07.03.93, bul. no. 9 (in Russian).

Статья поступила 20 марта 2016 г.

Информация об авторе

Шабанов Александр Петрович – доктор технических наук. Ведущий научный сотрудник. Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «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 1 – Sharing Devices

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***. *Development 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.* ***Technical result***. *The use of technical solutions, which are developed in the first period, improves qualitative indicators of control systems in timeliness and reliability. The use of technical solutions, which are developed in the second period, helps to ensure the maximum degree of automation based on prior training scenarios for decision-making management entities.* ***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 is published in order to use the ideas that underlie inventions for their implementation based on modern computing tools. Information on inventions developed in the second period is published in order to extend the potential of their introduction into the control systems of organizational systems. This will reduce the time for adoption and execution of decisions on organizational systems management.*

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. Institute of Informatics problem of FRC CSM 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.

УДК 681.3

Комплексный анализ уровня безопасности информации цифровой телефонной станции

Осовецкий Л. Г., Ефимов В. В.

Постановка задачи: *в настоящее время активно развиваются фиксированные и подвижные сети предоставления услуги голосовой связи. Эти сети базируются на основе цифровых автоматических телефонных станций (ЦАТС). При этом обеспечение информационной безопасности ЦАТС является актуальной прикладной задачей.* ***Цель работы*** *– анализ типовой ЦАТС, обоснование характерных угроз и обоснование организационно-технических рекомендаций по повышению уровня информационной безопасности ЦАТС.* ***Используемый метод*** *– системный многофакторный анализ.* ***Результаты:*** *на основе анализа структуры ЦАТС и угроз, характерных ее основным элементам, сформирована описательная модель угроз для типовой ЦАТС. На основе модели угроз сформированы основные уязвимости ЦАСТ, как для системы в целом, так и для отдельных ее элементов. На основе системного анализа уязвимостей ЦАТС предложены рекомендации по проведению организационно-технических мероприятий, направленных на повышение уровня информационной безопасности.* ***Практическая значимость.*** *Предложенные в работе организационно-технические мероприятия могут быть использованы операторами фиксированной и подвижной связи для повышения уровня информационной безопасности своих ЦАТС с учетом специфики используемого ими оборудования.*

Ключевые слова: *АТС, ЦАТС, угрозы безопасности, программное обеспечение.*

Актуальность и постановка задачи

В настоящее время широкое распространение получили цифровые автоматические телефонные станции (ЦАТС). При этом зачастую они являются уязвимыми объектами с точки зрения информационной безопасности. В связи с этим, в статье решается актуальная задача анализа и определения уровня информационной безопасности ЦАТС. Целью и задачами исследования являются:

- анализ информационной безопасности объекта;
- построение модели угроз безопасности информации объекта;
- комплексный анализ уровня информационной безопасности объекта;
- выдача рекомендаций по улучшению технологии эксплуатации объекта и устранению угроз.

Состав и конфигурация основных компонент программного обеспечения ЦАТС

Для последующего анализа угроз ЦАТС из полного перечня ее программных блоков и файлов коммутационной системы исключены модули, не влияющие на безопасность. Ниже приведен перечень программных блоков и файлов, влияющих на безопасность ЦАТС, с описанием выполняемых ими функций.

Сигнальная системная библиотека. Предназначена для выполнения следующих функций:

- установка и сброс сигнальных наблюдений и посылка сообщений на принтер;
- обновление счетчика ошибок;
- инициализация библиотеки и обновление информации файла.

Библиотека обслуживания дисков. Используется программными блоками в обход блока для получения прямого доступа к магнитным носителям.

Загружаемый во время начальной загрузки блок, который содержит параметры, необходимые сервисному блоку (операционная система), типы индексов, буферы памяти различных размеров, таблицу связей программных блоков.

Библиотека системных файлов. Содержит подпрограммы, используемые для создания, чтения и записи в файлы программных модулей, для чтения атрибутов файлов.

Программный блок начального загрузчика и ответственный за начальную загрузку в различных ситуациях перезагрузки системы.

Программный блок принтера. Управляет выводом сообщений на дисплей и принтер, подключённые через специальный интерфейс к модулю их обслуживания.

Блок резервного копирования. С помощью этого блока оператор может копировать файлы с диска на диск, с диска на магнитную ленту, с магнитной ленты на магнитную ленту, и с магнитной ленты на диск.

Библиотечный модуль ядра. Коммутационная система имеет ядро операционной системы, работающее в реальном масштабе времени.

Сервисный блок отладки. Блок предназначен для испытаний системы, отладки и системного контроля.

Программный блок файловой системы. Программный блок предназначен для обработки файлов в коммутационной. Типичный файловый сервис включает в себя создание файла, чтение файла, запись в файл, а также чтение и изменение атрибутов файла. Существует возможность загрузки файла с диска или памяти, обновления файла в дисковом массиве и распределения файла по различным дискам.

Список начальной загрузки. Загружаемый во время начальной загрузки файл, содержащий список модулей, которые загружаются на компьютер.

Файл управления печатью. Файл, который содержит данные управления печати тревожных сообщений, время срабатывания тревоги и время существования активных тревожных сообщений.

Перечень файлов базы данных. Содержит физическое описание файлов в базе данных.

Файл параметров базы данных. Содержит информацию о параметрах баз данных.

Операционный файл защиты. Содержит детальную информацию относительно событий, связанных с защитой.

Файл контроля работы оператора. Используется для регистрации статистики работы оператора и индекса обслуживающего оператора.

Информация может сохраняться с периодичностью 15 минут, полчаса, день, неделя, месяц.

Анализ возможных каналов НСД, разработка модели угроз ЦАТС

Коммутационная система ЦАТС использует следующие каналы связи:

- с центром управления 1-го уровня (ЦУЦС);
- с центром управления 2-го уровня (районный узел);
- с системой биллинга;
- с системой удаленного управления и технического обслуживания фирмы разработчика;
- с локальными терминалами;
- с абонентами.

Помимо использования каналов связи несанкционированные действия в отношении ЦАТС могут быть произведены при физическом доступе к коммутационной системе:

- физический доступ к коммутационной системе;
- несанкционированный доступ к каналу удаленного управления и технического обслуживания фирмы;
- действия операторов терминального оборудования по уровням: локальные терминалы, терминалы 2-го уровня управления, терминалы 1-го уровня управления;
- несанкционированное подключение дополнительного оборудования для использования в качестве терминалов коммутационной системы по уровням: в локальной сети; в локальной сети, подключенной к блоку MSW; в локальной сети подключенной к блоку OMC;
- несанкционированные действия с использованием системы биллинга;
- несанкционированные действия с магнитными накопителями информации по уровням:
  - магнитные носители информации терминалов коммутационной системы;
  - магнитные носители информации системы биллинга,
  - магнитные носители информации блока MSW,
  - магнитные носители информации блока OMC;
- несанкционированный доступ к съемным носителям информации;
- несанкционированное подключение к каналам управления, соединяющим абонентов коммутационную систему с центрами 1-го и 2-го уровня управления;
- несанкционированные действия со стороны абонентов коммутационной системы несанкционированные действия на уровне абонентских линий коммутационной системы.

Рассмотрим более подробно угрозы НСД, ориентированные на уязвимости канала связи с центром управления 1-го уровня. Данный канал связи позволяет получать от станции сигналы системы аварийной сигнализации и осуществлять удаленное управление. На данном уровне (центр управления 1-

го уровня) производится работа администраторов коммутационной системы, обладающих максимальными привилегиями.

Угрозы канала связи с центром управления 1-го уровня:

- при НСД к каналу связи – несанкционированное получение, удаление, изменение (модификация) информации, используемой при функционировании коммутационной системы (ЦУЦС имеет выделенный канал связи с коммутационной системой, при этом в канале связи используются сертифицированные средства криптографической защиты, поэтому вероятность угроз в данном случае определяется качеством реализации средств криптографической защиты);
- при НСД к базе данных – несанкционированное получение и модификация информации, хранимой в базе данных;
- при НСД к терминальному оборудованию – несанкционированное получение (в том числе копирование на отчуждаемый носитель) информации от коммутационной системы, получение идентификационных и аутентификационных данных пользователей (администратора, диспетчера, оператора) различными способами, выведение из строя терминального оборудования, несанкционированное управление коммутационной системой, несанкционированное создание новых учетных записей и (или) несанкционированное присвоение полномочий.

Рассмотрим более подробно угрозы НСД ориентированные на уязвимости канала связи с центром управления 2-го уровня.

По способу соединения и управляющему воздействию этот канал аналогичен каналу связи с центром управления 1-го уровня. Он позволяет осуществлять удаленное управление коммутационной системой, прием и передачу служебной информации. Оконечное оборудование подключено к коммутационной системе. В качестве оконечного оборудования могут быть использованы терминалы (ПК), подключенные по локальной сети, устройства вывода текущей информации, получаемой по линиям аварийной сигнализации (принтер аварийной сигнализации, дисплей аварийной сигнализации).

Персонал центра управления 2-го уровня осуществляет удаленное управление коммутационной системой (получение и обработка служебной информации, настройка конфигурации, отслеживание сообщений аварийной сигнализации) и обладает более низким уровнем полномочий, чем персонал 1-го уровня управления.

Угрозы канала связи с центром управления 2-го уровня:

- несанкционированное получение (в том числе копирование на отчуждаемый носитель) информации от коммутационной системы;
- получение идентификационных и аутентификационных данных пользователей (диспетчера, оператора);
- выведение из строя терминального оборудования;
- несанкционированное управление коммутационной системой;

- несанкционированное создание новых учетных записей;
- несанкционированное чтение, создание, изменение, удаление информации об абонентах;
- несанкционированное воздействие на систему биллинга с целью вывода её из строя (для сокрытия информации о попытках НСД);
- изменение первичной информации, формирующейся в коммутационной системе и передаваемой для дальнейшей обработки в биллинговую систему (снижение тарифа, занижение времени разговора, замена типа услуги и пр.);
- несанкционированное получение информации о трафике абонентов;
- получение исходной информации для последующей организации НСД (в частности анализ информации, поступающей на аварийный дисплей и выводящейся на принтер аварийной сигнализации);
- внесение изменений в настройки системы аварийной сигнализации для блокирования вывода (частичного блокирования вывода) аварийной информации с целью осуществления НСД или уничтожения регистрационной информации о попытках НСД;
- контроль и анализ изменений, производимых персоналом 1-го уровня управления с целью осуществления НСД, в том числе:
  - поиск и использование незаблокированных старых учетных записей;
  - поиск и использование учетных записей, предназначенных для тестирования;
  - поиск и использование новых учетных записей, находящихся в процессе создания;
- анализ компонент новых версий программного обеспечения с целью обнаружения уязвимых мест в системе защиты;
- запуск и выполнение программ, предназначенных для контроля действий других пользователей коммутационной системы;
- запуск потенциально опасных команд или программ с целью несанкционированного изменения привилегий пользователя, обхода системы защиты или обращения напрямую к блокам и устройствам коммутационной системы;
- вывод из строя оборудования коммутационной системы или системы аварийной сигнализации;
- установка и запуск программ, предназначенных для:
  - взлома или перехвата паролей, используемых персоналом,
  - изменение системного времени терминала с целью досрочного завершения пользователем работы с коммутационной системой,
  - перехвата информации, получаемой пользователем и последующего несанкционированного её копирования, в том числе на отчуждаемые носители информации;
- чтение остаточной информации из оперативной памяти или магнитных носителей;

– поиск паролей пользователей коммутационной системы, хранящихся в явном виде (на различных носителях информации, в том числе на бумажных и магнитных носителях информации).

Рассмотрим более подробно угрозы НСД ориентированные на уязвимости канала связи с системой биллинга.

Коммутационная система связана, с локальным оборудованием системы биллинга (терминал, ПК) и далее, через локальное оборудование системы биллинга, по каналу передачи информации с удаленной системой биллинга. Удаленная система биллинга представляет собой сервер (группу серверов) с установленной базой данных и локальной (возможно подключение по модему или через каналы передачи данных общего пользования) вычислительной сетью.

Для передачи данных между коммутационной системой и системой биллинга используется специальный протокол. В дальнейшем под системой биллинга понимается канал удаленного получения и обработки информации, все угрозы, действующие с удаленных терминалов системы биллинга, приравниваются к угрозам локального терминала системы биллинга.

Угрозы канала связи с системой биллинга:

– несанкционированное изменение, создание и удаление информации, несанкционированное повышение прав учетных записей, предназначенных для системы биллинга;
– перехват информации с использованием оборудования, подключаемого к каналу связи между коммутационной системой и системой биллинга.

Рассмотрим угрозы НСД ориентированные на уязвимости канала связи с удаленной системой управления и технического обслуживания. Канал не является защищенным выделенным каналом. Данный канал имеет физическую связь только с центром управления 1-го уровня и не имеет непосредственной физической связи с коммутационной системой, однако это не исключает перечисленные ниже угрозы.

Угрозы канала связи с удаленной системой управления и технического обслуживания:

– внедрение программных закладок, а также активизация программных закладок с целью реализации любых управляющих воздействий на коммутационную систему;
– удаленный вывод из строя, путем воздействия на управляющее оборудование ЦУЦС;
– несанкционированное получение информации через промежуточный носитель (т.е. первичным местом сбора информации является коммутационное оборудование ЦУЦС).

Рассмотрим угрозы НСД ориентированные на уязвимости канала связи с локальными терминалами.

Связь коммутационной системы может осуществляться с персональным компьютером с установленным программным обеспечением и выполняющим функции терминала.

Угрозы для канала связи с локальными терминалами:

- осуществление попыток соединения с коммутационной системой с целью подбора пароля;
- подключение к каналу передачи информации между коммутационной системой и терминалом;
- выполнение пользователем, подключившимся с терминала действий, направленных на нарушение нормального режима функционирования с коммутационной системы или с целью модификации первичной информации, поступающей в систему биллинга;
- несанкционированное получение информации (в том числе считывание информации с экрана монитора терминала);
- несанкционированное повышение уровня полномочий пользователя;
- подключение вместо штатного терминала другого устройства, выполняющего функции терминала (например, переносного компьютера) с установленным программным обеспечением, предназначенным для взлома системы защиты с коммутационной системы;

Угрозы для канала связи с локальными терминалами в случае использования персонального компьютера:

- несанкционированное получение информации, несанкционированное удаление, изменение, запись информации;
- повышение полномочий пользователя коммутационной системы;
- несанкционированное копирование информации (или вывод информации), в том числе на отчуждаемый носитель;
- установка и запуск программ, способствующих осуществлению НСД (взлом паролей, перехват паролей, перехват информации, идущей от пользователей коммутационной системы, восстановление остаточной информации из памяти и магнитных носителей информации, уничтожение информации хранимой на терминале, и пр.);
- запись на магнитные носители терминала с внешних носителей информации файлов, содержащих вирусы, запуск с внешних носителей информации инфицированных вирусами файлов и программ;
- подключение терминала помимо коммутационной системы к другим каналам связи (удаленные соединения с использованием модема и других устройств, соединение в локальную или распределенную сеть с другими персональными компьютерами (рабочими станциями, ноутбуками и пр.), не являющимися терминалами станции);
- соединение с использованием COM, LPT, USB разъемов;
- подключение дополнительных устройств ввода-вывода информации (в частности, дополнительных мониторов);

– соединение по инфракрасному каналу передачи данных;
– установка в терминальное оборудование дополнительных устройств (плат, блоков, схем) способствующих осуществлению НСД;
– хищение носителей информации (в том числе магнитных носителей терминального оборудования);
– некорректная работа оператора терминала (пользователя коммутационной системы), в том числе некорректное завершение сеанса связи, при котором злоумышленник может проникнуть в систему, используя учетную запись оператора;
– сообщение (разглашение) служебной информации лицам, по долгу службы не связанным с обработкой данной информации (в том числе раскрытие и(или) передача пароля (идентификатора учетной записи) другим лицам, сообщение сведений касающихся абонентов, абонентских линий связи, трафике абонентов, сведений о текущих настройках системы безопасности и системы аварийной сигнализации);

Угрозами для каналов связи с абонентами являются:

– осуществление удаленного управления коммутационной системой по цифровым каналам;
– незаконное подключение к линии связи, соединяющей абонента с коммутационной системой с последующей организацией перехвата абонентского трафика;
– анализ сигналов, выдаваемых коммутационной системой с целью незаконного подключения или несанкционированного использования служебных сервисов (встроенных разработчиком станции функций);
– использование абонентских линий связи с предварительно настроенным каналом НСД (предварительная настройка канала НСД выполняется либо в коммутационной системе, либо с помощью каналов удаленного управления);
– нарушение нормального функционирования абонентской линии связи и абонентского комплекта для изменения стоимости услуг, объема услуг (времени разговора) или нарушения работы системы тарификации;
– незаконное подключение к абонентской линии коммутационной системы с целью пользования абонентскими услугами без их оплаты.

Коммутационная система ЦАТС позволяет производить как локальное, так и удаленное управление с помощью команд специального языка. В связи с этим для нее характерны следующие типы угроз:

1) угрозы, действующие со стороны локальных терминалов и системы биллинга (угрозы оператора, перехват информации, несанкционированное управление, снятие информации и пр.);
2) угрозы, действующие на линии аварийной сигнализации (выведение из строя, подмена и выдача ложной информации, блокирование работы, косвенное управление блоками коммутационной системы);

3) угрозы с удаленных терминалов управления и угрозы организации каналов НСД (угрозы удаленных операторов управления, угрозы распределенного хранения информации, угрозы подключения к каналам связи, угрозы установки (подключения) дополнительного оборудования с целью несанкционированного доступа и пр.);
4) угрозы, действующие со стороны локальных терминалов (угрозы действий оператора, угрозы подключения дополнительных устройств с целью осуществления НСД и организации каналов НСД);
5) угрозы подключения терминалов и перехвата (управления) информации, передаваемой на магнитные носители;
6) угрозы подключения дополнительных устройств, блоков с целью перехвата информации (управления);
7) угрозы чтения остаточной информации и областей памяти, загрузка в память не декларированного кода;
8) угрозы подключения локальных терминалов и устройств вывода информации (принтеры), угрозы загрузки в процессор и выполнения недекларированного кода;
9) угрозы несанкционированного снятия информации, доступа к файлам, хищения и вывода из строя носителей информации;
10) угрозы хищения носителей, несанкционированного копирования на носители информации, угрозы внедрения в коммутационную систему недекларированного кода;
11) загрузка и выполнение недекларированного кода, перехват информации;
12) несанкционированное получение доступа к абонентским линиям связи, организация каналов прослушивания и перехвата абонентской информации;
13) угрозы нарушения работы, вывода из строя коммутационной системы, изменение тактовых импульсов с целью сокрытия информации о попытках НСД;
14) несанкционированное подключение с целью перехвата информации и организации каналов НСД;
15) организация каналов НСД, использование встроенных коммутационную систему функций для организации НСД;

Угрозы, действующие на блоки питания коммутационной системы (вывод из строя) в статье не рассматриваются.

Результаты анализа угроз информационной безопасности ЦАТС

Основными факторами, влияющими на уровень безопасности информации коммутационной системы ЦАТС, являются:

– наличие каналов удалённого управления 1-го и 2-го уровня, при этом учтен факт передачи информации по выделенным каналам с использованием сертифицированных криптографических средств защиты;

– наличие канала удалённого управления и технического обслуживания фирмы разработчика, имеющего подключение к ЦУЦС;
– наличие внешней системы биллинга;
– возможность подключения дополнительных удаленных терминалов;
– наличие открытых каналов связи;
– наличие распределенных хранилищ информации.

Наличие каналов удалённого управления 1-го и 2-го уровня позволяет реализовывать такие виды угроз, как:

– перехват, блокировка и подмена передаваемых данных; чтение, удаление и модификация циркулирующей информации;
– получения НСД к функциям и модулям коммутационной системы.

Оконечным оборудованием при реализации удаленного управления являются терминалы (ПК) операторов 1-го и 2-го уровней, подключенные соответственно к блокам OMC и MSW. С помощью средств локального терминала оператора возможна реализация таких видов угроз, как:

– несанкционированная модификация данных, хранимых на магнитных носителях,
– перехват информации, циркулирующей в коммутационной системе,
– перехват паролей пользователей,
– сокрытие факта несанкционированного доступа,
– блокирование вывода сигнальных сообщений операторам узлов OMC и MSW.

Фактором, способствующим возможности реализации этих угроз, является отсутствие технической и эксплуатационной документации по регламенту эксплуатации терминала оператора.

Наличие системы биллинга, управляемой по выделенному каналу с использованием протокола FTAM описывающего взаимодействие коммутационной системы с системой биллинга, снижает общий уровень безопасности, поскольку канал связи может быть использован для осуществления НСД. Существует возможность несанкционированного получения и копирования информации, в том числе на отчуждаемые носители информации, несанкционированного изменения как первичной (получаемой от коммутационной системы), так и непосредственно обрабатываемой в системе биллинга информации, связанной с тарифами и стоимостью абонентских услуг (время разговора, категория вызова, и пр.).

Предложения по построению комплексной системы безопасности информации в ЦАТС

Рекомендации, направленные на повышение уровня безопасности коммутационной системы разделены на группы:

1) организационно-технические мероприятия;
2) перечень действий, запрещенных лицам, имеющим физический доступ к оборудованию коммутационной системы.

Организационно-технические мероприятия. Основным каналом внешних угроз НСД является канал управления между коммутационной системы и узлами управления 1-го и 2-го уровня. Снижение вероятности возникновения угроз, действующих на центры управления 1-го и 2-го уровня, повышает общий уровень безопасности коммутационной системы. Необходимо отметить, что канал связи между коммутационной системой и узлами управления 1-го и 2-го уровня обычно имеет сертифицированную криптографическую защиту, что способствует блокированию несанкционированного подключения и перехвата информации; передача информации между коммутационной системой и узлами управления 1-го и 2-го уровня осуществляется по защищенному каналу связи. Кроме того, на объекте действует система ограничения физического доступа персонала в помещение с оборудованием коммутационной системы.

При использовании в качестве терминалов коммутационной системы персональных компьютеров и рабочих станций для предотвращения возможности несанкционированного изменения программной среды с использованием внешних устройств необходимо:

- демонтировать или опечатать устройства, позволяющие работать со сменными носителями информации (в качестве сменных носителей могут выступать: дискеты, CD, DVD - диски, кассеты (диски) стримеров, магнитные карты, переносные винчестеры и пр.);
- демонтировать или опечатать разъемы (блоки) подключения внешних устройств, в качестве которых могут выступать COM, LPT, USB, ИК порты, дополнительные видеокарты, дополнительные сетевые карты и пр.);
- запретить выполнение на персональных компьютерах и рабочих станциях, используемых в качестве терминалов коммутационной системы работ, не входящих в список регламентных.

Перечень действий, запрещенных лицам, имеющим физический доступ к оборудованию коммутационной системы.

Необходимо опечатать все терминальные устройства с целью исключения возможности установки в них дополнительных компонентов (устройств, печатных плат, и пр.)

Необходимо блокировать возможность подключения дополнительных устройств, не входящих в список штатного оборудования, для чего все коммутационные линии, соединяющие терминалы с коммутационной системой , блоками MSW и OMC, должны быть физически недоступны, должны отсутствовать дополнительные точки подключения на линиях связи от устройства коммутации до терминалов.

Поскольку для хранения и обработки информации коммутационной системой используется система распределенного хранения информации, необходимо обеспечить защиту информации на всех местах её обработки и хранения. В частности, НСД к информации может осуществляться в системе биллинга, поэтому необходимо ограничить доступ операторов системы биллинга к информации, хранимой в базе данных системы биллинга,

использовать вычислительную технику и программное обеспечение, соответствующее требованиям по защите информации.

Необходимо исключить удаленный доступ к информации по модемным соединениям и с использованием переносной вычислительной техники (ноутбуков), для этого все возможные точки подключения такой техники должны быть опечатаны.

Необходимо в документальной форме установить регламент работы и права доступа операторов коммутационной системы. Необходимо вести регистрацию и учет действий операторов коммутационной системы с помощью журналов регистрации и учета, в которых отражаются такие изменения, как:

- регистрация и учет новых операторов,
- создание и удаление учетных записей операторов,
- повышение и ограничение прав операторов,
- изменение конфигурации и настроек программно-аппаратного обеспечения коммутационной системы, терминалов операторов, локальных сетей терминалов, узлов управления, баз данных и хранилищ информации.

Вывод

В статье проведен анализ угроз информационной безопасности типовой ЦАТС. На основе проведенного анализа сформулированы ппредложения по построению комплексной системы безопасности информации в ЦАТС. Данные предложения носят прикладной характер и могут быть использованы операторами фиксированной и подвижной связи для повышения уровня информационной безопасности своих объектов.

Литература

1. РД АС – Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации. Руководящий документ. Утверждено решением председателя Государственной технической комиссии при Президенте Российской Федерации от 30 марта 1992 г. – М.: ФСТЭК России, 1992.

2. ГОСТ Р 50739-95. Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Общие технические требования/ – М.: Издательство стандартов, 1995.

3. РД МЭ – Средства вычислительной техники. Межсетевые экраны. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации. Руководящий документ. Утверждено решением председателя Государственной технической комиссии при Президенте Российской Федерации от 25 июля 1997 г. – М.: ФСТЭК России, 1997.

4. Требования к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также

объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды. Утвержден приказом ФСТЭК России № 31 от 14 марта 2014 г. – М.: ФСТЭК России, 2014.

References

1. *Avtomatizirovannye sistemy. Zashchita ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii. Klassifikatsiia avtomatizirovannykh sistem i trebovaniia po zashchite informatsii. Rukovodiashchii dokument* [Automated systems. Protection against unauthorized access to information. Automated systems classification and requirements for protection of information. Guidance document]. Approved by the decision of the Chairman of the State technical Commission under the President of the Russian Federation dated 30 March 1992. Moscow, FSTEC of Russian, 1992.

2. Standart 50739-95. *Sredstva vychislitel'noi tekhniki. Zashchita ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii. Obshchie tekhnicheskie trebovaniia* [Computer equipment. Protection against unauthorized access to information. General technical requirements]. Moscow, Izdatel'stvo Standartov Publ., 1995.

3. Sredstva vychislitel'noi tekhniki. Mezhsetevye ekrany. Zashchita ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii. Pokazateli zashchishchennosti ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii. Rukovodiashchii dokument [computing facilities. Firewalls. Protection against unauthorized access to information. Indicators of protection against unauthorized access to information. Guidance document] Approved by the decision of the Chairman of the State technical Commission under the President of the Russian Federation of 25 July 1997. Moscow, State Technical Commission of Russia, 1997.

4. *Trebovaniia k obespecheniiu zashchity informatsii v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniia proizvodstvennymi i tekhnologicheskimi protsessami na kriticheski vazhnykh ob"ektakh, potentsial'no opasnykh ob"ektakh, a takzhe ob"ektakh, predstavliaiushchikh povyshennuiu opasnost' dlia zhizni i zdorov'ia liudei i dlia okruzhaiushchei prirodnoi sredy* [Requirements for ensuring information protection in automated control systems of production and technological processes at critically important objects, potentially hazardous objects and objects posing a danger to life and health of people and the environment]. Approved by the order of the FSTEC of Russia No. 31 of March 14, 2014. Moscow, FSTEC of Russian, 2014.

Информация об авторах

Осовецкий Леонид Георгиевич – доктор технических наук, профессор, лауреат государственной премии совета министров СССР. Советник генерального директора. Ленинградское отделение Центрального научно-исследовательского института связи (ЛО ЦНИИС). Область научных интересов: информационная безопасность, безопасность программных средств. E–mail: leoned.osovetsky@gmail.com

Ефимов Вячеслав Викторович – кандидат технических наук, доцент. Директор института. Ленинградское отделение Центрального научно-исследовательского института связи (ЛО ЦНИИС). Область научных

интересов: инновационные решения и перспективы развития транспортных сетей связи. E–mail: vve@loniis.ru

Адрес: Россия, 196128, Санкт-Петербург, ул. Варшавская, 11.

Comprehensive Analysis of the Level of Information Security for the Private Branch Exchange

L. G. Osovetskiy, V. V. Efimov

Purpose. *Network of voice communications are actively developing at the present time. These networks are based on the private branch exchange (PBX). The actual applied task is providing of information security of PBX.* ***The purpose*** *of this paper is the justification of organizational and technical recommendations to improve information security level of PBX. This justification is done by analyzing the model of PBX and the characteristics of its elements. The method used in paper is the multivariate systematic analysis.* ***Results.*** *The descriptive model of threats was formulated for the typical PBX on the basis of the analysis of the structure of PBX and threats which typical for its elements. Main vulnerabilities of PBX is formed as to the system as a whole and for its separate elements based on a threat model. Recommendations about carrying out of organizational-technical actions directed on increase of level of information security is offered on the basis of systematic analysis of vulnerabilities of the PBX.* ***Practical significance.*** *Organizational and technical measures which are proposed in the paper can be used by operators of fixed and mobile communications to improve information security level of the PBX which used by them.*

Keywords: *PBX, security threats, software PBX*.

Information about Authors

Leonid Georgievich Osovetskiy – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor, Advisor of CEO. Leningrad Branch of Central Science Research Telecommunication Institute (LO ZNIIS). Field of research: information security, security software. E–mail: leoned.osovetsky@gmail.com

Vyacheslav Viktorovich Efimov – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. CEO of Institute. Leningrad Branch of Central Science Research Telecommunication Institute (LO ZNIIS). Field of research: innovations in telecommunications. E–mail: vve@loniis.ru

Address: Russia, 196128, Saint Petersburg, Varshavskaya str., 11.

УДК 004.056

Методология формирования системы координат, измерительных шкал и норм информационной безопасности хозяйствующих субъектов

Жидко Е. А.

Постановка задачи: *в доктрине информационной безопасности РФ в качестве одного из главных недостатков накопленной базы знаний и ресурса по проблеме отмечается: «противоречивость и неразвитость правового регулирования общественных отношений в информационной сфере, что приводит к серьезным негативным последствиям» для личности, общества, государства и самого объекта (хозяйствующего субъекта).* ***Целью работы*** *является возможность создания методологии формирования системы измерительных шкал и научно обоснованных норм информационной безопасности хозяйствующего субъекта. Методология разрабатывается в интересах обеспечения требований доктрины информационной безопасности Российской Федерации.* ***Используемые методы:*** *методологию исследований по проблеме образует логико-вероятностно-информационный подход к оценке защищенности хозяйствующего субъекта от угроз нарушения его информационной безопасности теоретическими методами с позиций ER-концепции на основе комплексирования синтаксического, семантического и математического моделирования, а также с учетом взаимосвязанного развития внешней и внутренней среды субъекта теоретическими, эвентологическими и эмпирическими методами.* ***Новизна:*** *формирование системы координат, измерительных шкал и научно-обоснованных норм информационной безопасности хозяйствующего субъекта от угроз нарушения его информационной безопасности.* ***Результат.*** *Предложен методологический подход к формированию системы измерительных шкал и норм информационной безопасности хозяйствующего субъекта.* ***Практическая значимость:*** *методология формирования системы измерительных шкал и норм информационной безопасности хозяйствующего субъекта позволяет достоверно разрешать технические проблемы его защиты от угроз нарушения информационной безопасности и обеспечить их устойчивое развитие в реально складывающейся и прогнозируемой обстановке.*

Ключевые слова: *безопасное и устойчивое развитие, конкурентоспособность, информационная безопасность, методология и методы моделирования*

Актуальность

Проблема состоит в том, что необходимо обеспечить достижение интегральной цели защиты приоритетных объектов, заданных доктриной [1], то есть безопасность и устойчивость их развития, в *контексте* противоборства различных стран на политической арене и конкурентной борьбы в социально-эколого-экономическом *аспекте* в *условиях* информационной войны между ними [2-6]. Для разрешения такой проблемы необходимо разработать научно-методическое обеспечение (НМО) программы исследований ИБ приоритетных объектов защиты, заданных доктриной. Программа должна базироваться на едином подходе к исследованиям, т.е. на разработке основных положений парадигмы ИБ (концепции, принципов, методологии и научно-методическом обеспечении) и едином методологическом подходе к формированию шкалы оценки защищенности объекта от угроз нарушения ИБ [7-15]. НМО программы должно также способствовать созданию единой системы подготовки кадров по проблеме [6, 16, 17].

В число приоритетных объектов защиты (далее хозяйствующих субъектов – ХС), согласно Доктрине [1], входят *системы управления*

экологически опасными и экономически важными производствами. Экономически важными производствами (объектами) целесообразно считать те из них, которые способны обеспечить: потребности личности, общества, государства (ЛОГ) в необходимом и достаточном уровне, качестве и безопасности жизни; их устойчивое антикризисное развитие в новых условиях XXI века. *Экологически опасными* являются те экономически важные производства, которые оказывают на окружающую среду антропогенное воздействие, уровень которого превышает нормы экологической безопасности, создает угрозы качеству и безопасности жизни человека и природы.

Постановка задачи

В интересах универсализации программы исследований ИБ разрабатывается НМО методологии таких исследований. Оно основано на комплексировании основных положений теории прогнозирования, приятия решений и оптимального управления. К ним относятся:

- *ER-концепции*, то есть *анализа*: сущности исследуемых процессов и явлений, отношений между ними, влияющей на них атрибутики;
- *логико-вероятностно-информационного подхода* к реализации ER-концепции на основе комплексирования синтаксического, семантического и математического моделирования взаимосвязанного развития внешней и внутренней среды ХС теоретическими, эвентологическими и эмпирическими методами;
- *ветвления* интегральной цели ХС на частные, при заданных аспектах и условиях; *фильтрации* ветвей, близких к оптимальным по ситуации и результатам; *управленческого консультирования* по *адекватной реакции* на угрозы нарушения ИБ ХС в статике и динамике условий XXI века.

Предварительные исследования показали, что ИБ ХС является аргументом его безопасного и устойчивого развития (БУР) как функции конкурентоспособности (КСП) ХС на внешних и внутренних рынках. С целью обеспечения БУР(КСП) необходимо своевременное и качественное информационное обеспечение (ИО) сведениями об истинных намерениях и действиях договаривающихся сторон в заданном контексте, аспектах и условиях. В условиях информационной войны одним из главных аргументов ИО становится защищенность ХС от угроз нарушения его ИБ. Одной из основных причин развязывания информационных войн является наличие противоречий в интересах договаривающихся сторон и приоритет собственных интересов у каждой из них. Это неизбежно приводит к возникновению информационного конфликта (ИК) между сторонами, возможность разрешения которого до, в процессе и после переговоров существенно влияет на требования к эффективности методов и систем обеспечения ИБ ХС, критериям их оптимизации по ситуации и результатам, адаптации к меняющимся условиям XXI века. Поэтому ИБ ХС следует рассматривать как функцию возможностей разрешения ИК между договаривающимися сторонами, то есть она может быть формализована в виде: ИО(ИБ(ИК)).

В результате приходим к формализации модели возможных исходов взаимосвязанного развития внешней и внутренней среды ХС в виде скобочной конструкции:

БУР(КСП(ИО(ИБ(ИК)))) ХС.

В этом случае программа исследований ИБ ХС на такой модели должна носить как минимум трехуровневый характер [2], в том числе:

- на первом уровне – моделирование отношений вида БУР(КСП) ХС в заданном контексте, аспектах и условиях с целью адекватной реакции на угрозы нарушения устойчивости развития ХС;
- на втором уровне – моделирование отношений вида КСП(ИО) в том же контексте, аспектах и условиях с целью адекватной реакции на угрозы нарушения конкурентоспособности ХС и его продукции на внешних и внутренних рынках;
- на третьем уровне – моделирование влияния человеческого, природного и других факторов на оценки ИО(ИБ(ИК)) на всех рассматриваемых уровнях с целью информационной и интеллектуальной поддержки управления устойчивостью развития и конкурентоспособностью ХС в условиях информационной войны за счет введения в состав объекта системы обеспечения его информационной безопасности (СИБ).

Согласно [2, 3, 12], исследования на *каждом* таком уровне целесообразно обеспечить на основе введения *шестимерной системы координат оценки* состояний ХС требуемого целевого и функционального назначения, в том числе:

- на первом уровне – три вида координат, устанавливающих *имя состояния* БУР ХС как функции устойчивости развития социальной, экологической и экономической систем объекта [18-20]; а также два вида координат, устанавливающих влияние на состояние устойчивости внешних и внутренних политик, проводимых договаривающимися сторонами, и ограничений на их выбор, заданных действующим международным и национальным правом;
- аналогично на втором уровне – три вида координат, устанавливающих *имя состояния КСП(ИО) ХС, его продукции* на внешних и внутренних рынках (структура пространства стратегических позиций ХС [21], его облик и траектория развития); два вида координат, отражающих влияние на состояние конкурентоспособности таких факторов, как наличие у ХС политики ИБ, регулирующей ее реализацию системы документационного обеспечения управления циклами информационной и интеллектуальной поддержки защищенности ХС от угроз нарушения его ИБ [3, 6];
- аналогично на третьем уровне – три вида координат, устанавливающих *имя состояние ИО*(*ИБ*(*ИК*)), как функции [3, 6] осведомленности, интеллектуального потенциала и, мотивации лиц, принимающих решения по реакции на угрозы нарушения ИБ ХС; два вида координат, устанавливающих влияние на адекватность решений

этих лиц вызовов им извне и изнутри, а также проводимой на объекте кадровой политики. В качестве интегрального эффекта рассматриваются промахи и ошибки названных лиц в оценке степени опасности угроз нарушения ИБ(ИК), адекватности их реакции на угрозы.

Методология формирования системы измерительных шкал и норм информационной безопасности хозяйствующего субъекта

Главная задача исследований – разработка методологии формирования системы координат, измерительных шкал и норм ИБ ХС как основы для создания единого подхода к программе исследований его ИБ [2, 3, 10, 11, 12]. Исходя из приведенной выше постановки проблемы, разработка методологии ее решения должна обеспечить:

- распознавание ситуации, которая формируется во внешней и внутренней среде ХС в реально складывающейся и прогнозируемой обстановке;
- предвидение возможных исходов взаимосвязанного развития внешней и внутренней среды ХС, их приемлемости для ЛОГ и самого ХС;
- адекватную реакцию на угрозы нарушения ИБ ХС, которые влекут за собой критические и неприемлемые последствия.

С целью распознавания реально складывающейся обстановки во внешней и внутренней среде ХС, а также прогноза тенденций ее развития (то есть для распознавания ситуации), целесообразно воспользоваться универсальной математической моделью лингвистической переменной [22]. В нашем случае такая переменная приобретает вид: «*имена возможных исходов дуэли между сторонами А и В – количественные и качественные характеристики аргументов имен состояний ХС*», адекватные принятой трехуровневой конструкции синтаксической модели БУР(КСП(ИО(ИБ(ИК)))) ХС, его СИБ. Введение такой лингвистической переменной дает возможность разработать синтаксические, адекватные им семантические и математические модели защищенности ХС как теоретическими, так и эвентологическими методами с учетом влияния человеческого, природного и других фактов на возможные исходы дуэли в реально скалывающейся и прогнозируемой обстановке.

На современном этапе для оперирования с лингвистической переменной теоретическими и эвентологическими методами применяется [23-25] универсальный прием введения начала отсчета возможных исходов. С этой целью в теории прогнозирования и принятия решений используется нормальный закон распределения плотности вероятности исходов с центральной симметрией в статике и аналогичный закон распределения вероятности исходов в динамике. Такой же прием используется в теории информации для введения начала отсчета вероятности своевременного получения необходимой и достаточной качественной меры получаемой информации. В эвентологии, используя тот же прием, оперируют с теоремами о распределении функции принадлежности возможных исходов к функции их полезности с точки зрения достижения целей ХС [23].

Возможные исходы дуэли представлены в таблице 1 в виде градаций возможных состояний устойчивости развития ХС, его СИБ [2, 13].

Таблица 1 – Градации имен состояний ХС

Градации имен состояний ХС, его СИБ в вопросах:				
внешней политики	социума	экологии	экономики	технологий
взаимовыгодное сотрудничество	процветание по уровню жизни	гармонизация отношений человека и природы	монополия	абсолютное превосходство в развитии
мирное сосуществование	стабильность общества	антропогенное воздействие на природу	лидерство	лидерство в развитии науки и технологий
нейтралитет	неопределен-ность	неопределен-ность	неопределен-ность	неопределен-ность
холодные войны	социальная напряженность	превышение норм экологической безопасности	предкризисное состояние	отставание в КСП развития технологий
вооруженные конфликты	социальный взрыв	природные катаклизмы	банкротство, кризис, крах	неразвитость

Примечание: Таблица составлена на основе систематизации имен возможных состояний исследуемого ХС в рассматриваемых предметных областях (PEST и SEET анализ), которые сложились в теории и практике таких исследований. PEST – политика, экономика, социум, технологии; SEET – социум, экология, экономика, технологии.

Они установлены в результате введения в качестве начала отсчета таких градаций нормального закона распределения плотности вероятности достижения цели защиты с центральной симметрией, как показано на рис. 1.[24]

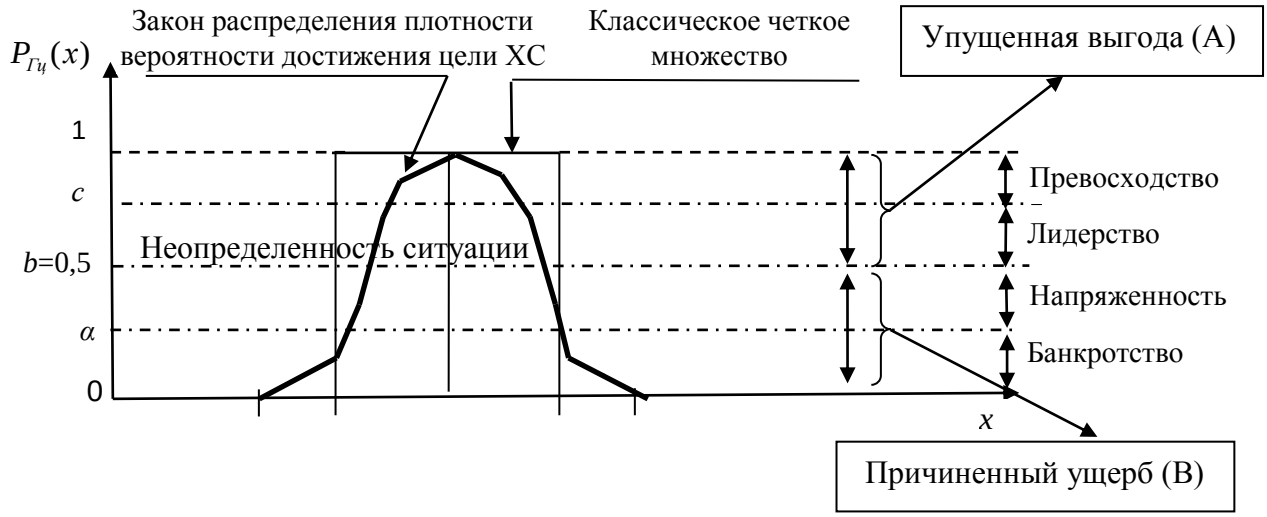


Рис. 1. Нормальный закон распределения плотности вероятности возможных исходов дуэли с центральной симметрией (статика)

Наличие центральной симметрии в принятом нормальном законе делит всю область определения вероятности исходов на *две подобласти: упущенная выгода* или *причиненный ущерб* в зависимости от промахов и ошибок лиц, принимающих решения по реакции на угрозы нарушения ИБ ХС [2].

Дальнейшая градация подобластей возможна на основе определения координат особых точек в принятом законе. Ими являются: нижний и верхний пределы значений вероятности и функции принадлежности (0 и 1); точка перегиба, 0,5, которая разделяет названные подобласти; координаты точек выпуклости (точка *c*) на уровне $(0{,}75 \pm 0{,}05)$ и вогнутости (точка *a*) на уровне $(0{,}25 \pm 0{,}95)$, которые образуют дополнительные градации в названных подобластях. В результате формируются *градации возможных исходов дуэли* на всех рассматриваемых уровнях скобочной конструкции модели устойчивости развития ХС, что создает основу для нормирования уровней защищенности.

С учетом выше сказанного на рис. 2 проиллюстрированы принципы формирования системы координат для оценки КСП (ИО) (первый уровень).

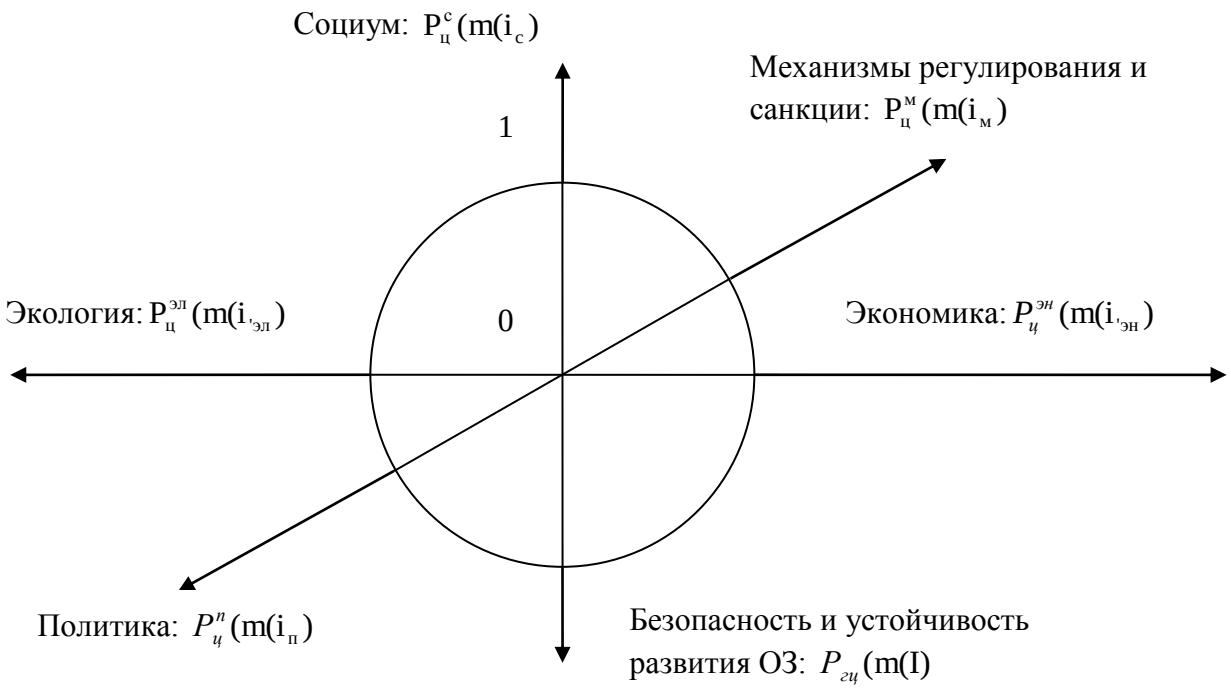


Рис. 2. Шестимерная система координат для оценки КСП (ИО), где: $P_{чц}(m(I))$ – вероятности достижения цели как функции меры качества информационного обеспечения возможности достижения целей в рассматриваемой предметной области

На рис. 3 проиллюстрирован пример формирования измерительной шкалы для оценки защищенности ХС от угроз нарушения его ИБ с учетом норм защиты в экологической сфере, влияния человеческого и природного факторов на возможные исходы дуэли в этой сфере [2, 6, 16]. На данном рисунке обозначения имеют следующий смысл: зона *A* – СИБ в составе ХС либо отсутствует, либо не эффективна; *B* – зона безопасного и устойчивого развития

ХС, его СИБ в экологической сфере, которая формируется в процессе состязательности с конкурентами на основе информационной и интеллектуальной поддержки стратегического паритета с ними по проблеме ИБ в режиме динамического равновесия («стабильность – антропогенное воздействие человека на природу»), согласно градациям состояний ХС, приведенных в табл. 1.

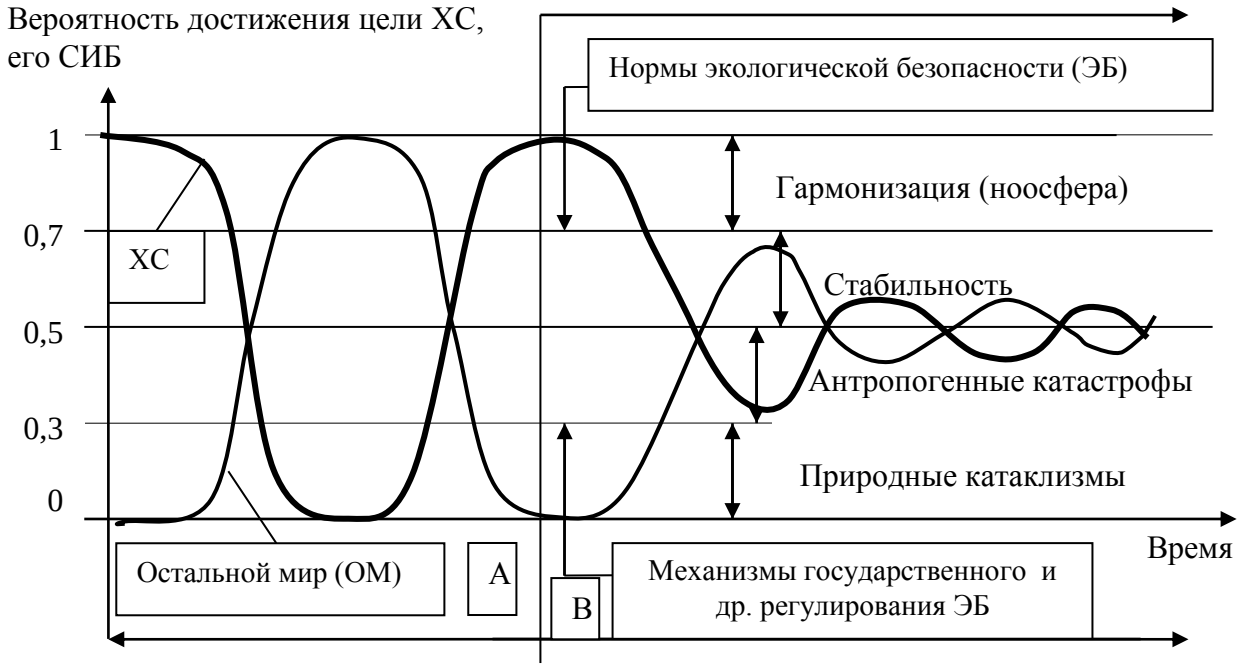


Рис. 3. Измерительная шкала оценки состояний экологической безопасности (ЭБ) ХС как функции его ИБ, то есть ЭБ(ИО(ИБ(ИК))) ХС, его СИБ

Аналогично формируются измерительные шкалы возможностей достижения частных целей защиты ХС в остальных сферах их деятельности, то есть социальной, экономической, политической и нормативно-правовой [2]. Для примера, на рис. 4 представлена измерительная шкала оценки состояний экономической безопасности ХС как функции его ИБ.

Наличие таких градаций позволяет:

- ввести количественно и качественно обоснованные *нормы на уровень* защиты ХС от угроз нарушения его ИБ при допустимых, критических и/или неприемлемых ошибках лицами, принимающими решения в выборе реагирования на угрозы в рассматриваемых предметных областях, то есть в заданном контексте, аспектах и условиях;
- обосновать *правила* образования имен состояний защищенности ХС, его СИБ и правила их ассоциации с возможностями достижения частных (локальных) и главной целей защиты;
- сформировать *панорамы* степени опасности угроз нарушения ИБ ХС, его СИБ и приемлемости их последствий в отсутствие угроз и в условиях противодействия им. Панорамы разрабатываются в виде классификаторов возможных исходов противоборства сторон по основаниям, определяющим области определения вероятностей

достижения целей объекта по ситуации и результатам в реально складывающейся и прогнозируемой обстановке его деятельности.

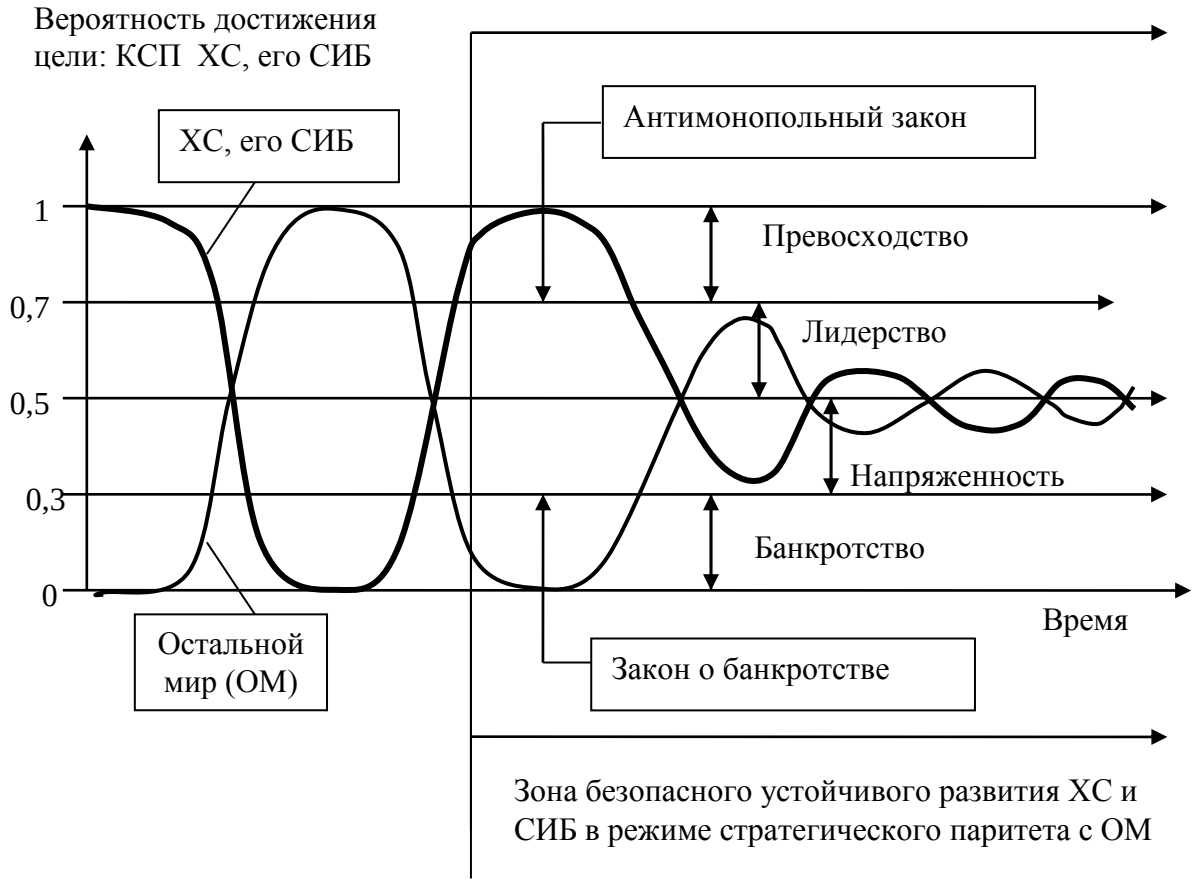


Рис. 4. Измерительная шкала оценки состояний экономической безопасности ХС как функции его ИБ

Таким образом, наличие координат особых точек в графиках распределения плотности вероятности в статике и самой вероятности в динамике позволяет установить границы перехода ХС, его СИБ из одного устойчивого состояния в другое. Такие границы ассоциируются с заданием норм ИБ, которые записываются в виде критерия:

«*эталон* (*норма*) ± *ошибки допустимые*, *критические*, *неприемлемые*».

В таблице 2 приведены результаты оценки соответствия качества (ценности) ИО нормам ИБ для обеспечения устойчивого развития ХС и требованиям к уровню защиты (скрытности) информации об объекте, относящейся к различным видам государственной и/или коммерческой тайны [2, 26].

Снижение качества информации ассоциируется с ошибками, а также с физическим и/или моральным старением методов и СИБ. Требования по повышению качества ИО ассоциируются с требованиями ФЗ «Об уровне защиты информации..» [27, 28] и соответствующих нормативных документов.

Качество ИО ассоциируется с *нормой насыщенности полезной информацией* входных информационных потоков, как аргумента вероятности

достижения целей защиты. В теории и практике оценки качества ИО деятельности организаций в различных предметных областях сложились следующие правила принятия решений: если $P_{ГЦ}$=0,8-1, то это адекватно сорту «экстра» при насыщенности 80-100%; если $P_{ГЦ}$=0,5-0,8, то это адекватно сорту в пределах «высший – второй» при насыщенности 50-80%. Иначе некондиция при насыщенности ниже 50%.

Таблица 2 – Соответствия качества (ценности) ИО требуемому уровню его скрытности

Качество меры информации	Требуемый уровень скрытности ИО				
	Особой важности	Совершенно секретно	Секретно	Коммерческая тайна	Общего пользования
Экстра	1.1.				
Высший сорт		2.2.			
Первый			3.3.		
Второй				4.4.	
Третий					5.5.
Некондиция	Брак – подлежит утилизации. Может рассматриваться как вторсырье				

Заключение

Методология формирования системы измерительных шкал и норм ИБ ХС предназначена для создания единого подхода к исследованиям на системной математической модели взаимосвязанного развития его внешней и внутренней среды адекватной скобочной конструкции вида БУР(КСП(ИО(ИБ(ИК)))) ХС, его СИБ [2]. Методология включает операции распознавания ситуации; предвидения возможных исходов дуэли сторон *A* и *B* в заданном доктриной контексте, аспектах и условиях; адекватной реакция на угрозы нарушения ИБ ХС. Единый подход к исследованиям базируется на общих свойствах аргументов, приведенных в скобочной конструкции модели, таких как: наличие дуэли, вероятностного характера ее исходов и возможности использования универсальной математической модели лингвистической переменной вида: «имя состояния устойчивости развития объекта – области определения его параметров» в заданном контексте, аспектах условиях. Реализация такого подхода базируется на системе шестимерных координат оценки исходов дуэли на каждом из трех уровней приведенной скобочной конструкции модели устойчивости развития (безопасность, конкурентоспособность, влияние на них человеческого и других факторов). Каждая координата снабжается измерительной шкалой и нормами требуемого целевого и функционального назначения.

Перспективными направлениями дальнейшего развития и совершенствования предложенной методологии являются:

- совершенствование теоретических основ математического моделирования ИБ ХС;
- поиск универсального алгоритма «глобальной» оптимизации интегрального исхода дуэли между сторонами *A* и *B* в современных условиях XXI века.

Литература

1. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации: утв. Президентом РФ 9 сентября 2000 г., № Пр-1895. – URL: http://www.scrf.gov.ru/documents/6/5.html (дата обращения 30.01.2016).

2. Жидко Е. А. Методология исследований информационной безопасности экологически опасных и экономически важных объектов: монография. – Воронеж: ВГАСУ, 2015. – 183 с.

3. Жидко Е. А. Высокие интеллектуальные и информационные технологии интегрированного менеджмента XXI века: монография. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», 2014. – 76 с.

4. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Информационная безопасность модернизируемой России: постановка задачи // Информация и безопасность. 2011. Т. 14. № 2. С. 181-190.

5. Жидко Е. А. Управление эколого-экономическими рисками как важнейший фактор эффективной деятельности предприятия // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 3. С. 57-62.

6. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Информационная и интеллектуальная поддержка управления развитием социально-экономических систем // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 10 (93). С. 12-19.

7. Жидко Е.А., Попова Л. Г. Парадигма информационной безопасности компании // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 1 (108). С. 25-35.

8. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Концепция системного математического моделирования информационной безопасности // Интернет-журнал Науковедение. 2014. № 2 (21). – URL: http://naukovedenie.ru/PDF/157EVN214.pdf (дата обращения 30.01.2016).

9. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Принципы системного математического моделирования информационной безопасности // Интернет-журнал Науковедение. 2014. № 2 (21). – URL: http://naukovedenie.ru/PDF/169EVN214.pdf (дата обращения 30.01.2016).

10. Жидко Е. А. Научно-обоснованный подход к классификации угроз информационной безопасности // Информационные системы и технологии. 2015. № 1 (87). С. 132-139.

11. Жидко Е. А. Методология формирования единого алгоритма исследований информационной безопасности // Вестник Воронежского института МВД России. 2015. № 1. С. 62-69.

12. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Логико-вероятностно-информационное моделирование информационной безопасности // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2014. № 4. С. 136-140.

13. Жидко Е. А. Логико-вероятностно-информационный подход к формированию единого алгоритма исследований информационной безопасности объектов защиты // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 1. С. 262-277.

14. Жидко Е. А. Методология формирования системы измерительных шкал и норм информационной безопасности объекта защиты // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2 (97). С. 17-22.

15. Сазонова С. А. Обеспечение безопасности функционирования систем газоснабжения при реализации алгоритма диагностики утечек без учета помех от стохастичности потребления // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С. 60-64.

16. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Человеческий фактор как аргумент информационной безопасности компании // Информация и безопасность. 2012. Т. 15. № 2. С. 265-268.

17. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Информационная безопасность инновационной России: проблема кадров // Информация и безопасность. 2011. Т. 14. № 2. С. 201-208.

18. Жидко Е. А., Муштенко В. С. Методический подход к идентификации экологического риска, учитываемого в деятельности предприятия // Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2011. № 1. С. 11-14.

19. Сазонова С. А. Решение задач обнаружения утечек систем газоснабжения и обеспечение их безопасности на основе методов математической статистики // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С. 51-55.

20. Жидко Е. А., Муштенко В. С. Анализ состояния атмосферы в регионе и социально-экономические последствия загрязнения окружающей среды // Сборник: Высокие технологии в экологии труды 11-й международной научно-практической конференции. 2008. С. 69-74.

21. Ефремов В. С. Стратегическое планирование в бизнес-системах. – М.: Финпресс, 2001. – 240 с.

22. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. – 167 с.

23. Воробьев О. Ю. Эвентология. – Красноярск: СФУ, 2007. – 434 с.

24. Саркисян С. А., Лисичкин В. А., Минаев Э. С., Каспин В. И., Пасенчник Г. С. Теория прогнозирования и принятия решений. – М.: Высшая школа, 1977. – 351 с.

25. Сазонова С. А. Информационная система проверки двухальтернативной гипотезы при диагностике утечек и обеспечении безопасности систем газоснабжения // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С. 56-59.

26. Авсентьев О. С., Жидко Е. А. Обоснование требований к уровню информационной безопасности объекта защиты // Вестник Воронежского института МВД России. 2016. № 1. С. 33-43.

27. Об информации, информационных технологиях и о защите информации. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ // СПС «Консультант Плюс».

28. Харкевич А. А. О ценности информации // Проблемы кибернетики. 1960. № 4. С. 53-57

References

1. *Doktrina informatsionnoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii*: *utverzhdena Prezidentom RF 9 sentiabria 2000 g, № Pr-1895* [The Doctrine of Information Security of the Russian Federation: approved by The President of the Russian Federation on 9 September 2000. No. PR-1895]. Available at: http://www.scrf.gov.ru/documents/6/5.html (accessed 30 January 2016) (in Russian).

2. Zhidko E. A. *Metodologija issledovaniy informacionnoy bezopasnosti ecologicheski opasnyh i ekonomicheski vazhnyh obektov* [Methodology of Research of Information Security of Environmentally Hazardous and Economically Important Objects]. Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2015. 183 p (in Russian).

3. Zhidko E. A. *Vysokiye intrllektualnyje I informacionnyje tehnologii integrirovannogo menedgmenta XXIveka.* [High intellectual and information technologies integrated management of XXI century]. Voronezh, Military Educational Scientific Center Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", 2014. 76 p. (in Russian).

4. Zhidko E. A., Popova L. G. Information security modernized Russia: problem formulation. *Information and security*, 2011, vol. 14, no. 2, pp. 181-190 (in Russian).

5. Zhidko E. A. Management of ecologic and economic risks as the most important factor of effective activity of the enterprise. *Occupational safety in industry*, 2011, no. 3. pp. 57-62 (in Russian).

6. Zhidko E. A., Popova L. G. Information and Intellectual Support of Management of Development of Socio-Economic Systems. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2014, vol. 93, no 10, pp. 12-19 (in Russian).

7. Zhidko E. A. Paradigm information security company. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2016, vol. 108, no 1, pp. 25-35 (in Russian).

8. Zhidko E. A., Popova L. G. The Concept of Systematic Mathematical Modelling Information Security. *Naukovedenie*, 2014, vol. 21, no. 2. Available at: http://naukovedenie.ru/PDF/157EVN214.pdf (accessed 27 January 2016) (in Russian).

9. Zhidko E. A., Popova L. G. The principles of the system of mathematical modeling of information security. *Naukovedenie*, 2014, vol. 21, no. 2. Available at: http://naukovedenie.ru/PDF/169EVN214.pdf (дата обращения 30.01.2016).

10. Zhidko E. A. Research-based Approach to the Classification of Threats to Information Security. *Information systems and technologies*, 2015, vol. 87, no. 1, pp. 132-139 (in .Russian).

11. Zhidko E. A. The methodology of Forming a Single Algorithm Information Security Research. *Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of Interior of Russia*, 2015, no 1, pp. 62-69 (in Russian).

12. Zhidko E. A., Popova L. G. Logical-and-Probabilistic-Informational Modeling of Information Security. *Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva*, 2014, no. 4, pp. 136-140 (in Russian).

13. Zhidko E. A. Logical-and-probabilistic-informational approach to the formation of a unified algorithm of research of information security protection. System control, communication and security, 2016. no. 1. pp. 262-277 (in Russian).

14. Zhidko E. A. Formation Methodology for the System of Protected Object Measuring Scales and Information Security Standards. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2015, vol. 97, no. 2, pp. 17-22 (in Russian).

15. Sazonova S. A. The security of functioning of systems of gas supply during the implementation of the algorithm for the diagnosis of leakage without taking into account interference from the stochasticity of consumption. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologii*, 2015, no. 14, pp. 60-64 (in Russian).

16. Zhidko E. A., Popova L. G. The human factor as an argument information security company. *Information and security*, 2012, vol. 15, no. 2, pp. 265-268 (in Russian).

17. Zhidko E. A., Popova L. G. Information security innovation in Russia: the problem of personnel. *Information and security*, 2011, vol. 14, no. 2, pp. 201-208. (in Russian).

18. Zhidko E. A., Mushtenko V. S. Methodical approach to identification of environmental risk considered in the enterprise. *Vestnik Voronezhskogo* state *University of architecture and construction*. *Series: High technology. Ecology*, 2011, no. 1. pp. 11-14 (in Russian).

19. Sazonova S. A. The Solution of Problems of Leak Detection Systems Gas Supply and Security on the Basis of Methods of Mathematical Statistics. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologii*, 2015, no. 14, pp. 51-55 (in Russian).

20. Zhidko E. A., Mushtenko V. S. Analysis of the state of the atmosphere in the region and socio-economic consequences of environmental pollution. In the collection: High technology in ecology proceedings of the 11th international scientific-practical conference, 2008, pp. 69-74.

21. Efremov V. S. *Strategicheskoye planirovaniye v biznes-sistemah* [Strategic Planning in Business Systems]. Moscow, Finpress Publ., 2001. 240 p. (in Russian).

22. Zade L. A. *Ponjatiye lingvisticheskoy peremennoy i yego primeneniye k prinjatiju priblizhennyh resheniy* [The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning]. Moscow, Mir Publ., 1976. 167 p. (in Russian).

23. Vorobyev O. Y. *Eventologija* [Eventology]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University Publ., 2007. 434 p. (in Russian).

24. Sarkisian S. A., Lisichkin V. A., Minaev E. S., Kaspin V. I., Pasenchnik G. S. *Teorija prognozirovanija i prinjatija resheniy*. [The Theory of Forecasting and Decision Making]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1977. 351 p. (in Russian).

25. Sazonova S. A. The Information System Checks Dualtime Alternative Hypotheses when Diagnosing Leaks and Providing Security of Gas Supply Systems. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologii*, 2015, no. 14, pp. 56-59 (in Russian).

26. Avsentiev O. S., Zhidko E. A. Justification of requirements to information security level of protection object. *Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of Interior of Russia*, 2016, no 1, pp. 33-43. (in Russian).

27. Ob informatsii, informatsionnyih tehnologiyah i o zaschite informatsii. Federalnyiy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 27 iyulya 2006g. N 149-FZ. *SPS «KonsultantPlus»*.

28. Kharkevich A. A. About the value of information. *Problemy kibernetiki*, 1960, no. 4, pp. 53-57 (in Russian).

Статья поступила 21 июня 2016 г.

Информация об авторе

Жидко Елена Александровна – кандидат технических наук, доцент. Профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности. Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. Область научных интересов: проблема обеспечения безопасного и устойчивого (антикризисного) развития хозяйствующих субъектов, как функции их конкурентоспособности. В качестве аргумента конкурентоспособности рассматривается экологическая и информационная безопасность этих субъектов. E-mail: lenag66@mail.ru

Адрес: 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84.

The methodology of the coordinate system, measuring scales and rules for information security of business entities

E. A. Zhidko

Problem statement. *In the information security doctrine of the Russian Federation as one of the main disadvantages of the accumulated knowledge base and resource on the issue States: "the inconsistency and lack of development of legal regulation of social relations in the information areas, which leads to serious negative consequences for the individual, society, state and the object (entity).* ***The aim of this paper*** *is the ability to create the methodology of formation of system of the measuring scales and science-based standards of information security for business entity. The methodology is developed to ensure the requirements of the information security doctrine of the Russian Federation.* ***Methods.*** *Methodology based on the logical and probabilistic-informational approach to the assessment of security of an economic entity from threats of violations of its information security using theoretical methods from the standpoint of ER-concept. Also, methodology based on the integration of syntactic, semantic and mathematical modeling and*

the interrelationship of the development of external and internal environment of the subject of theoretical and empirical methods. ***Novelty.*** *The formation coordinate system, measuring scales and science-based standards of information security entity from threats of violations of its information security is innovation this methodology. Result of paper is the methodological approach to the formation of measurement scales and standards of information security business entity.* ***Practical relevance.*** *methodology of formation of system of measurement scales and standards of information security entity can reliably solve the technical problems of its protection from threats to security and to ensure their sustainable development.*

Keywords: *the safe and sustainable development, competitiveness, information security, methodology and simulation techniques*

Information about Author

Elena Aleksandrovna Zhidko – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Professor of the Department of Fire and Industrial Safety. Voronezh State University of Architecture and Construction. Field of research: the problem of providing safe and sustainable (anti-crisis) development of economic entities, as a function of their competitiveness. The parameters of ecological and information security these economic entities uses as the argument of the competitiveness. E-mail: lenag66@mail.ru

Address: Russia, 394006, Voronezh, St. 20th anniversary of October, d. 84.

УДК 007.52

Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития

Макаренко С. И.

Актуальность. *Ведущие технологически развитые страны (в том числе США, Россия, Великобритания, Франция, Китай, Израиль, Южная Корея), активно разрабатывают робототехнические комплексы, способные с высокой степенью автономности вести боевые действия без участия человека. Так, в Вооруженных силах США планируется, что к 2030 г. доля беспилотных и безэкипажных средств составит 30% от общего состава боевых машин. По оценкам американских военных специалистов, боевые возможности подразделений оснащенными робототехническими комплексами возрастут в 2-2,5 раза. При этом можно констатировать, что их широкое применение приведет к коренному пересмотру основных принципов ведения войны, с учетом не только военно-технических ее аспектов, но и с учетом ее социально-психологических факторов. В связи с этим, актуальным является анализ современного состояния и перспектив развития робототехнических комплексов военного назначения.* ***Целью работы*** *является анализ современного состояния и перспектив развития робототехнических комплексов военного назначения, а также выявление общих и частных закономерностей их развития. Особое внимание уделено робототехническим комплексам на основе: беспилотных летательных аппаратов, наземных дистанционно-управляемых машин, надводных и подводных необитаемых аппаратов.* ***Новизна.*** *Элементом новизны работы является выявленные общие тенденции развития робототехнических комплексов военного назначения. Также к элементам новизны, стоит отнести выявленные частные тенденции развития этих комплексов с учетом специфики их применения для решения боевых задач в воздушной, наземной и морской (надводной и подводной) сферах.* ***Практическая значимость.*** *Представленный анализ может быть использован техническими специалистами для обоснования новых технологических решений в области робототехники, а также военными специалистами – для обоснования новых форм и способов вооруженной борьбы с учетом перспектив развития робототехнических комплексов военного назначения. Кроме того, данный анализ будет полезна научным работникам и соискателям, ведущим научные исследования для прикладного обоснования целесообразности предлагаемых ими улучшений военно-технических систем, за счет использования робототехнических средств.*

Ключевые слова: *робот, робототехнический комплекс, БПЛА, дистанционно-управляемая машина, необитаемый подводный аппарат.*

Актуальность

Анализ опыта военных конфликтов, имевших место на рубеже XX-XXI веков, показывает, что современные боевые действия, ведущиеся в соответствии с концепцией сетецентрической войны, характеризуются следующими основными особенностями: возрастание роли информационного противоборства, использование нетрадиционных форм ведения боевых действий, повышение точности и избирательности действия оружия, внедрение новых систем управления, разведки, компьютерного моделирования. Исходя из этих особенностей общими технологическими тенденции развития вооружения является: интеллектуализация, миниатюризация, снижение энергопотребления, многофункциональность, автономность, снижение веса и удобство снабжения [1].

В соответствии с взглядами отечественных и зарубежных специалистов в боевых действиях будущего одними из наиболее перспективных видов

вооружения и военной техники, интегрирующими большинство из перечисленных направлений, будут робототехнические комплексы военного назначения. При этом ряд специалистов предполагает, что широкомасштабное внедрение роботов и технологий робототехники изменит способы ведения операций и технический облик перспективных систем ВВТ, повысит эффективность их применения, а также обеспечит сокращение потерь личного состава [1].

Планируется, что к 2030 г. доля безэкипажных средств составит 52% от количества экипажных боевых машин и 30% от общего состава боевых машин. При этом, по оценкам американских военных специалистов, боевые возможности подразделений нового типа возрастут в 2-2,5 раза [1].

Текущие и перспективные задачи, решаемые военными роботами в различных сферах и в интересах всех видов ВС (на примере ВС США), представлены на рис. 1 по данным работы [1].

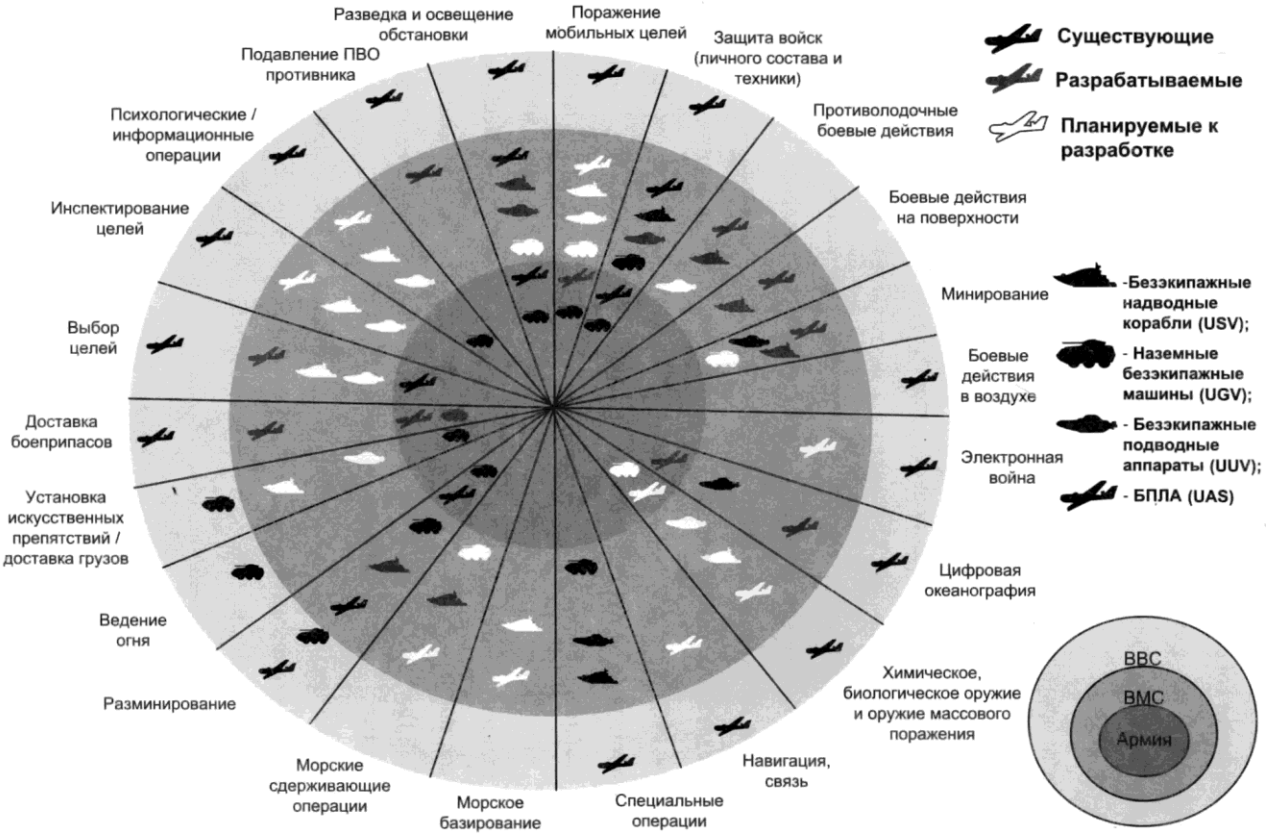


Рис. 1. Текущие и перспективные задачи, решаемые военными роботами в различных сферах и в интересах всех видов ВС США [1].

1 Тенденции развития робототехнических комплексов военного назначения

Создание робототехнических комплексов военного назначения требует существенной проработки ядра наиболее важных технологий, необходимых для создания всей номенклатуры перспективных робототехнических средств. При этом, типовой образец робота военного назначения может быть представлен в виде совокупности функционально связанных элементов. В частности [2]:

1. базовый носитель – это могут быть шасси или корпус любой конфигурации, предназначенные для применения в различных средах;
2. специализированное навесное (встраиваемое) оборудование в виде набора съемных модулей полезной (целевой) нагрузки;
3. средства обеспечения и обслуживания, используемые при подготовке к применению и технической эксплуатации робота.

Состав специализированного оборудования устанавливается исходя из функционального предназначения робота и может включать [2]:

- средства разведки;
- средства вооружения;
- навигационные устройства;
- специальное технологическое оборудование;
- средства телекоммуникации;
- специализированные вычислители с программно-алгоритмическим обеспечением;
- средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ);
- защитные средства.

Помимо этого, робототехника требует обеспечения и обслуживания, то есть в состав комплекса дополнительно включаются [2]:

- диспетчерский пункт управления, контроля и обработки информации;
- средства доставки, транспортировки и запуска;
- средства снаряжения, заправки и зарядки;
- средства подготовки специалистов;
- комплект руководящих документов;
- комплект ЗИП.

Такое представление типового робота позволяет выделить технологии, критичные для разработки перечисленных элементов.

Критические технологии робототехники можно декомпозировать на «основные», т.е. разрабатываемые непосредственно для робототехнических комплексов, и вспомогательные – разрабатываемые для широкой номенклатуры образцов вооружения и имеющие перспективу применения при создании роботов военного назначения [1].

К основным могут быть отнесены следующие технологии [1]:

- систем очувствления и обработки сенсорной информации, оценки ситуации и планирования поведения;
- автоматического наведения и управления оружием;
- дистанционного и автономного управления движением;
- автоматического распознавания образов (целей), анализа ситуаций и динамических сцен;
- искусственного интеллекта и обучения;
- человеко-машинного интерфейса;
- интеллектуальных систем группового управления.

К числу вспомогательных можно отнести технологии [1]:

- автоматизированного управления;
- создания и функционирования новых перспективных конструкций;

- энергетики;
- создания и применения новых материалов и веществ;
- геоинформационные и точного глобального позиционирования;
- создания перспективных систем датчиков и их элементов;
- создания оптических и оптико-электронных средств.

Обладание такими технологиями – залог успеха в обеспечении необходимой степени автономности и интеллектуальности БПЛА, наземных робототехнических средств и автономных морских аппаратов.

Используя предложенную сотрудниками Оксфордского университета наглядную классификацию, можно систематизировать «способности» роботов по четырем поколениям [3]:

- «уровень ящерицы» – соответствует быстродействию процессоров универсальных роботов первого поколения которое составляет от 3000 до 1 млн. команд в секунду (MIPS). Основное назначение таких роботов – получения и выполнения только одной задачи, которая программируется заранее;
- «уровень мыши» – роботы второго поколения, которые могут реализовывать адаптивное поведение, то есть обучение непосредственно в процессе выполнения заданий;
- «уровень обезьяны» – роботы третьего поколения, которые строятся на основе процессоров от 10 млн. MIPS. Особенность таких роботов в том, что для получения задания и обучения требуется только показ или объяснение;
- «уровень человека» – четвертое поколение роботов, которое должно будет способно мыслить и принимать самостоятельные решения.

В работе [4] представлена классификация боевых роботов по степени их зависимости, или точнее независимости, от человека (оператора):

- роботы 1-го поколения – это устройства с программным и дистанционным управлением способные функционировать только в организованной среде;
- роботы 2-го поколения – адаптивные, имеющие синтетические органы «чувств» и способные функционировать в заранее неизвестных условиях, и приспосабливаться к изменениям обстановки;
- роботы 3-го поколения – интеллектуальные, имеют систему управления с элементами искусственного интеллекта (созданы пока лишь в виде лабораторных макетов).

Западные же специалисты делят роботов на три категории [4]:

- «человек-в-системе-управления» (human-in-the-loop) – к этой категории отнесены беспилотные машины способные самостоятельно обнаруживать цели и осуществлять их селекцию, однако решение об их уничтожении принимает только человек-оператор;
- «человек-над-системой-управления» (human-on-the-loop) – к этой категории относятся системы, способные самостоятельно обнаруживать и выбирать цели, а также принимать решения на их уничтожение, но человек-оператор, выполняющий роль наблюдателя,

в любой момент может вмешаться и скорректировать или заблокировать данное решение;

- «человек-вне-системы-управления» (human-out-of-the-loop) – к этой категории отнесены роботы способные обнаруживать, выбирать и уничтожать цели самостоятельно без человеческого вмешательства.

Сегодня наиболее распространены боевые роботы первого поколения (управляемые устройства) и быстро совершенствуются системы второго поколения (полуавтономные устройства). Для перехода к использованию боевых роботов третьего поколения (автономных устройств) специалисты разрабатывают самообучающуюся систему с искусственным интеллектом, в которой будут соединены возможности самых передовых технологий в области навигации, визуального распознавания объектов, искусственного интеллекта, вооружения, независимых источников питания, маскировки и др. Такие боевые системы будут значительно опережать человека в скорости распознавания окружающей среды (в любой сфере), а также в скорости и точности реагирования на изменения обстановки [4, 5].

Нынешнее состояние микроэлектроники развитых стран уже позволяет применять робототехнические средства для выполнения полноценных задач с минимальным участием человека. Однако конечной целью является полная замена человека на его виртуальную копию с такими же возможностями по скорости принятия решения, объемом памяти и адекватным алгоритмом действий [3].

Системы на основе искусственных нейронных сетей уже научились распознавать отдельные объекты. По прогнозам специалистов полностью автономные боевые системы могут появиться уже через 20-30 лет или даже раньше. Ряд экспертов полагает, что будут созданы роботы-андроиды способные заменить солдата на любом участке боевых действий: на суше, на воде, под водой или в воздушно-космической среде. При этом высказываются опасения, что автономные боевые роботы, каким бы совершенным искусственным интеллектом они ни обладали, не смогут, как человек, анализировать поведение находящихся перед ними людей и, следовательно, будут представлять угрозу для невоюющего населения [4].

Американские специалисты считают, что если попытаться сопоставить способности человека с возможностями компьютера, то такой компьютер должен производить порядка 100 трлн. операций в секунду и обладать достаточной оперативной памятью. В настоящее время возможности микропроцессорной техники в 10 раз меньше. В связи с этим принципиально важное значение имеет наращивания быстродействия и миниатюризация разрабатываемых микропроцессоров. Сегодня минимальные размеры процессоров на основе кремниевых полупроводников ограничены технологиями их производства, базирующимися на ультрафиолетовой литографии. И, по данным доклада аппарата министра обороны США, эти предельные размеры в 0,1 мкн будут достигнуты уже к 2015-2020 годам. Вместе с тем альтернативой ультрафиолетовой литографии может стать применение оптических, биохимических и квантовых технологий, создания

переключателей и молекулярных процессоров. По мнению специалистов, процессоры, разрабатываемые с использованием методов квантовой интерференции, могут увеличить скорость вычислений в тысячи раз, а нанотехнологии – в миллионы раз. Кроме того, в интересах создания робототехнических комплексов необходимо уделить серьезное внимание перспективным средствам связи, которые, по сути, являются критическими элементами успешного применения беспилотных и роботизированных средств [3].

Кроме необходимости развития вычислительных систем и систем связяи развитие робототехники требует использования самых современных технологий создания [3]:

- трансгенных биополимеров, применяющихся при разработке ультралегких, сверхпрочных, эластичных материалов с повышенными характеристиками малозаметности для корпусов БПЛА и других робототехнических средств;
- углеродных нанотрубок, используемых в электронных системах БПЛА. Кроме того, покрытия из наночастиц электропроводных полимеров позволяют на их основе разрабатывать систему динамического камуфляжа для робототехнических и других средств вооруженной борьбы;
- микро-электромеханических систем, объединяющих в себе микроэлектронные и микромеханические элементы;
- водородных двигателей, позволяющих снизить шумность робототехнических средств;
- «интеллектуальных материалов», выполняющих определенную функцию под влиянием внешних воздействий. Например, для беспилотных летательных аппаратов Управление исследовательских и научных программ DARPA проводит эксперименты по разработке концепции изменяющегося в зависимости от режима полета крыла, что позволит существенно увеличить маневренность БПЛА;
- магнитных наночастиц, способных обеспечить прорыв в разработке устройств хранения информации, существенно расширив объем памяти робототехнических систем. Потенциал технологии, достигаемый за счет использования специальных наночастиц размером 10-20 нм, – 400 Гбит на кв. см.

Несмотря на нынешнюю экономическую непривлекательность развития многих проектов и исследований в принципиально новых отраслях, военное руководство ведущих зарубежных стран, проводит целенаправленную, долгосрочную политику в области разработки перспективных роботизированных и беспилотных средств вооруженной борьбы, рассчитывая не только сохранить личный состав, сделать проведение всех боевых и обеспечивающих задач более безопасным, но и в перспективе разработать инновационные и эффективные средства для обеспечения национальной безопасности, борьбы с терроризмом и иррегулярными угрозами, а также эффективного проведения современных и будущих операций [3].

Планами роботизации вооруженных сил США предусмотрены следующие направления работ по параметрам робототехники:

- энергоснабжение;
- возможность функционирования в сложных условиях;
- способы излучения сигнала;
- структуры протоколов связи;
- системы описания объектов;
- распознавание человека;
- взаимосвязь человека с роботом;
- навигация;
- преодоление препятствий;
- приводы устройств и механизмов;
- повышение эффективности манипуляторов.

Самой сложной и неоднозначной проблемой на пути создания полностью автономных робототехнических комплексов военного назначения является легитимность и моральная возможность передачи машине права на убийство человека. Однако это – моральная проблема, проблема человека, но никак не робота, не проблема технологии. Одним из вариантов решения этой проблемы может стать несмертельное оружие в арсенале обладающего искусственным интеллектом боевого робота, способного действовать полностью автономно, независимо от человека [6].

Кроме того, развитие робототехники делает актуальными ряд новых задач человеко-машинного взаимодействия. Так, в вооруженных силах США в настоящее время разрабатываются концепции применения автономных роботизированных систем военного назначения, направленные на «создание партнерства между людьми и роботами, позволяющего им работать в рамках синергетических команд». В рамках этих концепций прорабатываются варианты формирования боевых подразделений, в состав которых предположительно будут входить 150 солдат и офицеров и около 2000 роботов. В связи с этим, соответственно, встает и другая проблема: как и какими средствами воевать с подобной «синергетической командой» солдат и роботов [6].

Роботизация принципиально меняет не только организационную структуру и тактику действий подразделений, но и затрагивает ряд важных социально-психологических аспектов. В частности, к порожденным роботизацией вызовам следует отнести значительное перераспределение социальных ролей в воинских подразделениях. Уже сейчас проявляются проблемы, связанные с новым видом социальных отношений: «человек» – «автономный боевой робот с искусственным интеллектом». Роботизация переводит «живых» военнослужащих из психологически понятного состояния войны как борьбы человека против человека в плоскость борьбы человека против «разумной машины», нацеленной на убийство людей. В новых условиях отдельного решения потребует не только организация совместных действий роботов и людей на поле боя, но и проблема совместного размещения и совместной боевой подготовки людей и роботов вне этого времени [7].

Еще одной сложной проблемой является проблема коммуникации, прежде всего, между людьми-исполнителями и роботами-командирами. Проблема может усугубляться недостаточной степенью адаптированности роботов к совместным действиям с людьми. Несомненно, на этой почве могут возникать не только трения, но и открытая конфронтация [7].

Не менее сложной может стать и социально-психологическая адаптация военнослужащих-людей, длительное время взаимодействовавших на поле боя с боевыми роботами как союзниками и как противниками. Так, в ходе активного внедрения роботов в состав группировок американских войск в Афганистане и Ираке также известно немало случаев привязанности военнослужащих к своим «подшефным» роботам, а также к восприятию их как своих боевых товарищей или талисманов. Будущее активное взаимодействие военнослужащих с автономными роботами, обладающих развитым искусственным интеллектом, может только усугубить проблему [7].

Одним из главных приоритетов в развитии вооруженных сил развитых стран является создание боевых роботов и робототехнических комплексов воздушного, наземного и морского базирования. За последние 20 лет такие страны, как США, Великобритания, Франция, Германия, Китай и Израиль в 20-30 раз увеличили объемы финансирования военных НИОКР по созданию боевых роботов и робототехнических комплексов. Бесспорным мировым лидером и инициатором крупных военных программ в этой области являются США (их доля работ составляет 65-75% общего мирового объема). К настоящему времени именно США добились наиболее ощутимых результатов в направлении создания робототехнических комплексов военного назначения. Развитию военной робототехники в США способствует долгосрочное планирование и интенсивность проводимых в этой области работ. Еще в 1988 году Министерство обороны США в рамках специальной программы инициировало крупномасштабные исследования, результатом которых должно было стать создание боевых роботов. За 20 последующих лет на свет появилось более 200 прототипов боевых машин, способных вести военные действия самостоятельно или по командам оператора, управляющего ими дистанционно. Большинство роботов предназначено для патрулирования, ведения разведки, разминирования, доставки грузов и ряда других военных целей. Некоторые образцы способны самостоятельно принимать решения об открытии огня по противнику [8, 9, 10].

В планах и программах развития военной робототехники Unmanned Vehicles (UV) Министерство обороны США выделяет следующие категории технических средств и робототехнических комплексов на их основе [10]:

- беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – Unmanned Air Vehicles (UAV);
- мобильные наземные роботы (МНР) – Unmanned Ground Vehicles (UGV);
- безэкипажные наводные платформы (безэкипажные надводные корабли и маломерные суда – БНК) – Unmanned Surface Vehicles (USV);

- необитаемые подводные аппараты (НПА) – Unmanned Underwater Vehicles (UUV), которые делятся на:
  - дистанционно-управляемые НПА (Remotely Operated Vehicles – ROV);
  - автономные НПА (Autonomous Underwater Vehicles – AUV).

В декабре 2007 года были утверждены основные направления развития безэкипажных и беспилотных систем (Unmanned Systems Roadmap) на 2007-2032 гг., определяющие цели и направления создания робототехнических средств наземного, морского и воздушного базирования [1].

В США роботизация Вооруженных сил возведена в ранг государственной политики. Американцы намерены постепенно отказаться от практики, когда одна система оружия заменяется на новую, более совершенную, и перейти к разработке целых комплексов роботизированных систем, заменяющих или дополняющих десятки традиционных систем оружия [9].

В настоящее время Вооруженные силы США широко применяют военных роботов при ведении боевых действий в военных конфликтах новейшего периода. Так, в Ираке использовалось 365 единиц роботов различного назначения 32 типов. В частности, применение дистанционно-управляемых инженерных машин при разминировании минных полей позволило в 2-3 раза увеличить темп наступление войск и значительно сократить потери личного состава. Кроме того, использование БПЛА для ведения тактической разведки в ходе боевых действий в Афганистане и Ираке позволило резко сократить сроки проведения боевой стадии операции [1].

До недавнего времени основные роботизированные средства разрабатывались в рамках программы FCS (Future Combat System), которая являлась составной частью полномасштабной программы модернизации техники и вооружения сухопутных войск США. В рамках программы осуществлялась разработка [3]:

- разведывательных сигнализационных приборов;
- автономной ракетной и разведывательно-ударной систем;
- беспилотных летательных аппаратов;
- разведывательно-дозорных, ударно-штурмовых, портативных дистанционно управляемых, а также легких дистанционно управляемых машин инженерного и тылового обеспечения.

Все эти устройства предполагалось объединить единой системой боевого управления, контроля, связи, разведки и наблюдения, в результате отдельные элементы смогли бы обмениваться информацией в реальном масштабе времени [9].

Однако роботизация вооруженных сил имеет ряд серьезных ограничений, с которыми вынуждены считаться даже самые богатые и развитые страны. Так, в 2009 г. США приостановили плановую реализацию программы FCS начатую в 2003 г. по причине финансовых ограничений и технологических проблем. С мая 2003 г. по декабрь 2006 г. стоимость программы закупок для FCS выросла с 91,4 млрд. долл. до 160,9 млрд. долл. За тот же срок удалось реализовать лишь 2 технологии из 44 запланированных. Общая стоимость

программы в 2006 г. оценивалась в 203,3-233,9 млрд. долл., затем она возросла до почти 340 млрд. долл., из которых 125 млрд. долл. планировалось потратить на НИОКР. В конечном итоге, после израсходования более 18 млрд. долл. программа FCS была остановлена, хотя по планам к 2015 г. треть боевой мощи армии США должны были составлять роботизированные системы [11, 12].

Кроме финансовых сложностей роботизации, неясным остается эффективность робототехнических или совместных человеко-робототехнических подразделений в бою с противником, располагающим большим арсеналом средств РЭБ и информационного оружия [8].

Тем не менее, процесс роботизации Вооруженных сил США продолжается. Несмотря на то, что программа FCS была закрыта, разработка инновационных средств вооруженной борьбы, включая системы управления и связи, а также большую часть роботизированных и беспилотных средств, была сохранена в рамках новой программы модернизации боевых бригадных групп (Brigade Combat Team Modernization) [3].

В конце 2010 года министерство обороны США обнародовало «План развития и интеграции автономных систем на 2011-2036 годы». Согласно этому документу, количество воздушных, наземных и подводных автономных систем будет заметно увеличено, причем перед разработчиками ставятся задачи сначала наделить эти аппараты «поднадзорной самостоятельностью» (то есть, их действия контролирует человек), а в конечном итоге – и «полной самостоятельностью». При этом специалисты ВВС США полагают, что перспективный искусственный интеллект в ходе боя будет способен самостоятельно принимать решения, не нарушающие законодательства [11, 12].

К 2016 году уже разработано около 20 дистанционно управляемых наземных машин для Вооруженных сил США. При этом, и ВВС и ВМС работают над примерно таким же количеством воздушных, надводных и подводных систем [11, 12].

Обсуждается идея совместного комплектования пехотных и специальных подразделений людьми и роботами. Другая идея – комплексировать отработанные и новые технологии. Например, использовать транспортные самолеты и корабли в качестве «платформ-маток» для групп воздушных и морских беспилотных аппаратов, что изменит тактику их использования и увеличит их возможности [11, 12].

Таким образом, опыт роботизации Вооруженных сил на примере США, показал, что разработка военных робототехнических комплексов – сложнейшая научно-техническая задача, требующая системного подхода и объемного финансирования. Так и не сумев создать систему FCS, американцы отдали предпочтение смешанным системам – «человек+робот», либо «робот, управляемый человеком». Роботам отводится выполнение задач, которые они могут исполнить эффективнее человека, либо те, где риск жизни человека превышает допустимые ограничения. Преследуется также цель удешевления вооружения и военной техники.

При вторжении в Ирак в 2003 г. Вооруженные силы США имели всего несколько десятков БПЛА и ни одного наземного робота. В 2009 г. они уже

имели 5300 БПЛА, а в 2013 г. – более 7000. Массированное применение повстанцами в Ираке самодельных взрывных устройств стало причиной резкого ускорения развития американцами наземных роботов. В 2009 г. Вооруженные силы США уже имели более 12 тысяч роботизированных наземных устройств [4].

Опыт США показывает, что при разработке роботов военного и гражданского назначения используются общие подсистемы и элементы, основанные на передовых достижениях в области сенсорных устройств, машинного зрения, распознавания речевых команд, механических манипуляторов, математического обеспечения и т. д. Это позволяет на одной и той же научно-технической и промышленной базе создавать и автоматизированные средства вооруженной борьбы, и автоматизированные производственные системы, и рассчитанные на массовый спрос или коммерческие товары. При такой схеме, с одной стороны – обеспечивается внедрение результатов новых военных разработок в области робототехники в гражданские области, а с другой – выпуск военной продукции не требует наличия специальной военной промышленности. Анализ робототехнических комплексов представляемых на международных салонах и выставках оборонных систем и вооружений, наглядно демонстрируют – гражданский и военный сектор в этой области практически слились [9].

С учетом этого, интересны следующие факты. Мировым лидером в гражданской робототехнике является Япония. По общему количеству промышленных роботов (около 350 тыс. шт.) Япония значительно опережает идущих за ней Германию и США. Она также лидер по количеству промышленных роботов на 10 000 человек занятых в автомобильной промышленности, на которую приходится более 40% от всего объема продаж роботов в мире. В 2012 году этот показатель у лидеров составлял: Япония – 1562 единиц; Франция – 1137; Германия – 1133; США – 1091. Китай имел 213 роботов на 10 000 работающих в автопроме. Однако по количеству промышленных роботов на 10 000 человек занятых во всех отраслях промышленности лидировала Южная Корея– 396 единиц; далее Япония – 332 и Германия – 273. Средняя мировая плотность промышленных роботов к концу 2012 года составляла 58 единиц. При этом в Европе этот показатель составил – 80, в Америке – 68, в Азии – 47 единиц. У России было 2 промышленных робота на 10 000 работающих. В 2012 г. в США было продано 22411 промышленных роботов, в России – 307 единиц [6].

По сообщениям иностранных СМИ, около 40 стран, в том числе США, Россия, Великобритания, Франция, Китай, Израиль, Южная Корея, разрабатывают роботов, способных воевать без человеческого участия. Ряд программ реализуется на базе совместных проектов. Считается, что рынок подобных вооружений может достигать 20 млрд. долларов США. С 2005 г. по 2012 г. Израиль продал БПЛА на сумму в 4,6 млрд. долл. США. Всего разработками военных роботов занимаются специалисты более чем 80 стран [4].

Основной тенденцией реализации этих проектов является дооснащение состоящих на вооружении средств системами технического зрения, средствами автоматизации управления, каналами связи (радио и оптоволоконными) и средствами управления движением, построенными на модульном принципе. Такой подход позволяет осуществлять быстрое внедрение робототехнических систем в специализированные подразделения.

Рассмотрим более подробно технологии и тенденции развития робототехнических комплексов военного назначения на основе анализа открытых источников в области развития: БПЛА [1, 4, 3, 9, 13-27, 33, 34], наземных робототехнических средств [3, 8, 9, 11-13, 28, 29], а также автономных необитаемых надводных и подводных аппаратов [3, 9, 10, 21, 31, 32, 36, 37].

2 Робототехнические комплексы на основе БПЛА

2.1 Общая характеристика тенденций развития БПЛА

Сегодня в мире наблюдается устойчивый интерес к развитию и совершенствованию беспилотной техники. В развитых странах беспилотная техника уже несколько десятков лет используется для выполнения боевых задач.

В настоящее время, в интересах Вооруженных сил комплексы с БПЛА предполагается использовать для решения разнохарактерных задач в условиях, когда применение пилотируемой авиации невозможно или нецелесообразно (сильное противодействие средств ПВО противника, радиационное, химическое или бактериологическое заражение воздуха и местности в районе боевых действий, осуществление длительного наблюдения за противником и т.д.).

При этом современные комплексы с БПЛА должны выполнять [1]:

1) разведывательные задачи:
   - ведение воздушной разведки;
   - корректировка огня артиллерии;
   - целеуказание высокоточному оружию (подсветка целей);
   - оценка результатов нанесения ударов;
   - длительное воздушное патрулирование заданных районов;
   - определение местоположения и масштабов загрязнения (радиационного, химического, бактериологического и др.) территорий (акваторий);
2) ударные и истребительные задачи:
   - поражение целей наземного, надводного и воздушного базирования;
3) специальные задачи:
   - радиоэлектронное противодействие огневым и обеспечивающим средствам противника;

- усложнение воздушной обстановки путем использования БПЛА в качестве авиационных ложных целей;
- ретрансляция информации и команд боевого управления.

К основным недостаткам существующих комплексов с БПЛА относятся [1]:

- недостаточная численность комплексов с БПЛА;
- меньшая гибкость применения, по сравнению с пилотируемой авиацией;
- нерешенность ряда проблем связи, передачи данных, вопросов посадки и спасения;
- более низкий, по сравнению с самолетами пилотируемой авиации, уровень надежности;
- большие расходы на создание целевых нагрузок;
- ограничения на полеты в населенных районах в мирное время.

Анализ опыта применения БПЛА в современных военных конфликтах позволяет сделать вывод, что наличие полной, оперативной и достоверной информации о противнике является необходимым условием успешного ведения боевых действий. Таким образом, приоритетным направлением развития БПЛА является создание разведывательных и разведовательно-ударных комплексов на их основе [1].

Разрабатываемые и планируемые к созданию комплексы с БПЛА различных классов и назначений должны образовывать единую систему беспилотных средств, характеризующуюся высокой степенью унификации на уровне общих принципов построения. Должна быть предусмотрена унификация процессов производства комплексов, их эксплуатации и обслуживания в войсках, а также обучения личного состава. Эта система должна быть открытой и предусматривать поэтапную разработку и внедрение комплексов и их вариантов в войска, а также длительный жизненный цикл при возможности совершенствования в ходе модернизации с наращиванием ТТХ и расширением функциональных возможностей [1].

Сегодня 30 государств разрабатывают и производят до 150 типов БПЛА, из них 80 приняты на вооружение 55 армий мира. Лидируют в данной области США, Израиль и Китай. Следует заметить, что БПЛА не относятся к классическим роботам, так как не воспроизводят человеческую деятельность, хотя и считаются роботизированными системами. По прогнозам, в 2015-2025 гг. доля США в мировых расходах на БПЛА составит: по НИОКР – 62%, по закупкам – 55% [4].

2.2 Примеры применения комплексов различного назначения на основе беспилотных летательных аппаратов

К числу перспективных летательных аппаратов относятся специализированные ударные и многоцелевые боевые беспилотные летательные аппараты, тактико-технические характеристики и боевая эффективность которых приближаются к современным образцам тактической авиации. Так большое внимание уделяется созданию БПЛА, предназначенных

для доставки средств ВТО к рубежам выполнения задач нанесения ударов по расположенным на большом удалении наземным целям [13, 27].

Для решения таких задач в ВВС США применяются многоцелевой БПЛА MQ-1 Predator, оснащаемый противотанковыми управляемыми ракетами AGM-114 Hellfire, и его усовершенствованный вариант MQ-9 Reaper которые успешно применялись в Ираке и Афганистане.

Одно из ведущих мест в арсенале американских ВВС среди БПЛА до последнего времени занимал летательный аппарат Predator. Он сравнительно дешев (3,4 млн. долларов), имеет высокий уровень надежности работы бортового оборудования и относительно небольшую скорость полета. Именно этот БПЛА был применен США для обнаружения и нанесения ударов по членам «Аль-Каиды» в Йемене и Афганистане [27].

Однако сейчас на вооружение принимается новый вид БПЛА, способный проводить штурмовые операции. Так, в июле 2007 г. США приступили к развертыванию в Афганистане и Ираке первых ударных эскадрилий новейших БПЛА Reaper для ведения боевых действий против «Аль-Каиды» и талибов [9].

БПЛА MQ-9 Reaper имеет длину 11 м и несет на борту до 1,5 т вооружений. Это 4 ракеты AGM-114 Hellfire и две бомбы Mark 82 по 250 кг. По сообщениям зарубежной печати, этот БПЛА обладает следующими характеристиками: максимальная взлетная масса – около 5 т, максимальная скорость полета – 480 км/ч, дальность полета – около 5800 км, практический потолок – до 15 км, время выполнения задач в воздухе – около суток (с полной нагрузкой – около 14 ч). Бортовая аппаратура Reaper позволяет на малых скоростях полета до 70 узлов (около 130 км/ч) – сканировать поверхность с разрешением 1 м, просматривая 25 км^2 поверхности в минуту, а на больших скоростях – около 250 узлов (более 460 км/ч) – до 60 кв.км. В режиме поиска бортовая РЛС обеспечивает получение с расстояния 40 км мгновенных снимков локальных участков земной поверхности размером 300×170 м с разрешением до 10 см [9, 13].

Стоимость образца БПЛА Reaper составляет приблизительно 30 млн. долларов США, однако стоимость может меняться в зависимости от конфигурации.

Таким образом, Reaper – это уже не аппарат воздушной разведки с опциями для нанесения ударов, а серьезный БПЛА-штурмовик с широкими возможностями авиаразведки. Он может баражировать над заданной территорией до 14 ч, находясь в полном боевом снаряжении и ожидая, когда появится нужная цель. Управление разворачиваемых в Афганистане и Ираке БПЛА производится на расстоянии почти 10 тыс. км из специального центра, находящегося в американском штате Невада. Оператор, использующий систему виртуального присутствия, имеет возможность через спутник связи руководить полетом БПЛА и наносить удары [9].

До 2015 года БПЛА Reaper прошел две модификации:

- модификация Block-1 – в апреле 2012 года был представлен БПЛА с увеличенной продолжительностью полёта. Этот БПЛА может находиться в воздухе на 10-15 ч дольше, чем предыдущая его версия.

Такой результат был достигнут благодаря дополнительным топливным бакам и обновленным шасси, благодаря чему продолжительность полёта увеличилась до 37 ч без дозаправки. По сообщениям компании-производителя, если на БПЛА MQ-9 Reaper установить более длинные крылья – 26,8 м, вместо штатных 20 м, то БПЛА сможет находиться в воздухе до 42 ч;

- модификация Block-5 – увеличена мощность двигателя, установлена вторая радиостанция для передачи данных нескольким воздушным или наземным объектам, увеличена грузоподъемность.

Анализ боевого применения БПЛА Reaper показал, что значительная высота ведения разведки и высокая дальность обнаружения целей, а также сниженные демаскирующие признаки БПЛА в акустическом и оптическом диапазонах позволяют ему скрытно вести разведку в заданном районе для выявления активности противника. Наблюдение за потенциальным объектом атаки с задействованием одного аппарата может, при необходимости, продолжаться более 12 ч. Для выполнения аналогичной (по боевой производительности) задачи по вскрытию обстановки в районе такой же площади силами тактической авиации требуется не менее 6 самолето-вылетов [22].

БПЛА RQ-4 Global Hawk – высотный стратегический разведывательный БПЛА. Первый аппарат Global Hawk был передан ВМС США в 2004 году и приступил к выполнению боевых задач в марте 2006 года. Global Hawk выполнен по нормальной аэродинамической схеме. Крыло полностью изготовлено из композиционного материала на основе углеволокна. V-образное хвостовое оперение, также сделано из композиционных материалов. Фюзеляж изготавливается из алюминиевых сплавов. Размах крыльев составляет примерно 35 м, длина – 13,3 м, а взлетный вес приближается к 15 т. БПЛА может осуществлять патрулирование в течение 30 ч на высоте до 18 км [9].

Global Hawk оснащен интегрированной системой наблюдения и разведки HISAR (Hughes Integrated Surveillance & Reconnaissance). Это упрощенная и более дешевая версия комплекса ASARS-2, разработанного фирмой Hughes для разведывательного самолета Lockheed U-2. Комплекс HISAR включает в себя радиолокационную, оптическую и инфракрасную разведывательные подсистемы. Все эти три подсистемы могут работать одновременно, а их данные обрабатываются единым вычислительным комплексом БПЛА. Радиолокатор с синтезированной апертурой изготовлен фирмой Raytheon (Hughes) и предназначен для работы в любых погодных условиях. В нормальном режиме работы он обеспечивает получение радиолокационного изображения местности с разрешением в 1 м. За сутки может быть получено изображение с площади 138 км² на расстоянии 200 км. В точечном режиме проводится съемка области размером 2×2 км, за 24 ч может быть получено более 1900 изображений с разрешением 0,3 м Global Hawk имеет широкополосный спутниковый канал связи и канал связи в пределах зоны прямой видимости.

Подсистема радиолокационной разведки работает в X-диапазоне и обеспечивает:

- сканирование и обнаружение движущихся целей в радиусе 100 км;
- комбинированный SAR/MTI режим, который предоставляет возможность наблюдения с разрешением 6 м за полосой шириной 37 км и длиной от 20 до 110 км;
- в режиме детальной съемки имеет разрешение 1,8 м на территории 10 км².

РЛС обладает возможностью обнаружения наземных подвижных объектов и передачи сведений о подобных объектах (координаты и скорость) в текстовых сообщениях. Дневная электронно-оптическая цифровая камера изготовлена компанией Hughes и обеспечивает получение изображений с высоким разрешением. Оптический датчик (1024×1024 пиксел) сопряжен с телеобъективом с фокусным расстоянием 1750 мм. В зависимости от программы есть два режима работы. Первый – сканирование полосы шириной 10 км, а второй – детальное изображение области 2×2 км. Изображения получаемые с РЛС, оптического и ИК-сенсора обрабатываются на борту БПЛА и передаются на наземную станцию в виде отдельных кадров. Обработанные данные могут передаваться на землю в режиме реального времени со скоростью до 50 Мбит/с через УКВ канал прямой видимости или через спутниковый канал Ku диапазона. Наземная станция собирает из кадров изображения и подготавливает их для дальнейшего использования. Для навигации Global Hawk используется инерциальная система с поправками от GPS.

Стоимость комплекса на основе БПЛА оценивается до 140 млн. долларов США. Расходы на час полета БПЛА оценивается в 31 тыс. долларов.

До 2015 года время БПЛА Global Hawk прошел несколько модификаций:

- RQ-4B Global Hawk Block 30 – первая версия БПЛА официально принятая на вооружение ВВС США с августа 2011 года.
- RQ-4B Global Hawk Block 40 – отличается от предыдущих версий Block 20/30 тем, что содержит мультиплатформенную РЛС MP-RTIP.
- RQ-4E Euro Hawk – немецкая модификация RQ-4, представленная в октябре 2009 года. На европейскую версию БПЛА устанавливаться оборудование радиотехнической разведки SIGINT, разработанное EADS.
- MQ-4C Triton – морской патрульный БПЛА. Этот БПЛА оснащен РЛС X-диапазона для обнаружения надводных кораблей и используется как часть системы расширенной морской разведки ВМС США – BAMS. Управляют этими БПЛА экипажи патрульных самолетов P-8 Poseidon.

БПЛА Global Hawk широко и довольно успешно используется в военных конфликтах. Например, в ходе активной фазы военных действий в Ираке в течение марта 2003 года один аппарат RQ-4A Global Hawk совершил 16 боевых вылетов с общим налетом около 360 ч. Это составило всего 3% от общего количества разведывательных полетов авиационной группировки. При этом аппарат передал более 55% всей информации о критичных по времени целях

противника. Отмечается также, что к концу 2007 года только 3 такими БПЛА, задействованными в Афганистане и Ираке, было выполнено около 400 вылетов с суммарным налетом около 8 тыс. ч. Напряженность боевого применения машин составила 8-12 вылетов в месяц продолжительностью более 24 ч каждый [22].

БПЛА-бомбардировщик UCAV на основе Steth-технологий активно разрабатывается в США. Уже создан прототип UCAV – экспериментальный многоцелевой БПЛА X-45. Первый полёт продолжительностью 14 мин этот БПЛА выполнил в 2002 году, в ходе полета была достигнута высота 2,5 км и скорость 360 км/ч. Пентагон планирует использовать системы, созданные на базе X-45, для решения двух задач:

- подавление системы противовоздушной обороны (как говорят в США, задача первого дня войны);
- нанесение ударов по целям, прикрытым сильной ПВО.

В обоих случаях планировалось использовать эти БПЛА для немедленных действий на удалённых ТВД (заданное время развёртывания системы на любом аэродроме планеты – 32 ч, готовность к взлёту после переброски – 75 мин).

Программа X-45 получила 767 млн. долл. от DARPA в октябре 2004 года на строительство и испытания трёх БПЛА. Предполагалось, что X-45 понесет 680 кг ракетно-бомбовой нагрузки, а также то, что он сможет автоматически выбирать важные цели, определять трассу полета к ним и сам возвращаться на базу. Скорость БПЛА – 0,8 от звуковой. Эти БПЛА должны были быть встроены в единую сеть разведки и управления боевыми действиями и стать основой для проведения сетецентрических беспилотных операций.

Однако, по состоянию на 2 марта 2006 года ВВС США приняло решение прекратить финансирование проекта X-45. Несмотря на прекращение финансирования, «Боинг» продолжил программу X-45 в инициативном порядке и предложил ВМС США создать демонстрационный вариант X-45N.

Интересным в плане перспективного использования беспилотных средств является проект БПЛА RAQ-25 CBARS (Carrier-Based Aerial-Refueling System – «палубная система дозаправки»). Целью проекта CBARS является создание БПЛА, предназначенного для осуществления дозаправки в полете других летательных аппаратов. Разработка такой техники позволит ВМС США избавиться от давней проблемы, связанной с увеличением боевого радиуса имеющихся самолетов. Дело в том, что с конца девяностых годов палубная авиация не имеет полноценного самолета-заправщика, что мешает ей с высокой эффективностью выполнять поставленные задачи. В 1997 году с вооружения был снят специализированный заправщик Grumman KA-6D Intruder, и с тех пор дозаправка в полете выполняется только истребителями F/A-18 с подвесными заправочными агрегатами. Предполагается, что перспективный БПЛА-танкер RAQ-25 сможет полноценно решать поставленные задачи и тем самым высвободит истребители F/A-18, позволив им заниматься только боевой работой. При этом, можно ожидать, что использование беспилотных заправщиков приведет к некоторому повышению эффективности подобной

работы. БПЛА с характеристиками на уровне X-47 или выше смогут в течение длительного времени находиться в указанном районе за пределами зоны действия ПВО противника и производить там дозаправку боевых самолетов, отвечающих за завоевание господства в воздухе или нанесение ударов по объектам противника [15].

С 1996 года ВВС США ведут большую программу создания самых разнообразных ударных и разведывательных комплексов, беспилотных систем ретрансляции и связи, а также ложных целей на основе БПЛА. Дешевые мини-БПЛА объединившись в сети, превратятся в массовое оружие на новых принципах роевого интеллекта.

К таким мини-БПЛА можно отнести Wasp. Свой первый полет он совершил в 2007 году. Аппарат предназначен для наблюдения, целеуказания, корректировки огня и оценки ущерба, при нахождении над вражеской территорией. Wasp оснащен двумя миниатюрными видеокамерами, которые собирают информацию и передают ее оператору в режиме реального времени. Wasp весит 200 г, размах крыла 33 см, оснащен электромотором, получающим энергию от аккумуляторов и подзаряжающимся во время полета от солнечных батарей. Модификация Wasp III имеет размах крыльев 73,5 см, весит 454 г и несет электрооптические цветные камеры, направленные вперед и в стороны, плюс дополнительную модульную нагрузку оптических или инфракрасных сенсоров. Имеет дальность действия до 5 км от оператора и максимальное время нахождения в воздухе до 45 мин [9].

От США стараются не отставать и другие страны. В настоящее время уже более 80 типов БПЛА состоят на вооружении 41 страны, 32 государства сами производят и предлагают к продаже более 250 моделей БПЛА различных типов. По мнению американских специалистов, производство БПЛА на экспорт не только позволяет поддерживать собственный военно-промышленный комплекс, снижать стоимость БЛА, закупаемых для своих Вооруженных сил, но и обеспечивать совместимость аппаратуры и оборудования в интересах проведения многонациональных операций [3].

Одним из лидеров в создании и применении БПЛА считается Израиль. В Израиле БПЛА производятся сразу несколькими оборонными предприятиями, такими, как концерн РАФАЭЛ и концерн «Авиационная промышленность» (ТАА). Ливанская война 2006 г. стала первой в истории по масштабам применения БПЛА. Так израильские боевые БПЛА «Hermes» совершили более 2500 боевых вылетов. Они использовались для разведки, а также для поиска и уничтожения живой силы противника.

В настоящее время прорабатываются применение БПЛА не только для решения боевых задач. Используя БПЛА можно доставлять за линию фронта оружие и амуницию, а также эвакуировать раненых. Так, в настоящее время отдел логистики и снабжения ЦАХАЛа вместе с ВВС и командованием сухопутных войск Израиля проверяют ряд разработок, предложенных израильскими компаниями для этих целей. Израильская компания «ТАА» уже начала проводить эксперименты по превращению обычного грузового вертолета в беспилотный. Компания Urban Aeronautics разрабатывает новый

беспилотный вертолет Mule, работающий не при помощи внешнего винтового ротора, а при помощи внутренних роторов, на основе турбореактивного двигателя. Этот небольшой вертолет (длиной всего 5 м) будет способен перевозить груз весом в 230 кг – еду, воду, медикаменты, боеприпасы и т.д. Параллельно, на прошедшем недавно съезде специалистов оборонных предприятий Израиля было принято решение сделать максимальное усилие для создание беспилотного медицинского вертолета для эвакуации раненых с поля боя. Согласно заданным параметрам, вертолет будет длиной около 8 м и высотой около 1,5 м. Он будет способен перевезти 4 человек и медицинское оборудование, предназначенное для оказания экстренной помощи, и передвигаться со скоростью в 150 км/ч на высоте в 3 км [9].

Эксперты считают, что боевые БПЛА во многом превзойдут обычные боевые самолеты. Дело не только в их дешевизне, по сравнению с пилотируемыми истребителями или бомбардировщиками. БПЛА по маневренности превзойдут обычные самолеты хотя бы потому, что являются более маневренными в силу того, что могут позволить себе самые высокие перегрузки недоступные для человека. Кроме того, на БПЛА можно возложить ряд дополнительных задач обеспечения боевых действий и тылового обеспечения.

2.3 Проблемные аспекты применения БПЛА

Несмотря на то, что доля применения БПЛА в вооруженных конфликтах и локальных войнах постоянно увеличивается, для массового применения БПЛА есть существенные ограничивающие факторы, а также различного рода проблемные аспекты. Как показал анализ работ [9, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 24, 25, 28, 33], к числу основных из них относятся:

- низкая автономность существующих комплексов на основе БПЛА;
- недостаточная пропускная способность подсистемы связи для одновременного дистанционного управления множеством БПЛА или получения от них больших объемов разведывательной информации;
- необходимость создания принципиальной новой наземной обслуживающей и эксплуатационной инфраструктуры;
- необходимость специальной подготовки операторов БПЛА и их вооружения;
- сложности, связанные с эффективным применением БПЛА против противника, обладающего современными высокоразвитыми системами ПВО и РЭП;
- необходимость разработки новых правил и технических средств обеспечения безопасности полетов с учетом БПЛА, как равноправного участника воздушного движения.

Одним из основных ограничений на применение БПЛА является его низкая автономность и необходимость постоянного взаимодействия с оператором на Земле. Таким образом, несмотря на десятки разрабатываемых систем автоматического управления, БПЛА продолжают быть «ручными». Они

нуждаются в человеческом контроле, иначе применять их будет попросту невозможно. Даже управление такими высокотехнологичными БПЛА, как Reaper или Global Hawk, все равно ведется вручную во всех сложных режимах пилотирования, включая: взлет, посадку, барражирование над целью, а также применение оружия [23].

Анализ, проведенный в работе [14], показал, что успешному применению БПЛА препятствует недостаточное количество каналов связи (ширина полосы частот) на всех потенциальных ТВД и ограничения пространственного (географического) характера на некоторых из них. Отмечается, что системы связи при дистанционном управлении БПЛА были настолько перегружены, что некоторые планировавшиеся действия пришлось отложить или отменить. Таким образом, оказалось, что недостаточные возможности систем связи ограничивают количество одновременно применяемых БПЛА. Соответственно, начало каждой новой операции требовало окончания предыдущей. В конечном итоге, опыт применения БПЛА RQ-4 Global Hawk и MQ-1 Predator в операции в Афганистане показал продолжающейся рост потребности в используемой полосе частот, которая, как показывает практика, удваивается ежегодно.

Еще одним ограничением на использование БПЛА является то, что эффективно они могут применяться в относительно свободном воздушном пространстве, днем, при минимальном противодействии средств ПВО и РЭП противника. Ночное применение БПЛА не получило широкого распространения по следующим причинам [17]:

- сложность ночного пилотирования;
- высокой стоимости оборудования – тепловизора или чувствительной ИК-камеры;
- сложности дешифрирования полученной информации, так как при ночной съемке трудно распознать гражданские или военные цели.

При этом, большие БПЛА, применяемые днем нередко становятся легкими целями для средств ПВО, в том числе и ПЗРК. Так, при проведении 78-дневной операции союзных сил в Югославии в 1999 году было потеряно около 47 БПЛА, из которых 35 были подбиты сербской ПВО. Три грузинских БПЛА (включая, по меньшей мере, один Elbit Hermes 450) были подбиты над Абхазией российскими истребителями в российско-грузинском конфликте в 2008 году [19].

Как отмечается в работе [17], основным способом борьбы технологически развитого противника с БПЛА становятся применение им средств РЭП, так как расход дорогостоящих ракет ЗРК против малых БПЛА ведет к исчерпанию ресурсов системы ПВО и фактически является неэффективным. Средства РЭП представляют серьезную угрозу для малых БПЛА, которые, как правило, не имеют полноценной альтернативной инерциальной системы навигации, а также используют каналы управления и передачи информации с низкой помехозащищенностью, при этом алгоритмы управления таких БПЛА не предусматривают высокой степени автономности. Опыт воздействия РЭП на БПЛА в локальных конфликтах [17] показывает, что средства РЭП работают следующим образом: средства радиомониторинга сканируют радиодиапазон в

поисках источника радиосигнала БПЛА, после чего производится анализ сигнала, и принимается решение о постановке помехи:

- в канале видеотракта;
- в канале командной радиолинии управления;
- помехи для блокирования навигационных сигналов GPS;
- в виде информационного воздействия на БПЛА с целью перехвата управления аппаратом.

Так как, противодействовать помехам в каналах видеотракта или в каналах радиоуправления в большинстве случаев невозможно, то БПЛА должен быть запрограммирован таким образом, чтобы при выявлении помех, при прерывании управления с земли, или при попытке вмешаться в управление, он бы переходил в полностью автономный полет в режиме радиомолчания и продолжал его до выхода из зоны действия РЭП. При этом, БПЛА, который летит в автономном режиме (в режиме радиомолчания) и имеет слишком малую эффективную отражающую поверхность для РЛС, может быть обнаружен только визуально, поэтому становится практически неуязвим для РЭП. В случае постановки помех в канале GPS (подмена координат), аппарат должен переходить на управление с помощью инерциальной системы или по магнитному компасу [17].

Еще одним проблемным фактором, сдерживающим широкое внедрение БПЛА, являются экономические затраты. Так, даже относительно низкотехнологичные БПЛА стоят немало, требуют принципиально новых подходов к эксплуатации и обслуживанию, но при этом обеспечивают незначительный уровень эксплуатационной гибкости по сравнению с пилотируемыми воздушными аппаратами. Как указанно в [19], «необитаемые» БПЛА в реальности требуют значительных людских ресурсов. Например, по имеющимся данным, ВВС США планируют выделять по десять пилотов на каждый БПЛА во время обычных операций. К этому необходимо добавить операторов различного оборудования, обслуживающих техников, аналитиков разведывательных данных, и получится, что каждый «беспилотный» летный час требует сотен человеко-часов. Кроме этого, применение БПЛА требует развертывания соответствующих учебно-тренировочных комплексов, а также элементов наземной и радиотехнической инфраструктуры. При этом, все эти ресурсы необходимо обеспечить, даже если используется только один БПЛА [19, 34].

Применение военных БПЛА показало необходимость принятия мер, гарантирующих, что они не будут сталкиваться с другими летающими объектами, использующими воздушное пространство. До настоящего времени это реализовывалось за счет использования пилотируемого самолета сопровождения или наземного наблюдателя, что ограничивало операции с использованием БПЛА дневным временем. Однако ряд происшествий, связанных с столкновением пилотируемых и непилотируемых аппаратов, вынудил приступить к разработке соответствующих систем. Так, американская армия в настоящее время начала установку системы обнаружения и предотвращения столкновений в воздухе Gbsaa (ground-based sense-and-avoid)

производства компании SRC на своих ключевых авиабазах в континентальной части, начав с Форт Худа в декабре 2014 года. Система Gbsaa получает данные от нескольких воздушных датчиков (три трехкоординатных РЛС с электронным сканированием SRC Lstar) и рассчитывает риск столкновения БПЛА, сопоставленный с маршрутами других воздушных судов. Оператор Gbsaa передает эту информацию оператору БПЛА для принятия соответствующих действий по исключению столкновения [19].

Для решения аналогичных задач компания General Atomics разработала устанавливаемый на БПЛА радар воздушного трафика DRR (Due Regard Radar), который предлагается в качестве компонента системы предотвращения столкновений для беспилотной авиации ACAS-Xu (Airborne Collision-Avoidance System for Unmanned Aircraft). DRR тестировался в составе системы SAA (предназначенной для предотвращения столкновений в воздухе) разработки компании General Atomics, которая включает функцию автоматического избегания столкновений и функцию слияния данных сенсоров с целью предоставления оператору БПЛА картины воздушной обстановки вокруг его аппарата. Указанная компания работает с НАСА с целью установки своей системы SAA на опытный БПЛА Predator-B, получивший обозначение Ikhana [19].

Кроме того, широкое внедрение БПЛА выявило ряд психологических аспектов применения дистанционно-управляемых робототехнических устройств, как со стороны операторов, так и среди противника, против которого применяются подобные аппараты.

Анализ опыта применения БПЛА в Ираке и Афганистане [23], показал, что зачастую операторы управляют БПЛА и применяют его оружие в условиях действия противоречивых разведывательных данных и без учета специфики конкретной ситуации. Отмечается отсутствие «вживления» оператора, находящегося за тысячи километров, в реальную боевую обстановку. Ввиду того, что информация о наземной цели, как правило, добывалась разведкой непосредственно в районе операции, оператор часто получал множество противоречивых сообщений и команд. Кроме того, большая длительность прохождения сигналов и команд на линии «оператор»-«БПЛА» накладывает на управляемость БПЛА определенную инертность. При этом, за ту пару секунд, за которые сигнал доходит до БПЛА, ситуация в районе проведения операции может кардинально измениться. Вследствие этих факторов из 10 случаев применения ракетного вооружения БПЛА в Афганистане, 5 попаданий приходилось на мирных жителей. Таким образом, каждый второй выстрел – это поражение мирного жителя. При этом, по данным фонда «Новая Америка» (New America Foundation) [24, 26], с 2004 по январь 2012 года американские БПЛА, применяемые для боевых операций «Аль-Каиды», «Талибана» и других террористических группировок, нанесли 285 ракетных ударов, уничтожив от 1727 до 2690 человек, среди которых из них 385 – мирные жители. Все это ведет к низкой психологической устойчивости операторов БПЛА. Так только за 2013-й год было отмечено 25 случаев, когда операторы БПЛА сводили счеты с жизнью без явных на то причин [23].

Для противника и для мирного населения боевое применение БПЛА за счет своей внезапности имеет эффект теракта. Анализ применения БПЛА в Пакистане показал, что их применение наносит существенные психологические травмы мирному населению противоборствующей стороны. В докладе [25] указывается, что «БПЛА летают над населенными пунктами на северо-востоке Пакистана круглосуточно и без предупреждения наносят удары по домам, транспортным средствам, общественным местам. Их присутствие вызывает у мужчин, женщин и детей постоянное чувство беспокойства и наносит психологические травмы». Нередко пакистанцы, которые становятся свидетелями авиаудара, боятся прийти на помощь пострадавшим, так как БПЛА регулярно наносят удары по спасателям, пишут авторы доклада. Кроме того, родственники людей, погибших в результате операций БПЛА, часто боятся присутствовать на похоронах своих близких, так как БПЛА наносят удары и по участникам похорон. Отмечается также, что, исходя из сообщений СМИ и отчетов американских спецслужб, судить о реальных результатах «беспилотной войны» нельзя. Так, американское правительство редко признает факт убийства мирных жителей и регулярно занижает число убитых среди гражданского населения. Созданию иллюзии борьбы с террористами способствует ряд уловок: в частности, в официальных отчетах все убитые мужчины, достигшие совершеннолетия, фигурируют как «боевики», независимо от того, являлись они ими или нет [26].

Таким образом, практика применения БПЛА является довольно неоднозначной, однако, с учетом перспектив, которые открывает сам принцип «беспилотности» авиационных средств, можно ожидать, что развитие БПЛА и комплексов на их основе продолжится. При этом большинство современных проблемных аспектов применения БПЛА, относятся к «детским болезням» этого вида авиации, и они будут успешно разрешены по мере развития соответствующих технологий.

2.4 Перспективы развития комплексов на основе БПЛА

В настоящее время продолжаются процессы совершенствования комплексов на основе БПЛА. При этом, как показано в работе [21], бурное развитие беспилотной авиации в военных целях обусловлено прежде всего фактическим исчерпанием возможностей экстенсивного развития пилотируемой авиации. А реализация же интенсивного пути развития пилотируемой авиации за счет перехода к 5-му поколению авиационных комплексов требует очень существенных финансовых затрат. К числу основных тенденций в направлении создания новых и совершенствования существующих БПЛА можно отнести следующее [15, 19, 20]:

- создание гиперзвуковых БПЛА;
- использование при проектировании БПЛА технологий снижения радиолокационной и оптической заметности;
- увеличения автономности и длительности полета;
- повышение пропускной способности каналов связи с БПЛА;

- оснащение БПЛА интеллектуальными системами автономного управления, маневрирования в полете, целеопределения и применения оружия;
- оснащение БПЛА средствами активного противодействия системам ПВО, а также комплексами защиты борта на основе средств РЭБ и лазерного оружия;
- оснащение БПЛА системами определения и противодействия средствам РЭП или информационно-техническим воздействиям с целью нарушения или перехвата управления;
- проработка вопросов создания смешанных авиационных групп, состоящих из пилотируемых и непилотируемых аппаратов;
- разработка новых тактических приемов действия множества БПЛА на основе поведения «стаи» или «роя».

Рассмотрим некоторые из основных тенденций развития БПЛА более подробно.

Анализ, проведенный в работе [14], показал, что успешному применению БПЛА препятствует недостаточная пропускная способность подсистемы связи. Для преодоления ограничений систем связи для БПЛА в настоящее время ведутся ряд прорывных работ.

Во-первых – это технологии создания конформных антенн, которые размещаются на поверхности аппарата, что позволяет использовать всю поверхность БПЛА в качестве антенны [14].

Во-вторых – рациональное использование имеющегося радиоресурса. Так, в США в качестве платформы для информационного обмена с перспективными БПЛА предлагается единый тактический канал связи TCDL (Tactical Common Data Link), который охватывает семейство каналов связи, которые могут быть установлены как на самолетах разведки, так и на БПЛА. TCDL предназначен для передачи радиолокационных данных, изображений, видео и другой информации, получаемой датчиками БПЛА, со скоростями от 10,7 Мбит/с, а в перспективе – до 274 Мбит/с, на расстояниях до 200 км [14].

В-третьих – отказ от использования радиоспектра при передачи данных и переход на оптические каналы. Так, французское оборонное агентство предоставило компании EADS контракт на разработку к 2006 году оптического канала связи между перспективным БПЛА и КА на геостационарной орбите. Канал будет задействоваться для защищенной передачи информации между БПЛА и удаленным центром управления. Предполагается на начальном этапе обеспечить связь через КА со скоростью порядка 50 Мбит/с, в последующем – порядка несколько сотен мегабит в секунду [14].

Специалисты управления воздушной разведки США занимающиеся исследованием путей решения проблемы ограниченной пропускной способности систем связи, предусматривают использование [14]:

- общего воздушного радиоканала связи с большой шириной полосы частот для бортовых платформ на основе БПЛА;
- лазерных каналов связи со скоростью передачи данных до 1 Гбит/с, в том числе и в направлениях: БПЛА-ПУ, БПЛА-БПЛА и БПЛА-КА;

- бортового индикатора движущейся цели, который мог бы применяться в качестве «индикаторного протокола» для других бортовых датчиков, благодаря чему сократится время непрерывного наблюдения и, как следствие, – потребность в широкой полосе частот;
- инструментальных средств автоматизации, облегчающих планирование и распределение доступной ширины полосы частот для достижения лучшего возможного результата.

Зарубежные аналитики также указывают разработчикам на тот факт, что использование частотного ресурса является критичным ограничением, поэтому они должны проектировать технику и разрабатывать тактические приемы с таким расчетом, чтобы минимизировать запросы этого ресурса и повысить автономность БПЛА. В настоящий момент БПЛА могут оснащаться полезной нагрузкой самого различного назначения, однако их использование ограничено недостаточной шириной полосы частот для передачи данных заинтересованным потребителям. При этом управление ресурсом связи для БПЛА сопоставимо по значимости с управлением летательным аппаратом или повышением его боевых возможностей [14].

Другим путем преодоления ограничения недостаточной пропускной способности систем связи БПЛА является повышение его автономности за счет использования новейших интеллектуальных технологий. Ведутся исследования [16, 17, 35] по разработке новых тактических приемов применения групп БПЛА на основе роевого интеллекта. Открываются программы направленные на повышение автономности отдельных БПЛА с одновременным улучшением их маневренности. Так, компанией BAE Systems (Великобритания) ведется разработка тяжелого ударного БПЛА Taranis. В октябре 2007 года компания объявила о завершении работ по созданию для него полностью автономной системы управления, которая позволит аппарату самостоятельно проводить все основные этапы полета – как в воздухе, так и при посадке. Скоростной ударный Taranis станет одним из крупнейших боевых БПЛА в мире. Предполагается, что он сможет наносить удары в стратегической глубине обороны противника, самостоятельно разведывать цели и уничтожать их после подтверждения оператором, будет способен самостоятельно защищаться от действий авиации противника – как пилотируемой, так и беспилотной.

Для повышения живучести, помимо увеличения автономности, возможно кардинально нарастить скоростные возможности БПЛА. Так, в настоящее время ведется разработка прототипов гиперзвуковых БПЛА. Косвенным показателем сложности проблем разработки в этой области служит тот факт, что несмотря на то, что Lockheed Martin обсуждала свой проект SR-72 Mach 6.0 с экспертами по двигателям из фирмы Aerojet Rocketdyne в течение нескольких лет, конечный продукт в виде разведывательного БПЛА для прорыва ПВО, по данным компании, будет готов не ранее 2030 года. Известно только, что турбинные двигатели сначала смогут придать ускорение аппарату SR-72 примерно до 3 М (скорость, достигнутая предыдущим проектом SR-71 Blackbird), а последующее использование на БПЛА гиперзвуковых воздушно-реактивных двигателей увеличат затем эту скорость вдвое [19].

Для работы в пределах атмосферы гиперзвуковые БПЛА могут появиться как побочный продукт проекта по экспериментальному космическому самолету XS-1, над которым работают DARPA, а также компании Boeing и Northrop Grumman [19].

Касаемо использования технологии снижения признаков заметности (технология стелс), нужно отметить, что БПЛА RQ-170 Sentinel компании Lockheed Martin несомненно проектировался с учетом двух аспектов: он должен иметь достаточный уровень живучести, чтобы летать над такими странами, как, например, Иран, но при этом его потеря не должна иметь больших последствий. Это делает его первым недорогим БПЛА, на котором используется технология снижения заметности. Предполагается, что он поступил на вооружение ВВС США в 2007 году и был развернут на базах в Афганистане и Южной Корее, возможно, для мониторинга ядерных разработок в соседних странах. Кроме того, в настоящее время на вооружение ВВС США принят разведывательный БПЛА RQ-180 с управляемыми сигнатурами, который создан компанией Northrop Grumman (БПЛА представляет собой дозвуковое летающее крыло в стиле B-2). Предполагается, что контракт на разработку RQ-180 был получен в 2008 году, первые поставки прошли в 2013 году, а аппарат мог быть поставлен на вооружение в 2015 году [19].

Остро стоит вопрос с повышением живучести БПЛА при преодолении зоны ПВО. С целью защиты БПЛА от ракет с инфракрасным наведением систем ПВО и переносных зенитно-ракетных комплексов, компания Elbit Systems разработала лазерную систему управляемого противодействия ИК-средствам mini-Music. Атакующая ракета вначале определяется системой предупреждения о ракетной атаке, затем захватывается тепловизионным автоматом сопровождения, что позволяет направить лазерный луч точно на атакующую ракету и тем нарушить функционирование ее системы наведения. Вполне возможно, что крупные БПЛА могут в будущем иметь некую систему оборонительных микро-ракет или перехватчиков, аналогичных комплексу активной обороны для вертолетов Helicopter Active Protective System (Haps), разработанному компанией Orbital ATK для защиты от РПГ [19].

Важным направлением развития тактики применения БПЛА считаются совместные (групповые) действия пилотируемых аппаратов и беспилотных систем различных типов. По оценкам американских специалистов, обеспечение возможности получения экипажами пилотируемых аппаратов информации о целях или потенциальных угрозах от бортовых разведывательных систем БПЛА считается одним из перспективных путей снижения потерь армейской авиации. Кроме того, реализация такого взаимодействия позволит увеличить глубину ведения разведки и обеспечит своевременное принятие решения на атаку цели или выполнение маневров обхода зон поражения огневых средств ПВО противника. Операторы вооружения пилотируемых объектов, оснащенных унифицированной аппаратурой управления армейскими беспилотными аппаратами, смогут задавать маршрут полета БПЛА, режим работы разведывательных систем, а в перспективе – выдавать целеуказание и команды на применение их бортового вооружения [22].

В данном направлении в Вооруженных силах США разрабатывается концепция комбинации пилотируемых и беспилотных средств «Manned-Unmanned Teaming» (Mum-T или просто Mut), в которой пилоты вертолетов (таких как Boeing AH-64 Apache и Bell OH-58D) могут контролировать БПЛА (такие как MQ-1C Gray Eagle General Atomics, MQ-5B Hunter Northrop Grumman, RQ-7B Shadow Textron Systems, RQ-11B Raven и Puma AE от AeroVironment), определять их маршруты, управлять их сенсорами и получать информацию от них. Это достигается за счет постепенно повышающихся уровней функциональности оборудования пилотируемой авиации. Например, вертолет AH-64D Block II имеет оборудование, позволяющее принимать видео с БПЛА в полете и управлять его сенсорами. Вертолет AH-64E Guardian (бывший AH-64D Block III) получил уже более совершенное оборудование, позволяющее пилоту, кроме других функций, еще и контролировать траекторию полета БПЛА. По сути, концепция совместных действий пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов Mut позволяет приближаться к вражеским целям без риска для контролирующего БПЛА вертолета, при этом, обеспечивая экипаж вертолета высококачественной картинкой цели, которая будет атакована, получаемой в реальном времени. Планируется, что в долгосрочной перспективе за счет применения БПЛА вертолет AH-64E вберет в себя задачи вооруженного разведывательного вертолета OH-58D [20].

Своего рода уникальной концепцией является программа Gremlin, разработанная DARPA Министерства обороны США. Данной программой транспортным самолетам и бомбардировщикам отводится роль «воздушных авианосцев», запускающих с безопасного расстояния множество небольших универсальных БПЛА которые будут выполнять боевые задачи в воздушном пространстве, а затем возвращаться на «самолет-матку». В конце 2014 года DARPA обнародовало техническое задание на ОКР по разработке таких систем в течение 4 лет. В 2016 году DARPA выделило на программу Gremlin первые 8 млн. долларов [20].

Программа Team-US (Technology for Enriching and Augmenting Manned-Unmanned Systems – технология расширения и дополнения пилотируемо-беспилотных систем) – это еще один радикальный подход DARPA к будущим сценариям воздушного боя. Программа Team-US предусматривает, что пилотируемые самолеты четвертого и пятого поколений смогут управлять «стаями» недорогих «ведомых БПЛА», которые будут вести наблюдение, проводить атаки с помощью средств РЭБ, а также осуществлять доставку боеприпасов к наиболее опасным целям, таким как средства ПВО. На программу Team-US управление DARPA запросило 12 млн. долларов на 2016 год [20].

Исследовательская лаборатория ВВС США также работает над концепцией «доступного, функционального БПЛА, который не очень жаль потерять» (англ. термин «attritable»), запускаемого с воздушного судна. При этом стоимость одного такого БПЛА не должна превысить 3 млн. долларов [20].

Одной из основ применения «стаи» БПЛА является программа DARPA под обозначением Code (Collaborative Operation in Denied Environments – совместная работа в запретных пространствах). В соответствии с ней один человек сможет контролировать шесть и более БПЛА, оборудованных системой «общей автономности» для поиска и уничтожения общих целей [20].

Еще одна прорывная программа, разрабатываемая DARPA, получила обозначение Tern. В ней использованы решения, которые позволят БПЛА класса Male (medium-altitude, long-endurance – средневысотный, большой продолжительности полёта) с разведывательными и ударными возможностями действовать (даже при сильном волнении моря) с американских боевых кораблей передового базирования, которые не имеют взлетной палубы, а имеют палубу таких же размеров, как у эсминца класса Arleigh Burke. При этом ВМС США заинтересованы в работе БПЛА Tern также с боевых кораблей прибрежной зоны Littoral Combat Ships (LCS), десантно-вертолётных транспортных доков (LPD), десантных кораблей-доков (LSD) и грузовых кораблей Командования военно-морских перевозок ВМС. В окончательном виде БПЛА Tern будет способен вести патрулирование в зоне радиусом до 925 км в течение более чем 10 ч и доставлять полезный груз на расстояние до 1700 км, что (если это будет реализовано) позволит достигать ему с моря до 98% всей площади суши. Предполагается, что БПЛА Tern будет использоваться для разведки и наблюдения, а также для решения ударных задач в глубине суши без задействования передовых баз или без помощи других стран. Поскольку заметность здесь не упоминается, то, по-видимому, эта концепция предусматривает неожиданные атаки и действия в регионах со слабо развитыми системами ПВО и РЭП противника. Основные решения системы Tern относятся к системе запуска и возвращения БПЛА, но DARPA также заинтересовано в разработке компактной схемы размещения аппаратов, роботизации палубных манипуляций с БПЛА, а также автоматизации их обслуживания и предполетной подготовки. Целью программы является демонстрационный полет прототипа БПЛА Tern в 2017 году [20].

Обсуждение возглавляемых DARPA работ по перспективным БПЛА, было бы неполным без упоминания о программе по созданию аппарата вертикального взлета и посадки X-Plane (стоимость 130 млн. долларов, срок 52 месяца), хотя она нацелена на технологию, которая в равной мере может быть применена и к пилотируемому аппарату. DARPA планирует разработать демонстрационный образец, который сможет достичь скорости 550-750 км/ч, эффективности зависания более 60%, коэффициента аэродинамического качества в крейсерском полёте как минимум 10 и полезной грузоподъемности равной, по меньшей мере, 40% от его общей массы 4500-5500 кг. Соответствующие 22-месячные контракты на этап 1 программы X-Plane были выданы в октябре 2013 года компаниям: Aurora Flight Sciences, Boeing, Karem Aircraft и Sikorsky Aircraft (объединилась с Lockheed Martin Skunk Works). Проект Phantom Swift компании Boeing имеет два подъемных винта, спрятанных в фюзеляже, и два поворотных винта на концах крыльев в направляющих насадках. Концепция Sikorsky Rotor Blown Wing представляет

собой самолет с вертикальным взлетом и посадкой, садящийся на хвост. Проект компании Karem имеет поворотные несущие винты в середине крыльев, а внешние крылья поворачиваются вместе с несущими винтами. Что касается проекта компании Aurora, то кроме его названия Lightning Strike больше об ее проекте ничего не известно. Эти четыре претендента должны были подать предварительные проекты в конце 2015 года, после чего DARPA планировало выбрать одного подрядчика на создание технологического демонстратора X-Plane, который должен осуществить первый полет в феврале 2018 года [20].

Проблемы ВС США, связанные с безопасностью в Афганистане и Ираке, привели к пониманию актуальности систем круглосуточной воздушной разведки с высоким разрешением. Это сделало актуальным разработку БПЛА с высокой продолжительностью полета – в течении нескольких дней.

В 2007 году компания Aurora Flight Sciences была выбрана Исследовательской лабораторией ВВС США для проведения исследования по сверхдолгому полету и определения возможности для БПЛА с неподвижным крылом предложить альтернативу концепциям аппаратов легче воздуха (дирижаблям). В результате исследований появился одномоторный БПЛА-прототип Orion массой 3175 кг, работающий на водороде и предназначенный для совершения крейсерских полетов на высоте 20 км длительностью более суток с грузом 180 кг. В результате дальнейшего развития проекта Orion был разработан БПЛА категории Male массой 5080 кг со сдвоенным дизельным двигателем Austro и размахом крыльев 40,2 м. БПЛА Orion в настоящее время способен совершать полеты с крейсерской скоростью в течение 120 ч с грузом 450 кг, но на высоте до 6 км, что естественно сокращает площадь обзора. В декабре 2014 года прототип БПЛА Orion с балластным грузом 450 кг выполнил полет на высотах до 3000 м продолжительностью 80 ч. Полет был прекращен досрочно в связи с достижением запланированной дальности полета. По оценкам экспертов, БПЛА Orion способен барражировать в воздухе 114 ч (4,75 дня) в радиусе 800 км. При расширении радиуса барражирования до 4800 км продолжительность полета сокращается до 51 ч. Этот БПЛА может быть сконфигурирован таким образом, чтобы нести под каждым крылом груз массой до 450 кг, что позволяет получить определенные ударные возможности. Дальность перегоночного полёта составляет 24 000 км. Скорость крейсерского полета составляет 125-160 км/ч, а форсажная скорость 220 км/ч. БПЛА Orion может стать экономически целесообразной заменой невооруженному БПЛА Predator [20].

Для увеличения продолжительности полета на высоте до 20 км БПЛА использует двигатели на водородном топливе.

Уменьшенный демонстрационный образец Phantom Eye от компании Boeing массой 4450 кг имеет размах крыльев 45,7 м и два 2,3-литровых двигателя Ford с турбонаддувом мощностью 112 кВт, которые работают на жидком водороде, закаченном в два сферических бака диаметром 2,44 м. Аппарат должен оставаться в воздухе 4 дня на высоте до 20000 м с грузом массой 240 кг. Прототип Phantom Eye совершил свой первый полет в июне 2012 года. Следующий полет проходил на высоте 8500 м и длился порядка 5 ч.

Компания Boeing продолжает испытания, стремясь увеличить продолжительность полета и достигнуть высоты как минимум 20 км. В случае успеха эта программа может продолжиться в виде заказа на постройку полноразмерного аппарата Phantom Eye с размахом крыльев 64 м, который сможет оставаться в воздухе до 10 дней с грузом 450 кг. Заявлено, что четыре таких аппарата смогут обеспечить непрерывную зону радиосвязи на локальном ТВД [20].

В этом же классе, что и маломасштабный демонстрационный образец Phantom Eye, находится аппарат от AeroVironment Global Observer GO-1, имеющий размах крыльев 40 м и один двигатель, работающий на водороде. Впрочем, в этом БПЛА двигатель питает электрогенератор, который подает энергию на 4 электродвигателя, которые, в свою очередь, вращают винты, установленные на кромке крыла. По задумке разработчика, GO-1 должен оставаться в воздухе до 5 дней на высоте до 20 км с полезным грузом 170 кг. Прототип GO-1 совершил первый полет в январе 2011 года, но 3 месяца спустя на 19-м часу своего девятого полета потерпел крушение. В декабре 2012 года Пентагон прекратил финансирование проекта. Однако, компания AeroVironment достроила второй прототип и в феврале 2014 года вместе с Lockheed Martin вышла на международный рынок с БПЛА Global Observer, дав ему определение «атмосферная спутниковая система» [20].

БПЛА с неподвижным крылом и водородными поршневыми двигателями, в конечном счете, имеют хорошие перспективы достижения высокой продолжительности полета на больших высотах, но рекорды по продолжительность полета и установившейся высоте среди БПЛА удерживают аппараты на солнечных батареях [20].

Так, БПЛА Zephyr Seven, разработанный британской компанией Qinetiq, в июле 2010 года установил официальный рекорд по продолжительности полета для пилотируемой/беспилотной авиации – 336 ч и 22 мин. Он также установил рекорд среди БПЛА по установившейся высоте – 21575 м. БПЛА Zephyr Seven имеет размах крыла 22,5 м, взлетную массу 53 кг, грузоподъемность 10 кг. Он способен летать с крейсерской скоростью 55 км/ч и форсажной скоростью 100 км/ч [20].

В конце 2013 года южнокорейская организация по оборонным закупкам DAPA (Defense Acquisition Program Administration) объявила о планах разработки к 2017 году сверхлегкого БПЛА на солнечных батареях, который будет выполнять такие задачи, как, например, ретранслятор связи. БПЛА должен оставаться на боевом дежурстве в воздухе в течение 3 дней на высоте 10-50 км. Бюджет этой программы составит 42,5 млн. долларов [20].

Тем временем американское управление DARPA проявило интерес к разработке БПЛА на солнечных батареях, который мог бы вести мониторинг военной и коммерческой активности к северу от Полярного круга в течение более 30 дней, отслеживая воздушные, наземные и подводные цели. И это при том, что круглогодичная работа БПЛА на солнечных батареях на таких высоких широтах очень затруднена.

Таким образом, США и ряд других технологически развитых стран, уже сейчас добились ощутимых результатов в области робототизации своих вооруженных сил. В них уже сегодня состоят на вооружении как тактические, так и стратегические комплексы БПЛА разведывательного и ударного назначения. Вместе с тем абсолютно неправильно сводить всю деятельность по оснащению вооруженных сил робототехническими комплексами исключительно к БПЛА. Как свидетельствует мировой опыт, это только первый и не самый сложный шаг [6].

3 Наземные робототехнические комплексы

3.1 Общая характеристика задач наземных робототехнических комплексов

Планы DARPA Минобороны США состоят в том, чтобы в 2015 году одна треть транспортных средств была построена на основе робототехнических систем. А к 2025 году планируется переход к полноценной робототехнической армии.

Наземные роботизированные комплексы сухопутных войск, по мнению специалистов, способны решать широкий спектр задач, основными из которых являются [13]:

- обнаружение, обследование и обезвреживание мин, фугасов и самодельных взрывных устройств;
- ведение разведки и наблюдения;
- вскрытие позиций снайперов, огневых средств, засад и систем наблюдения противника;
- обследование зданий, сооружений и отдельных объектов;
- доставка материально-технических средств по месту назначения.

До недавнего времени основные робототехнические комплексы для Вооруженных сил США разрабатывались в рамках программы FCB. Однако, несмотря на то, что она закрыта, разработка инновационных средств вооруженной борьбы, включая системы управления и связи, а также большая часть робототехнических комплексов и БПЛА была сохранена в рамках новой программы модернизации боевых бригадных групп. В рамках этой программы осуществляется разработка [8]:

- разведывательных сигнальных приборов;
- автономной ракетной и разведывательно-ударной систем;
- БПЛА;
- разведывательно-дозорных, ударно-штурмовых, портативных, а также легких дистанционно-управляемых машин для инженерного и тылового обеспечения.

При этом к наиболее массово-выпускаемым видам наземных робототехнических систем относят дистанционно-управляемые машины.

3.2 Дистанционно-управляемые машины

В настоящее время большинство наземных роботизированных комплексов состоят из дистанционно-управляемой машины (ДУМ) и пульта управления. Дистанционно-управляемые машины, применяются для решения задач разведки местности, обнаружения взрывных устройств, разминирования и других задач [13].

Из состоящих на вооружении США ДУМ самой легкой и малоразмерной считается Recon Scout (вес – 1,3 кг, длина – 200 мм, оборудована видео- и ИК-камерой).

Одним из представителей гусеничных роботизированных мини-машин является First Look 110 (вес – 2,2 кг; размеры – 250×230×100 мм; оборудована 4 видеокамерами с подсветкой) [8].

ДУМ SpyRobot выпускается в двух вариантах – с шасси 4×4 и 6×6 (вес – 5 кг, разведывательная аппаратура включает тепловые и оптические датчики, а также радиолокационную станцию с синтезированной апертурой). Основными задачами этого робота являются разведка в городских условиях, использование датчиков различного назначения в заданном районе, участие в поисковых операциях, разведка возможных засад и обнаружение слабых мест в обороне противника [8].

В результате модернизации машины SpyRobot была создана ДУМ Dragon Runner для разведки местности в радиусе эффективной дальности стрельбы стрелкового оружия (вес – 9 кг, размеры – 230×200×75 мм, оборудован ИК-датчиками и видеокамерой) [8].

Другим классом роботов является ДУМ Warrior 710 (вес – 157,4 кг). Она предназначена для обнаружения, транспортирования и обезвреживания взрывоопасных предметов, расчистки завалов, проделывания проходов и подъема тяжестей [8].

Робот PackBot выполнен на гусеничной платформе. Он успешно применялся в Ираке и Афганистане для обнаружения с помощью видеокамер взрывных устройств и неразорвавшихся боеприпасов. Именно самоходные гусеничные роботы проводили замеры уровня радиации внутри энергоблоков АЭС «Фукусима» на территории Японии в апреле 2011 г. Совершенствуя PackBot, компания-разработчик оснастила этот образец комплектом обнаружения снайпера, усилив тем самым его разведывательные возможности. Новая модификация робота (вес – 2,5 кг) получила название REDOWL (Robotic Enhanced Detection Outpost With Lasers), в переводе с английского (red owl) – «красная сова». Он оборудован лазерным дальномером, звукоулавливающим оборудованием, тепловизорами, GPS-приемником и 4 автономными видеокамерами. По сообщениям западных открытых источников, характеристики образца позволяют прочесть надпись на именном жетоне военнослужащего с расстояния 100 м, а также вести наблюдение ночью и в неосвещаемых помещениях и обеспечивать лазерную подсветку цели на дальность около 1,6 км, определять местоположение снайпера до и после выстрела с вероятностью 0,9 на удалении до 900 м. При этом оператор имеет возможность осуществлять целеуказание не только пехотным подразделением,

но и сообщать координаты позиции снайпера артиллерийскому или авиационному подразделению для нанесения точечного удара [13].

Машина разминирования MV-4 (или M160) массой 5,32 т предназначена для нейтрализации (обезвреживания) противопехотных мин и неразорвавшихся боеприпасов. Дистанционное управление этим средством предусмотрено на расстоянии до 2 км. Другим примером ДУМ разминирования некоторых типов противопехотных и противотанковых мин является модель ABV (Assault Breacher Vehicle). По своим габаритам эта машин сравнима с танком «Абрамс». Появление полностью автономного варианта ДУМ ABV ожидается после 2025 года [8].

Самым крупным боевым роботом в настоящее время можно считать ДУМ Black Knight (вес – 9,5 т, размеры – 5×2,4×2 м). Для автономного движения робота используется видеокамера, стерео- и ИК-камеры, лазерные локаторы, а также приемник сигналов космической радионавигационной системы «Навстар». Вооружение этой ДУМ включает 25- или 30-мм автоматическую пушку со спаренным 7,62-мм пулеметом [8].

Также необходимо упомянуть еще о двух работах, которые разрабатывались в рамках программы FCB – MULE и SUGV.

Многоцелевая ДУМ MULE («Мул») разрабатывается компанией «Локхид-Мартин» на базе легкой платформы 6×6 в трех вариантах [8].

1. Транспортный MULE-T.
2. Штурмовой MULE/ARV-A(L), который планируется использовать для атак на укрепления противника и для обеспечения огневой поддержки наземных войск. Его предполагается оснастить противотанковыми управляемыми ракетами (ПТУР), 7,62-мм пулеметом (либо 30-мм пушкой, либо 40-мм гранатометом) и оптоэлектронными сенсорами. Аппарат будет в состоянии идентифицировать цели. Машина обладает самостоятельной навигацией и может перемещаться автономно.
3. Противоминный MULE-C, который создается для проделывания проходов в заминированных зонах.

Наземный малогабаритный переносной дистанционно управляемый аппарат SUGV предназначен для обезвреживания взрывных устройств, разведки и обнаружения противника в труднодоступных местах. Это первый робот, который полностью соответствует требованиям пехотных подразделений [8].

На вооружение 3-й пехотной дивизии уже поступают первые боевые роботы SWORDS. Данный робот создан компанией Фостер-Миллер TALON Робот. По утверждению производителя, робот предназначен для действий в городе, способен преодолевать песок, воду и снег до 0,3 м глубины, а также осуществлять подъём по лестнице. Он рассчитан на 8,5 ч работы от батарей в нормальном эксплуатационном режиме, а также в режиме ожидания до 7 суток. Контролируется оператором на расстоянии до 1 км. Весит около 45 кг. Есть целый ряд различных видов оружия, которые могут быть размещены на SWORDS: винтовки M16, 5,56-мм SAW M249, 7,62 мм пулемёт M240,

шестиствольный 40-мм гранатомёт или четырёхствольный 66 мм M202A1 FLASH. Успешно применялся в Афганистане и Ираке.

К 2020 году в США планируют разработать робота, который будет сопровождать военнослужащего, при этом управление будет голосовым и жестами [11, 12].

Разработку дистанционных роботехнических систем ведут не только в США. В данном направлении работают и другие технологически развитые страны. Среди тех стран, которые ведут разработки наиболее активно следует назвать – Израиль и Южную Корею.

В Израиле автоматизация боевых действий уже стала основной тенденцией. Вдоль 60-километровой полосы Газа в настоящее время устанавливаются роботы-снайперы. Разработанные израильским военным концерном Rafael стационарные системы See-Shoot оснащены автоматическими пулеметами с камерами. Дальность их боя достигает 1500 м [9].

Сразу две израильские компании заняты разработкой автономных патрульных автомобилей, способных совершать регулярные объезды по периметру заданной местности, фиксируя любые изменения и самостоятельно преодолевая преграды, одновременно передавая информацию на контрольный пункт. Первым объектом охраны, на котором будут использованы автономные патрульные автомобили, судя по всему, станет аэропорт имени Бен-Гуриона. На данный момент эти автомобили безоружны, однако, согласно оценкам специалистов, уже в ближайшем будущем на них можно будет ставить системы вооружений. Авторы проектов считают, что за подобными автомобилями – будущее патрульной службы. Они не устают, не теряют бдительности, не засыпают за рулем, и их уничтожение не влечет за собой потерь в человеческих жизнях [9].

На авиасалоне в Ле-Бурже в 2008 году компания «Эльбит Маарахот» представила первого в мире действующего боевого робота VIPeR, предназначенного для ведения боевых действий в городских условиях. Робот способен самостоятельно вести огонь и метать различные виды гранат. Его вес – 12 кг, длина – 36 см, ширина — 36 см, а высота – 22 см. Управление роботом дистанционное. Он способен подниматься по лестницам и преодолевать препятствия, параллельно отслеживая все, что происходит вокруг. VIPeR вооружен специально сделанным для него мини-вариантом пистолета-пулемета «Узи» калибром 9 мм, на котором установлен лазерный прицел. Согласно идее создателей, робот, имеющий небольшой вес, переносится одним из солдат боевой группы и включается, когда есть необходимость в проникновении в здание [9].

На выставке TADTE (Taipei Aerospace & Defense Technology Exhibition) в 2015 году министерство обороны Тайваня представило новую ДУМ, предназначенную для повышения живучести и огневой мощи подразделений тайваньской армии [28]. Прототип легкой дистанционно-управляемой боевой машины RCLCV (Remote-Controlled Light Combat Vehicle), разработанный 209-ым военным заводом в сотрудничестве с Университетом Ченг Шу, предназначен для обеспечения поддержки подразделений в боевых операциях и

может развертываться в составе мотопехотного отделения с бронетранспортера CM-32 Cloud Leopard. Разработчики представили два разных варианта, базирующиеся на шасси гусеничного вездехода массой 200 кг [28]:

- платформа вооружения для поддержки ближним огнем;
- робот предназначеный для выполнения опасных боевых задач, например обезвреживания взрывоопасных предметов, обнаружения мин и эвакуации пострадавших.

Вариант огневой поддержки имеет стабилизированную опору, которая может принять различное вооружение, включая 5,56-мм легкий пулемет M249, 7,62-мм пулемет T74 местного производства, а также 12,7-мм крупнокалиберный пулемет QCB. Для борьбы с транспортными средствами на ДУМ можно установить легкий противотанковый гранатомет M72 или французский легкий гранатомет APILAS. Кроме основного вооружения машина огневой поддержки также оборудована встроенной системой дневных/ночных камер и лазерным дальномером, которые передают на консоль оператора видео и тактические данные в реальном времени [28].

3.3 Робототехнические комплексы сопровождения и тылового обеспечения

Помимо роботов для непосредственного участия в боевых действиях, инженерами США и других технологически развитых стран активно прорабатываются вопросы использования робототехнических средств для решения небоевых задач, таких как: тыловое и медицинское обеспечение, сопровождение грузов и др. Вскоре на каждого американского солдата может приходиться до 10 роботов обеспечения, способных на многое – от патрулирования местности и транспортировки снаряжения до прикрытия солдат на поле боя.

Так, между агентством передовых оборонных технологий Пентагона, и DARPA в 2010 году был подписан контракт на разработку для морской пехоты системы поддержки отряда LS3 (Legged Squad Support System), больше известную как AlphaDog или BigDog. Планировалось, что данная система позволяла бы перемещать по пересечённой местности грузы, предназначенные для снабжения участвующих в боевых действиях подразделений спецназа и морской пехоты [29].

Робот-мул BigDog должен переносить на себе грузы массой до 180 кг на дальность до 32 км. Кроме того, его можно использовать в качестве источника энергии для портативных устройств. Однако затраченные на создание робота 42 млн. долларов не окупились. Испытания, проведенные летом 2014 года в ходе учений «Римпак-2014», выявили у него ряд проблем. «Проведённые учения с использованием роботов BigDog показали, что их применение затрудняет действия подразделений при выполнении боевых заданий. Связано это в первую очередь с ограниченными возможностями этих роботов, – заявил представитель корпуса морской пехоты К. Олсон. Кроме этого, это слишком шумный робот, который полностью демаскирует позиции и перемещения морских пехотинцев».

Командование морской пехоты не устроила и облегчённая версия робота BigDog – Spot. Его нагрузка не более 18 килограммов, и поэтому он не подошёл морпехам в качестве транспортного средства, хотя у он обладает рядом достоинств. На испытаниях Spot карабкался по каменистым холмам, продирался через лесную чащу и ориентировался в условиях городских улиц. Дистанционно управляемый робот примерил на себя и роль разведчика, изучая обстановку, до того как в здание войдут солдаты. Управление осуществляется с помощью обычного игрового контроллера от приставки Xbox, подключённого к ноутбуку [29].

Несмотря на успешное создание прототипов BigDog и Spot, DARPA отказалось от проекта робота LS3. Однако технологии, отработанные при их создании компанией Boston Dynamics, заинтересовали корпорацию Google. Созданные новые технологии дают ей хорошую возможность работать по другим направлениям. Опять-таки по заказу DARPA она совершенствует уже созданных ею человекоподобных роботов Atlas (Agile Anthropomorphic Robot) и PETMAN (Protection Ensemble Test Mannequin) [29].

Atlas предназначен для передвижения по пересечённой местности. Робот передвигается на двух ногах, может использовать руки для переноса груза или при карабканье на вертикальные препятствия. Рост робота составляет 188 см, ширина плеч – 76 см, вес – около 150 кг. PETMAN используется для тестирования защитных костюмов. Он симулирует дыхание, потоотделение и изменения температуры тела в зависимости от количества и типа физических нагрузок. Очевидно, что его дальнейшее усовершенствование может открыть путь к разработке нового поколения человекоподобных роботов [29].

Недавно Boston Dynamics получила официальный контракт от американского оборонного института Sandia на создание военного робота PUH (Precision Urban Hopper – «высокоточный городской кузнечик»). По замыслу заказчиков, полнофункциональный PUH будет представлять собой небольшого четырёхколёсного робота, способного автономно перемещаться и даже перепрыгивать через препятствия. Мощная толчковая «нога» позволит ему преодолевать преграды высотой до 7,5 м! Лёгкая колёсная платформа PUH идеально подходит для передвижения в городских условиях и позволяет доставить необходимый груз в нужную точку [29].

Следует подчеркнуть, что Boston Dynamics далеко не единственная американская компания, с которой Пентагон сотрудничает в сфере военной робототехники. Об этом свидетельствует хотя бы тот факт, что среднегодовой объём финансирования НИОКР и закупок только наземных роботов будет составлять в ближайшие годы порядка 1,3-1,5 млрд. долларов. Таким образом, несмотря на нынешнюю экономическую непривлекательность многих проектов, а иногда и их бесперспективность, как это произошло с роботом BigDog, Пентагон продолжает проводить долгосрочную политику в области роботизированных и беспилотных средств вооружённой борьбы. Расчёт делается на то, что это позволит не только снизить численность армии, но и значительно повысить её боевые возможности [29].

4 Морские робототехнические комплексы

4.1 Общая характеристика надводных и подводных робототехнических комплексов

В настоящее время ведущими технически развитыми странами и, прежде всего, США в интересах ВМС активно ведутся работы в области создания безэкипажных наводных платформ и необитаемых подводных аппаратов. При этом, если в области создания полноценных необитаемых наводных платформ успехи, пока, достаточно скромны, то в области создания необитаемых подводных аппаратов (НПА) наметился ряд прорывных разработок. По всей видимости, в ближайшем будущем стоит ожидать прорыва в развитии НПА, сходного с революционным развитием и внедрением БПЛА.

За последние два-три десятилетия в различных странах, занимающих ведущее положение в области морских технологий, было создано значительное количество НПА военного назначения. За этот период НПА не только продемонстрировали свою эффективность при выполнении разведывательных, противоминных и обзорно-поисковых работ, но и открыли ряд новых важных применений. Достижения в науке и появление новых технологий непрерывно расширяют сферу применения НПА, и за последние 5-10 лет количество разработок автономных НПА выросло более чем 2 раза. На начало 2007 г. в мире насчитывалось более 155 проектов автономных НПА различного назначения. Однако их общее количество еще невелико и оценивается специалистами в пределах 550-650 единиц. Анализ содержания НИОКР Министерства обороны США показывает, что в настоящее время существует не менее 10 крупных целевых программ, ориентированных на создание робототехнических комплексов на основе НПА. В рамках этих программ изучаются, разрабатываются и совершенствуются примерно 65-70 проектов НПА различных типов и размеров, а также формируются военно-технические концепции их применения [10].

Помимо разработки НПА ведутся работы в области создания надводных необитаемых аппаратов, однако, не столь активно. Так, в настоящее время в Израиле ведутся испытания сразу двух видов безэкипажных плавательных аппаратов. Один из них – боевой катер «Протектор» разработки РАФАЭЛ, на который инженеры установили всю необходимую аппаратуру для обнаружения морских целей. Катер создан на базе фиберглассового десантного катера, способного нести более 1 т груза и который предназначен для использования израильскими морскими коммандос. В настоящее время на нем установлен пулемет калибром 7,62 мм, однако в будущем предполагается, что катер сможет нести значительно более тяжелое вооружение [9].

В 2003 году во время операции «Свобода Ираку» для решения различных задач ВМС США уже применялись необитаемые морские аппараты, а позднее в рамках программы МО США по демонстрации технических возможностей перспективных образцов вооружения и техники в том же Персидском заливе проводились эксперименты по совместному применению аппарата SPARTAN и крейсера УРО «Геттисберг» в интересах ведения разведки [3].

В настоящее время к основным задачам необитаемых морских аппаратов относят [3]:

- противоминную борьбу в районах действия авианосных ударных групп (АУГ), портов, военно-морских баз и др. Площадь такого района может варьироваться от 180 до 1800 кв. км;
- противолодочную оборону, включающую задачи по контролю за выходами из портов и баз, обеспечение защиты авианосных и ударных групп в районах развертывания, а также при переходах в другие районы;
- обеспечение безопасности на море, предусматривающее защиту военно-морских баз и соответствующей инфраструктуры от всех возможных угроз, включая угрозу террористической атаки;
- участие в морских операциях;
- обеспечение действий сил специальных операций (ССО);
- радиоэлектронную войну и др.

Для решения всех вышеуказанных задач могут применяться разнообразные типы дистанционно-управляемых, полуавтономных или автономных морских надводных аппаратов. Так, при решении задач противолодочной обороны 6 надводных автономных морских аппаратов способны обеспечить безопасное развертывание АУГ, действующей в районе 36×54 км. При этом, вооружением гидроакустических станций с дальностью действия 9 км обеспечивается 18-километровая буферная зона вокруг развернутой АУГ.

Помимо степени автономности в ВМС США используется классификация по размерам и особенностям применения, позволяющая систематизировать все разрабатываемые необитаемые морские аппараты по четырем классам [3]:

- X-Class представляет собой небольшой (до 3 м) необитаемый морской аппарат для обеспечения действий ССО и изоляции района. Такой аппарат способен вести разведку для обеспечения действий корабельной группировки и запускаться даже с 11-метровых надувных лодок с жестким каркасом;
- Harbor Class – аппараты такого класса разрабатываются на базе стандартной 7-метровой лодки с жестким каркасом и предназначены для выполнения задач обеспечения морской безопасности и ведения разведки, кроме того, аппарат может оснащаться различными средствами летального и нелетального воздействия. Скорость превышает 35 узлов, а автономность – 12 ч;
- Snorkeler Class представляет собой 7 м полупогружной аппарат, предназначенный для противоминной борьбы, противолодочных операций, а также обеспечения действий ССО ВМС. Скорость аппарата достигает 15 узлов, автономность – 24 ч;
- Fleet Class – это 11 м с жестким корпусом, разработанный для противоминной борьбы, противолодочной обороны, а также участия в морских операциях. Скорость аппарата варьируется от 32 до 35 узлов, автономность – 48 ч.

Аналогичная классификация существует и у НПА.

Сама необходимость разработки и принятия на вооружение морских необитаемых аппаратов для ВМС США определена рядом официальных документов как собственно ВМС, так и вооруженных сил в целом. Это «Морская мощь 21» (Sea Power 21, 2002), «Всесторонний обзор состояния и перспектив развития ВС США» (Quadrennial Defense Review, 2006), «Национальная стратегия морской безопасности» (National Strategy for Maritime Security, 2005), «Национальная военная стратегия» (National Defense Strategy of the United States, 2005) и др. [3].

Широкое внедрение в ВМС США робототехнических комплексов базируется на сетецентрических технологиях, которые позволяют повысить оперативность и эффективность боевого управления и взаимодействия мобильных соединений флота с силами и средствами морского базирования как в наступательных, так и в оборонительных операциях. Пример включения средств ВМС в общую сеть в соответствии с концепцией «Единая сеть ВМС (FORCEnet)» представлен на рис. 2 [18, 31].

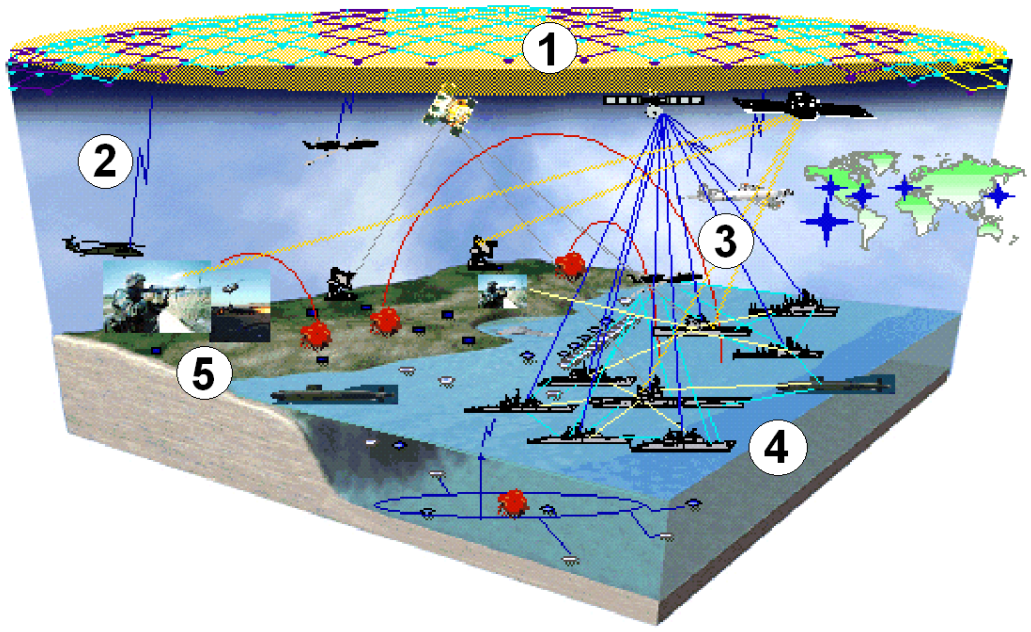


Рис. 2. Реализация концепции «Единая сеть сил ВМС» [31]:
1 – единая коммуникационная сеть;
2 – ведение непрерывного наблюдения средствами разведки, объединенными в сеть;
3 – каналы связи и передачи информации;
4 – единая сеть обмена информацией и система идентификации своих сил;
5 – полное взаимодействие с другими родами войск и военными структурами.

Отдельная существенная роль в сетецентрической системе ВМС отводится необитаемым аппаратам, поставляющим информацию о вражеских территориях и акваториях, а также выступающих в качестве боевых платформ. Информация, полученная роботами, поступает на бортовые компьютеры автоматизированной системы боевого управления сил, участвующих в операции, которые находятся в «едином информационном боевом

пространстве». При этом наблюдается характерная тенденция к расширению взаимодействия между необитаемыми подводными и надводными аппаратами и развертываемыми наземными, подводными (находящимися в толще воды), донными, а также воздушными системами необслуживаемых датчиков.

В целом, организация обмена информацией между надводными и подводными датчиками, аппаратами и носителями на основе сетецентрического подхода представлена на рис. 3 [31, 36].

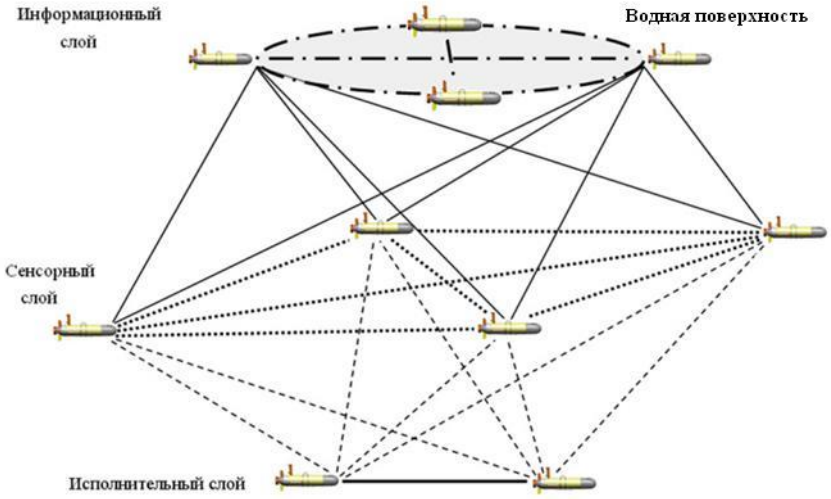


Рис. 3. Организация обмена информацией между надводными и подводными датчиками, аппаратами и носителями
на основе сетецентрического подхода [31, 36]

При сетецентрическом принципе управления морскими робототехническими комплексами, информационный слой может состоять из всплывающих на поверхность НПА, надводных роботизированных аппаратов, БПЛА, буев или надводных кораблей обеспечения в различных сочетаниях. Сенсорный слой формируется группой НПА, оснащенных аппаратурой освещения и анализа обстановки, а также многоканальными средствами связи и навигации. В свою очередь аппараты, составляющие исполнительный слой, выполняют конкретные поставленные перед группой НПА задачи (например, физическое уничтожение обнаруженных мин).

Таким образом, в рамках внедрения концепции сетецентрической войны круг задач, возлагаемых на надводные и подводные робототехнические комплексы, существенно расширяется. Во многом это определяется возрастающим значением таких присущих им качеств, как скрытность действий, автономность и способность нести разнообразную полезную нагрузку. В этой связи возможны следующие направления применения надводных и подводных необитаемых аппаратов, которые рассмотрены в работе [10].

1. Скрытное оборудование акваторий театра военных действий, в том числе и в территориальных водах вероятного противника, элементами радиоэлектронных систем различного назначения, а именно:

- системами гидроакустической навигации и связи для обеспечения боевой деятельности подводных лодок, НПА и подводных средств движения подразделений боевых пловцов;
- системами (либо элементами систем) освещения подводной обстановки;
- системами ведения радиотехнической разведки.

2. Применение НПА в качестве элемента системы освещения обстановки:

- размещение на борту НПА гидроакустических станций (ГАС) дальнего обнаружения с гибкой протяженной буксируемой антенной и системой гидроакустической связи для совместных действий с маневренными и стационарными гидроакустическими средствами;
- размещение на борту НПА излучающей антенны для гидроакустической «подсветки» целей;
- размещение на борту НПА ГАС ближнего радиуса действия в интересах обеспечения собственной безопасности.

3. Сбор, обобщение и доставка геофизической информации, в том числе: информации о гидрометеорологическом режиме, гидрофизических и гидролого-акустических полях, геоморфологии морского дна, характере береговой черты и др. в интересах достоверной оценки и прогноза эффективности применения высокоточного оружия. Элементами этой системы могут являться распределенные в пространстве датчики, размещаемые на борту НПА, либо стационарно на грунте, а также дрейфующие в толще воды и на поверхности.

4. Поддержание технического состояния различных систем долговременного действия (например, универсальных подводных автономных модулей и станций):

- диагностика их технического состояния;
- коррекция программного обеспечения;
- зарядка источников питания.

5. Защита от несанкционированного доступа к развернутым системам и средствам и их информационным потокам.

6. Обеспечение стыковки информационных потоков, поступающих от различных систем освещения обстановки (радиоэлектронной, гидроакустической, оптоэлектронной и др.), а также глобальных информационных центров и центров управления, с каждой «боевой единицей» (подводной лодкой, надводным кораблем, самолетом, вертолетом, БПЛА, НПА, разведывательно-диверсионной группой).

Ряд возможных применений необитаемых надводных и подводных аппаратов в военных целях проиллюстрирован на рис. 4-7 [31, 37]. На них введены следующие дополнительные обозначения: НК – надводный корабль; ННА – необитаемый надводный аппарат; КА – космический аппарат; ГАС – гидроакустическая станция; ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи; СРНС – спутниковая радионавигационная система.

Рис. 4. Применение НПА и ННА для освещения оперативной обстановки [31, 37]

Рис. 5. Применение НПА в целях противолодочной обороны [31, 37]

Рис. 6. Применение НПА для поиска и уничтожения мин [31, 37]

Рис. 7. Применение НПА при развертывании подводной связи [31, 37]

В ВМС США в рамках внедрения концепции сетецентрической войны за последние 5-10 лет значительная часть программ исследований и разработок была ориентирована на отработку элементов распределенной системы освещения подводной обстановки в прибрежных мелководных районах. По замыслу американских военных, создание такой системы позволит вести продолжительное наблюдение за подводной обстановкой, своевременно обнаруживать и распознавать подводные цели на акватории общей площадью

до 100-200 тыс. км^2, а ее оперативное развертывание будет обеспечивать эффективное решение следующих задач [10]:

- формирование противолодочных барьеров на маршрутах развертывания подводных сил противника;
- повышение живучести ракетных подводных лодок;
- охрана авианосно-ударных групп, корабельных поисково-ударных групп, десантных соединений и конвоев от многоцелевых подводных лодок противника;
- защита морских коммуникаций от подводных лодок противника;
- подготовка скрытого проведения специальных операций (например таких как: минирование, разведка, наблюдение, высадка диверсионно-разведывательных групп).

Официально объявленной американским военным руководством целью создания распределенной системы освещения подводной обстановки является защита от угроз действия дизельных подводных лодок потенциального противника в своих прибрежных водах. Высокая оперативность ее развертывания в заданных районах будет обеспечиваться подводной лодкой, выступающей в качестве носителя автономных стационарных и мобильных измерительных средств системы [10, 31].

Существующие в США планы развития необитаемых подводных аппаратов предполагают их стремительную интеллектуализацию, которая приведет к возникновению принципиально нового класса устройств, которые смогут самостоятельно производить поиск подводных и надводных объектов противника, идентифицировать их и уничтожать, при этом оставаясь практически незаметными для самого противника (рис. 8).

Рис. 8. План развития морских роботизированных систем США до 2034 года [31, 38]

В генеральном плане развития НПА, выпущенном в 2004 году [39], были обозначены девять высокоприоритетных задач, которые обеспечивают действия в четырех направлениях, определенных планом «Морская мощь 21». В порядке приоритетности данные девять задач представлены ниже [31]:

1. разведка;
2. противоминная борьба;
3. противолодочная оборона (ПЛО);
4. осмотр и идентификация подводных объектов;
5. океанография;

6. обеспечение связи и поддержка навигационных сетей;
7. подводная доставка грузов;
8. информационные операции;
9. обеспечение внезапности удара.

Таким образом, можно констатировать, что текущий этап развития необитаемых морских аппаратов характеризуется созданием базовой основы для долговременного развития этого направления подводной техники. Основные разработки по всем направлениям развития надводных и подводных аппаратов активно проводятся в США, однако целый ряд других стран, в том числе входящих в блок НАТО, также имеют существенные наработки в данной области. При этом реализация планов развития НПА военного назначения может привести к революционным изменениям в конструктивном облике подводных лодок, а также к существенному изменению тактики их действий.

Дополнительные сведения о тенденциях развития и тактико-технических характеристиках необитаемых надводных и подводных аппаратов изложены в работах [3, 9, 10, 30, 31, 32, 43].

4.2 Перспективные разработки разведывательно-ударных необитаемых подводных и гибридных аппаратов

Рассмотрим основные тенденции и перспективные разработки в области создания и применения НПА на основе соответствующих проектов в ВМС США.

Автономный НПА типа «Manta». С 1996 г. НИЦ подводной войны ВМС США – NUWC (Naval Undersea Warfare Center) реализует программу UUVI (Unmanned Undersea Vehicle Initiative), направленную на разработку перспективных автономных НПА нового поколения. Согласно концепции, получившей наименование «Manta», НПА будет способен решать следующие задачи [10]:

- обнаружение и уничтожение подводных лодок, мин и других подводных целей с применением тяжелых и легких торпед, неуправляемых ракет, а, в перспективе, и высокоскоростных (суперкавитирующих) боеприпасов;
- ведение гидроакустической, радиотехнической и оптико-электронной разведки;
- установка быстро развертываемых позиционных, мобильных и дрейфующих линейных антенн, низкочастотных гидроакустических излучателей, необслуживаемых подводных датчиков длительного действия и др., а также прибрежных систем обнаружения подводных лодок;
- осуществление широкополосной цифровой звукоподводной связи, управление распределенной сетью датчиков, ретрансляция данных от выдвинутых к побережью систем разведки и обнаружения подводных лодок на корабельные и береговые командные центры и центры тактической поддержки;

- развертывание малогабаритных автономных НПА для решения обеспечивающих и специальных задач;
- сбор гидрологических и океанографических данных, картографирование морского дна в интересах боевого обеспечения действий подводных лодок и надводных кораблей.

Аппаратами типа Manta планируется вооружить атомные подводные лодки типа Virginia, а также многоцелевые атомные подводные лодки перспективных проектов. Эти лодки будут нести 4 разведывательно-ударных НПА, размещенных в носовой части в нишах легкого корпуса. В печати отмечается, что большинство концептуальных и технологических решений, необходимых для реализации с помощью НПА вышеуказанных задач, уже разработано или находится на заключительном этапе разработки. Кроме того, определены две концепции создания НПА Manta [10].

Первая концепция, получившая наименование Proud conformal, предусматривает постройку НПА длиной 15 м, оснащенного 2 маршевыми движителями, 4 подруливающими устройствами, а также бортовым оборудованием управления и энергообеспечения. Аппарат данного типа будет способен нести полезную нагрузку (разведывательно-ударный модуль) массой до 8 т. В состав модуля войдут средства гидроакустической, радиотехнической и оптико-электронной разведки, 6-8 малогабаритных, 2 легкие и 2 тяжелые торпеды, а также их пусковые установки [10].

Вторая концепция, названная Integrated conformal (получила обозначение Super Manta), рассматривает возможность создания аппарата длиной 25 м, водоизмещением 90 т, способного нести полезную нагрузку массой до 14 т [10].

Испытания экспериментального образца НПА Manta ведутся с 1999 г. Исследовались варианты комплектации модуля полезной нагрузки и тактики применения НПА (вплоть до его перезарядки торпедами на плавбазе снабжения атомных подводных лодок). На морских испытаниях двухсторонняя, подводная связь аппарата с обеспечивающим судном осуществлялась с помощью универсального акустического модема, разработанного специалистами института в Woods Hall (скорость передачи данных составила 1,75 кБит/с), затем обеспечивающее судно через спутниковый канал связи ретранслировало полученные данные на береговой узел связи. В 2001 г. исследовались возможности ведения аппаратом радиотехнической и оптоэлектронной разведки. В частности, проводились испытания выдвижного подъемно-мачтового устройства с антенной обнаружения радиолокационных сигналов, разработанного фирмой «Sean Sea Tea». Проводились испытания трех видеокамер: одной – переднего обзора и двух – бокового. Испытывалась инфракрасная аппаратура фирмы «Sensor Unlimited», установленная в верхней части вертикального стабилизатора (ниже ее была вмонтирована обычная видеокамера для сравнения результатов). Изображение подводной обстановки от цифровых видеокамер передавалось по каналу гидроакустической связи на обеспечивающее судно и далее по спутниковому каналу связи ретранслировалось на атомную подводную лодку Prowidens, находящуюся в доке (на данной подводной лодке развернут пост управления НПА). Известно,

что оператор наблюдал изображение подводной обстановки на мониторе, мог управлять маневрированием аппарата и активизировать командами необходимые программы [10].

В одном из вариантов полезной нагрузки разведывательно-ударного НПА Manta предусматривается оснащение его пусковой установкой для скоростных кавитирующих боеприпасов нового образца. На испытаниях в 2002 г. продолжалась отработка вариантов компоновки торпедного оружия, в том числе изучалась способность НПА нести сверхскоростные боеприпасы (программа Supercav). Также исследовались и оценивались с учетом технического риска различные варианты стыковки аппарата с подводной лодкой, проблемные вопросы пуска, управления и обратного приема аппарата на ходу, а также взаимное влияние этих операций на гидроакустические средства подводной лодки и аппарата [10].

В качестве примера гибридного необитаемого аппарата, который можно отнести как к подводному, так и надводному классу, можно привести аппарат, получивший наименование ACTUV (Anti-submarinewarfare Continuous Trail Unmanned Vessel). Общий вес аппарата составит около 157 т. Длина корпуса составит примерно 19 м., при этом корпус судна в рабочем состоянии будет практически полностью погружен под воду, а над поверхностью воды останется только небольшая часть (арка), внутри которой будут расположены системы связи с оператором. Планируется, что судно будет развивать максимальную скорость до 35 узлов при автономности функционирования на срок до 30 суток [10, 40].

4.3 Перспективные разработки многоцелевых реконфигурируемых автономных необитаемых подводных аппаратов

В ВМС США ведется программа разработки многоцелевых автономных НПА – MRUUV (Multi Mission Reconfigurable Unmanned Undersea Vehicle). Они предназначены для применения с подводных лодок и будут способны обеспечивать решение широкого круга задач в интересах корабля-носителя, оперативных формирований флота и высшего командования. Автономный НПА типа MRUUV имеет следующие тактико-технические характеристики: длина 6,06 м, диаметр 0,533 м; масса 1360 кг; предельная глубина погружения 300 м; минимальная рабочая глубина 12 м; скорость хода 8 узлов; мощность гребного электродвигателя 1,5 кВт (один винт в насадке с изменяемым вектором тяги). Автономность аппарата зависит от типа применяемых источников электрической энергии (16 ч с литиево-ионной аккумуляторной батареей и более 60 ч с батареей одноразовых литиевых источников тока). В состав бортового навигационного комплекса входят: ИНС, приемники GPS, доплеровский лаг и гидроакустическая навигационная система. В состав бортовой аппаратуры входят: гидроакустическая система высокоточного картографирования дна и обнаружения препятствий L-PUMA, средства радиотехнической и оптоэлектронной разведки, пассивные и активные ГАС

поиска целей и выдачи целеуказания оружию, а также аппаратура радио- и гидроакустической связи [10].

Аппарат типа MRUUV состоит из 7 отсеков:

- носовая (первая) секция включает сонар и гидроакустическую систему связи;
- вторая секция включает системы управления, навигации, связи и распределения энергии;
- третья секция включает оборудование GPS, спутниковой связи, антенны радиосвязи с подъемно-мачтовым устройством, якорное устройство и носовую балластную цистерну;
- четвертая секция имеет объем для размещения полезной нагрузки объемом до 36 л со стандартными интерфейсами;
- пятая секция включает балластный насос, клапанный блок и кормовую балластную цистерну;
- шестая секция включает источник электрической энергии с обеспечивающими системами;
- седьмая (кормовая секция) включает электродвигатель и ряд вспомогательных систем.

Сами аппараты MRUUV и их корабельное оборудование на период выполнения боевой задачи размещаются на стеллажах торпедного отсека подводных лодок типов Los Angeles и Virginia, что уменьшает боекомплект последних на 8-10 ед. оружия. Запланирована поставка 11 комплексов НПА MRUUV (в состав одного комплекса входит один НПА со сменными отсеками) и дополнительно к ним еще 31 НПА. Завершение этапов НИОКР и испытаний комплекса MRUUV запланировано на 2016 г. На реализацию программы в 2009 году запланировано выделение ассигнований в размере 30,1 млн. долл. [10].

Еще большими возможностями и гибкостью применения будет обладать крупный НПА типа MRUUV-L, разработка которого ведется в рамках второго этапа программы (2007-2014 годы). Этот аппарат, имеющий, по предварительным оценкам, длину до 11 м, ширину до 2 м и массу около 70 т, будет способен развивать скорость хода 18-25 уз. В рамках программы создания многоцелевых реконфигурируемых автономных НПА типа MRUUV-L прорабатываются следующие 7 вариантов их технического оснащения применительно к различным носителям [10]:

- ISR Mission Reconfigurable Modules – модули полезной нагрузки и навесного оборудования для решения задач разведки, освещения надводной и подводной обстановки;
- Detect/Engage Mission Reconfigurable Modules – модули полезной нагрузки для обнаружения целей, целеуказания и наведения оружия, а также комплекс боевого оснащения (минное и торпедное вооружение);
- COMMs Relay Mission Reconfigurable Modules – модули полезной нагрузки для организации надводной и подводной связи (радио и гидроакустические модемы). Предусматривается возможность функционирования оборудования в режимах ретранслятора (т. е. точки

доступа) и беспроводного телекоммуникационного концентратора (шлюза) для радио- и гидроакустических каналов связи;
- MIW Mission Reconfigurable Modules – полезная нагрузка для решения задач минной войны: выполнение противоминных действий (разведывательный поиск мин и картографирование минных заграждений, уничтожение мин) или постановки минных заграждений;
- ASW Mission Reconfigurable Modules – модули полезной нагрузки для решения задач противолодочной обороны, включающие аппаратуру и буксируемые средства для обнаружения, классификации и идентификации подводных лодок, средства постановки активных помех и пусковые устройства для легких противолодочных торпед;
- ASUW Mission Reconfigurable Modules – модули полезной нагрузки для борьбы с подводными лодками противника;
- Search & Survey Mission Reconfigurable Modules – модули полезной нагрузки для проведения поисковых и осмотровых работ.

Наряду с выполнением перечисленных выше задач, НПА MRUUV-L сможет выступать в качестве носителя малогабаритных БПЛА и мини-НПА, развертывать многочисленные подводные системы, а также эффективно вести сбор и передачу разведывательных данных [10].

4.4 Перспективная система освещения подводной обстановки на основе необитаемых подводных аппаратов

Один из вариантов построения автономной информационно-измерительной сети подводного наблюдения рассматривается в рамках комплексной программы ВМС США – PLUSNet (Persistent Littoral Undersea Surveillance Network). К числу основных задач, решаемых в рамках программы PLUSNet, относятся освещение подводной обстановки [10]:
- отработка способов и технических средств, необходимых для развертывания мобильных и стационарных узлов сети с борта подводной лодки в заданном районе;
- экспериментальная оценка возможностей измерительных средств мобильных и стационарных измерительных средств сети по достоверному и своевременному обнаружению подводных целей в охраняемом районе. (Большой объем исследований по данному направлению выполняется по программе UPS (Undersea Persistent Surveillance));
- демонстрация возможностей автоматического формирования беспроводной сети стационарных и мобильных абонентов, точек доступа, средств сбора и передачи информации с использованием гидроакустических и радиочастотных каналов связи (большая часть технических вопросов в данном направлении отрабатывалась в ходе реализации программы SeaWeb).

В состав стационарных средств, отрабатываемых в рамках проекта PLUSNet, входят следующие компоненты [10]:

- заякоренные подповерхностные буи. Каждый буй оснащен вертикальной многоэлементной протяженной гидроакустической антенной длиной 75 м (пассивная ГАС с вертикальной многоэлементной антенной «Kelp») и малогабаритным гидроакустическим модемом);
- донные станции, каждая из которых имеет две протяженные горизонтальные антенны с гидроакустическими и электромагнитными датчиками (для измерения вектора гидроакустического и параметров электромагнитного полей) и малогабаритный модем гидроакустической связи.

В состав мобильных средств, отрабатываемых в рамках проекта PLUSNet, входит группировка, состоящая из 5 проектов автономных НПА [10]:

- автономные НПА торпедообразной формы с пропульсивными установками на основе гребных электродвигателей (проекты Bluefin 21, BPAUV, Odyssey III и Seahorse);
- автономные НПА планерной формы с системой движения, основанной на изменении собственной (остаточной) плавучести аппаратов (проекты Seaglider, Slocum Glider, XRay).

Автономный НПА «Bluefin 21» является носителем низкочастотной гидроакустической буксируемой антенной решетки, состоящей из 21 низкочастотного гидрофона. «Большой» автономный НПА Sea Horse является носителем низкочастотной пассивной ГАС «LUPA» (с антенной решеткой, размещенной по бортам аппарата). Большой автономный НПА – планер XRay является носителем среднечастотной ГАС, антенные решетки которой вмонтированы в переднюю кромку крыльев аппарата. Автономный НПА – планер Sea Glider является носителем ГАС с направленными гидрофонами, а также датчиков измерения параметров водной среды (температуры, давления и солености) [10].

При боевом применении системы PLUSNet предполагается, что сетевое оборудование должно скрытно доставляться и разворачиваться в непосредственной близости от побережья атакуемой страны. Например, ПЛАРБ типа Ohio, переоборудованные как носители крылатых ракет Tomahawk (далее ПЛАРК), могут быть адаптированы как носители группировки НПА и другого оборудования сети PLUSnet [10].

Проект PLUSnet предусматривает размещение материальной части в 5 модулях полезной нагрузки, которые загружаются в переоборудованные ракетные пусковые шахты. В модулях находятся [10]:

- 1 большой автономный НПА типа Sea Horse;
- 1 большой автономный НПА-планер типа XRay;
- 6 автономных НПА типа Bluefin 21;
- 18 автономных НПА–планеров типа Sea Glider;
- 9 контейнеров с разворачиваемыми протяженными гидроакустическими антеннами.

Последовательное извлечение всех НПА из ракетной шахты, старт аппаратов и их возвращение в шахту обеспечиваются при помощи универсального модуля URLM (Universal Launch and Recovery Module).

В качестве иллюстрации последних разработок американских специалистов в направлении PLUSnet можно привести комплекс DADS (Deployable Autonomous Distributed System). Развертываемая автономная протяженная система DADS – это акустический комплекс быстрого реагирования рубежного типа, оперативно разворачиваемый для защиты гаваней, заливов или бухт дислокации подводных лодок в любой прибрежной акватории. Концепция построения этого комплекса приведена на рис. 9 [31]. При этом количество НПА в комплексе определяется протяженностью рубежа наблюдений [31].

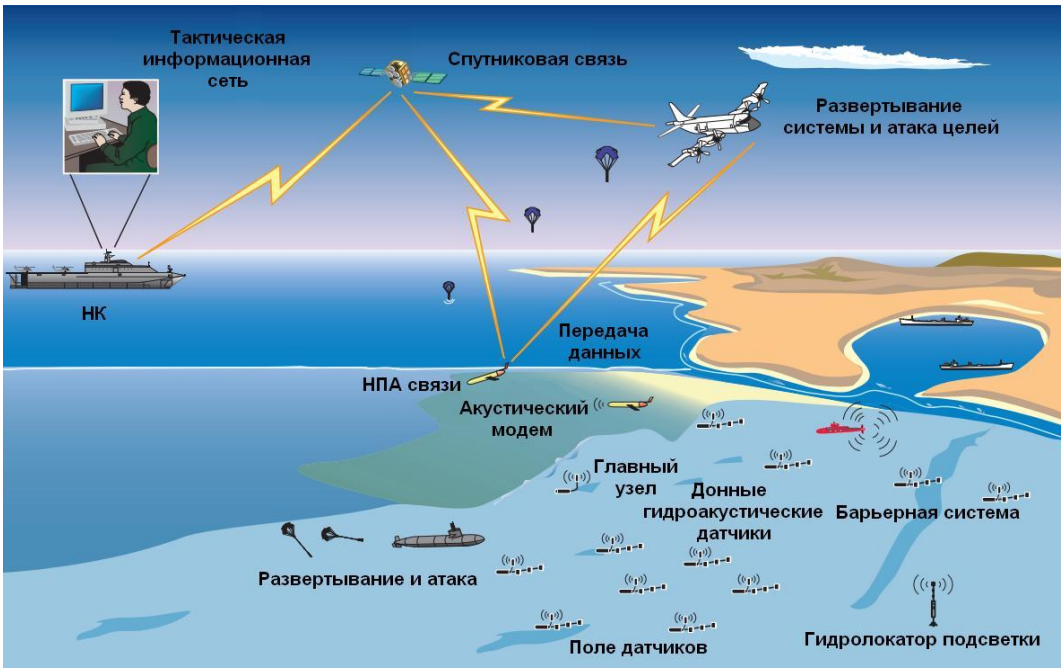


Рис. 9. Концепция построения комплекса DADS [31, 41]

В качестве иллюстрации взаимодействия между элементами подобной информационно-измерительной сети подводного наблюдения можно привести схему (рис. 10) организации испытаний сети «Морская паутина» (англ. Seaweb network). Данные испытания проводились в рамках учений в Мексиканском заливе 1-8 февраля 2003 года [31, 42].

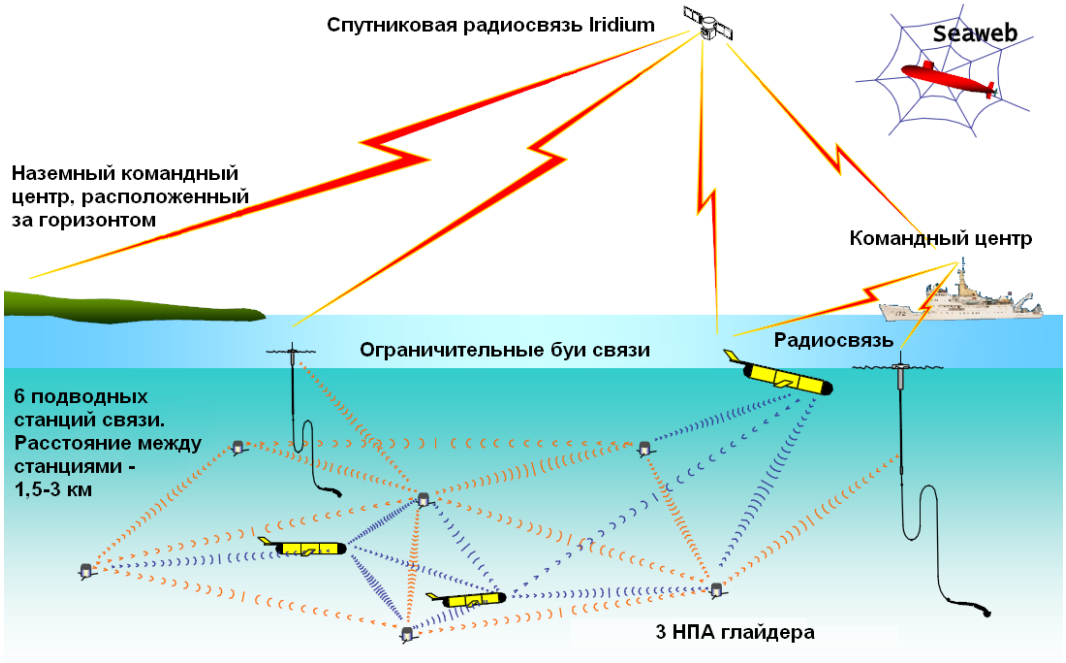


Рис. 10. Схема взаимодействия элементов «Морской паутины» [31, 42]

Таким образом, особое внимание активному применению развертываемых необслуживаемых датчиков, взаимодействующих с необитаемыми морскими аппаратами, предполагается уделить в сфере борьбы с подводными лодками противника в прибрежных водах США и их стран-союзников. Это связано с тем, что такие системы позволяют обеспечить ударные противолодочные силы гораздо более точным целеуказанием, чем это было раньше [31].

По мнению американских специалистов, создание подобных систем позволит вести продолжительное наблюдение за подводной обстановкой, своевременно обнаруживать и распознавать подводные цели на обширной акватории, а ее оперативное развертывание будет обеспечивать эффективное решение целого ряда важных стратегических задач [31].

Заключение

Проведенный в статье анализ показал, что ведущие технологически развитые страны (в том числе США, Россия, Великобритания, Франция, Китай, Израиль, Южная Корея), разрабатывают робототехнические комплексы, способные с высокой степенью автономности вести боевые действия без участия человека. В настоящее время активно развиваются робототехнические средства на основе БПЛА. Однако, анализ перспективных проектов показывает, что в недалеком будущем робототехнические комплексы, самого разного назначения, уверено займут свое место в наземной, в морской (как надводном, так и подводном) и даже в космической сфере военных действий. При этом уже сейчас можно констатировать, что широкое применение робототехнических комплексов приведет к коренному пересмотру основных принципов ведения войны, с учетом не только военно-технических ее аспектов, но и с учетом ее психологических факторов.

Литература

1. Буренок В. М., Ивлев А. А., Корчак В. Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы планирование, реализация. – Тверь: Издательство ООО «КУПОЛ», 2009. – 624 с.

2. Попов С. А. Робот стреляет первым // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 28.02.2016. – URL: https://topwar.ru/91499-robot-strelyaet-pervym.html (дата доступа 29.06.2016).

3. Кондратьев А. Е. Боевые роботы США – под водой, в небесах и на суше // Независимое военное обозрение [Электронный ресурс]. 14.05.2010. – URL: http://nvo.ng.ru/armament/2010-05-14/8_robots.html (дата доступа 23.06.2016).

4. Сизов В. Ю. Какие боевые роботы нужны России? // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 07.03.2016. – URL: https://topwar.ru/91962-kakie-boevye-roboty-nuzhny-rossii.html (дата доступа 29.06.2016).

5. Макаренко С. И. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие. – Ставрополь: СФ МГГУ им. М. А. Шолохова, 2009. – 206 с.

6. Попов И. М. Военные конфликты: взгляд за горизонт // Независимое военное обозрение [Электронный ресурс]. 12.04.2013. URL: http://nvo.ng.ru/concepts/2013-04-12/1_conflicts.html (дата доступа 28.01.2016).

7. Постников А. Н., Хамзатов М. М. Сухопутные войска будущего // Независимое военное обозрение [Электронный ресурс]. 11.09.2015. – URL: http://nvo.ng.ru/concepts/2015-09-11/4_future.html (дата доступа 23.02.2016).

8. Бобков Ю. Я., Тютюнников Н. Н. Концептуальные основы построения АСУ Сухопутными войсками ВС РФ: монография. – М.: Издательство «Палеотип», 2014. – 92 с.

9. Соколов Ю. И. Риски высоких технологий. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 312 с.

10. Сиденко К. С., Илларионов Г. Ю. Применение автономных подводных роботов в войнах будущего // Арсенал. Военно-промышленное обозрение. 2008. № 2. С. 86-93.

11. Боевые роботы в будущих войнах: выводы экспертов (Часть 1) // Независимое военное обозрение [Электронный ресурс]. 04.03.2016. – URL: http://nvo.ng.ru/armament/2016-03-04/1_robots.html (дата доступа 29.06.2016).

12. Боевые роботы в будущих войнах: выводы экспертов (Часть 2) // Зарубежное военное обозрение [Электронный ресурс]. 04.03.2016. – URL: http://nvo.ng.ru/armament/2016-03-04/5_robots2.html (дата доступа 29.06.2016).

13. 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.

14. Попов В., Федутинов Д. Тенденции развития систем передачи данных при использовании БЛА // Зарубежное военное обозрение. 2006. № 4. С. 47-51. – URL: http://pentagonus.ru/publ/11-1-0-128 (дата доступа 29.06.2016).

15. Рябов К. Новости проекта CBARS (США) // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 02.03.2016. – URL: https://topwar.ru/91693-novosti-proekta-cbars-ssha.html (дата доступа 29.06.2016).

16. Абросимов В. К. Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов в антагонистической среде. Монография. – М.: Наука, 2013. – 168 с.

17. Верба В. С., Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимальное групповое управление беспилотными летательными аппаратами в сетецентрической системе // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. № 11. С. 48-53.

18. Макаренко С. И., Бережнов А. Н. Перспективы использования сетецентрических технологий управления боевыми действиями и проблемы их внедрения в вооруженных силах Российской Федерации // Вестник академии военных наук. 2011. № 4. С. 64-68.

19. Настоящее и будущее беспилотной авиации. Часть 1 // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 25.01.2016. – URL: https://topwar.ru/89642-nastoyaschee-i-buduschee-bespilotnoy-aviacii-chast-1.html (дата доступа 29.06.2016).

20. Настоящее и будущее беспилотной авиации. Часть 2 // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 28.01.2016. – URL: http://topwar.ru/89909-nastoyaschee-i-buduschee-bespilotnoy-aviacii-chast-2.html (дата доступа 23.02.2016).

21. Полтавский А. В. Беспилотные летательные аппараты в системе вооружения // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2011. № 163. С. 163-170.

22. Чекунов Е. Применение БЛА ВС США в военных конфликтах // Зарубежное военное обозрение 2010. № 7. С. 41-50 – URL: http://pentagonus.ru/publ/primenenie_bla_vs_ssha_v_voennykh_konfliktakh/108-1-0-1597 (дата доступа 06.04.2016).

23. 2015: начало заката эры беспилотных летательных аппаратов // Новости ВПК [Электронный ресурс]. 16.01.2015. – URL: http://vpk.name/news/124839_2015_nachalo_zakata_eryi_bespilotnyih_letatelnyih_apparatov.html (дата доступа 06.04.2016).

24. Новичков Н. Зона действий – от Афганистана до Африки // Военно-промышленный курьер. 2012. № 6 (423). – URL: http://vpk-news.ru/articles/8619 (дата доступа 06.04.2016).

25. Living Under Drones: Death, Injury and Trauma to Civilians From US Drone Practices in Pakistan (Жизнь под беспилотниками: Смерти, ранения и травмы мирных пакистанцев в ходе операций американских беспилотников). 2012. – URL: http://livingunderdrones.org/wp-content/uploads/2012/09/Stanford_NYU_LIVING_UNDER_DRONES.pdf (дата доступа 06.04.2016).

26. Операции американских беспилотников в Пакистане сравнили с терактами // Lenta.ru [Электронный ресурс]. 25.09.2012. – URL: http://lenta.ru/news/2012/09/25/drones/ (дата доступа 06.04.2016).

27. 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.

28. Тайвань показал новую боевую ДУМ // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 28.12.2015. – URL: https://topwar.ru/88560-tayvan-pokazal-novuyu-boevuyu-dum.html (дата доступа 29.06.2016).

29. Бабинов В. И всё же «мул» помог // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 17.01.2016. – URL: https://topwar.ru/89265-i-vse-zhe-mul-pomog.html (дата доступа 29.06.2016).

30. Кондратьев А. Е. Роботы и люди. Сборник статей. 2012. [Электронный ресурс] – URL: http://pentagonus.ru/load/1/obshhie_voprosy/kondratev_roboty_i_ljudi_tom_3/18-1-0-830 (дата доступа 22.06.2016).

31. Красильников Р. В. Системы борьбы с необитаемыми аппаратами – асимметричный ответ на угрозы XXI века. – СПб.: Инфо-да, 2013. – 106 с.

32. Мосалев В. Дистанционно управляемые и автономные подводные аппараты ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. 2006. № 6. С. 56-66. – URL: http://pentagonus.ru/publ/27-1-0-431 (дата обращения 22.01.2016).

33. Иванов М. С., Аганесов А. В., Крылов А. А., Галлиев С. Ф., Агеев А. М., Легконогих Д. С., Березин А. В., Рябков П. В., Межуев А. М., Абросимов И. П. Беспилотные летательные аппараты: справочное пособие / Под. общ. ред. С.А. Попова. – Воронеж: Научная книга, 2015. – 619 с.

34. Щербаков В. В грядущих войнах дроны составят основной класс летательных аппаратов // Военно-промышленный курьер. 2012. № 36 (453). – URL: http://pentagonus.ru/publ/v_grjadushhikh_vojnakh_drony_sostavjat_osnovnoj_klass_letatelnykh_apparatov_2012/15-1-0-2240 (дата доступа 06.04.2016).

35. Клабуков И., Алехин М., Нехина А. Исследовательская программа DARPA на 2015 год (Review of DARPA FY 2015 Research Programs). – М., 2014. – 96 с.

36. Иванов А. И., Лазутина Н. А., Сахабетдинов И. У. Сетецентрические аспекты группового поведения автономных подводных аппаратов // Труды конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения». – М.: Институт проблем управления им. Трапезникова РАН, 2010. – С. 548-551.

37. Гаврилкин С.Н. Основные направления развития и существующие проблемы создания подводной робототехники «двойного» назначения // Труды Всемирной морской технологической конференции, СПб, 2012.

38. FY 2009-2034 Unmanned Systems Integrated Roadmap. – U.S. Department of Defence, 2009.

39. The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan. – USA, Department of the Navy, 2004.

40. McHenry R. ACTUV ASW Continuous Trail Unmanned Vessel Industry Day. – USA, DARPA, 2010.

41. Roy T. N. Deployable Autonomous Distributed System: Future Naval Capability in Undersea Warfare // SSC San Diego Biennial Review. Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance. 2003. Vol. 3.

42. Rice J. A. Seaweb as a DTN pilot application // IETF Meeting, DTNRG session, 2006.

43. Илларионов Г. Ю., Квашнин А. Г., Викторов Р. В. Применение автономных подводных роботов при отработке комплексов военно-морской техники и в боевой подготовке // Двойные технологии. 2011. № 2 (55). С. 54-62. – URL: http://pstmprint.ru/wp-content/uploads/2016/04/dt-2-10-2011.pdf (дата доступа 30.06.2016).

References

1. Burenok V. M., Ivlev A. A., Korchak V. Ju. *Razvitie voennykh tekhnologii XXI veka: problemy planirovanie, realizatsiia* [The progress of military technology of the XXI century: problems of planning, implementation]. Tver, KUPOL Publ., 2009. 624 p. (in Russian).

2. Popov S. A. Robot streliaet pervym [The robot shoots first]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 2016. Available at: https://topwar.ru/91499-robot-strelyaet-pervym.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

3. Kondratev A. E. Boevye roboty SShA – pod vodoi, v nebesakh i na sushe [Combat robots United States – under water, in the skies and on land]. *Nezavisimoe voennoe obozrenie* [Independent military review], 2010. Available at: http://nvo.ng.ru/armament/2010-05-14/8_robots.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

4. Sizov V. Ju. Kakie boevye roboty nuzhny Rossii? [What are military robots Russia need?]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 2016. Available at: https://topwar.ru/91962-kakie-boevye-roboty-nuzhny-rossii.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

5. Makarenko S. I. *Intelligent Information Systems*. Stavropol, Sholokhov Moscow State University for the Humanities (Stavropol branch), 2009. 206 p. (in Russian).

6. Popov I. M. Voennye konflikty: vzgliad za gorizont [Military conflicts: a look beyond the horizon]. *Nezavisimoe voennoe obozrenie* [Independent military review], 2013. Available at: http://nvo.ng.ru/concepts/2013-04-12/1_conflicts.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

7. Postnikov A. N., Khamzatov M. M. Sukhoputnye voiska budushchego [The army of the future]. *Nezavisimoe voennoe obozrenie* [Independent military review], 2013. Available at: http://nvo.ng.ru/concepts/2015-09-11/4_future.html (accessed 23 Feb 2016) (in Russian).

8. Bobkov Ju. Ja., Tiutiunnikov N. N. *Kontseptual'nye osnovy postroeniia ASU Sukhoputnymi voiskami VS RF: monografiia* [Concepts of ACS of Land forces of armed forces of the Russian Federation. The monograph]. Moscow, Paleotip Publ., 2014. 92 p. (in Russian).

9. Sokolov Ju. I. *Riski vysokikh tekhnologii* [Risks of high technology]. Moscow, All-Russian research Institute on problems of civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia (Federal centre), 2009. 312 p. (in Russian).

10. Sidenko K. S., Illarionov G. Iu. Primenenie avtonomnykh podvodnykh robotov v voinakh budushchego [The application of Autonomous underwater robots in future wars]. *Arsenal. Voenno-promyshlennoe obozrenie*, 2008, no. 2, pp. 86-93. (in Russian).

11. Boevye roboty v budushchikh voinakh: vyvody ekspertov (Chast' 1) [Fighting robots in future wars: the conclusions of the experts (Part 1)]. *Nezavisimoe voennoe obozrenie* [Independent military review], 2016. Available at: http://nvo.ng.ru/armament/2016-03-04/1_robots.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

12. Boevye roboty v budushchikh voinakh: vyvody ekspertov (Chast' 2) [Fighting robots in future wars: the conclusions of the experts (Part 2)]. *Nezavisimoe voennoe obozrenie* [Independent military review], 2016. Available at: http://nvo.ng.ru/armament/2016-03-04/5_robots2.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

13. Sidorin A. N. Prishchepov V. M., Akulenko V. P. *Vooruzhennye sily USA v XXI veke: Voenno-teoreticheskii trud* [The U.S. armed forces in the XXI century]. Moscow, Kuchkovo pole Publ., 2013. 800 p. (in Russian).

14. Popov V., Fedutinov D. Tendentsii razvitiia sistem peredachi dannykh pri ispol'zovanii BLA [Trends in the development of data transmission systems when using UAVs]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2006, no. 4, pp. 47-51. Available at: http://pentagonus.ru/publ/11-1-0-128 (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

15. Riabov K. Novosti proekta CBARS (USA) [Project news CBARS]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 2016. Available at: https://topwar.ru/91693-novosti-proekta-cbars-ssha.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

16. Abrosimov V. K. *Gruppovoe dvizhenie intellektual'nykh letatel'nykh apparatov v antagonisticheskoi srede. Monografiia* [Intelligent group movement of aircraft in an antagonistic environment. Monograph]. Moscow, Nauka Publ., 2013. 168 p. (in Russian).

17. Verba V. S., Merkulov V. I., Khar'kov V. P. Optimal group control of unmanned aerial vehicles in a network centric system. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy*, 2013, no. 11, pp. 48-53. (in Russian).

18. Makarenko S. I., Berezhnov A. N. Prospects of Use of Network-Centric Technologies of Combat Operations Control and Problems of Their Implementation in the Armed Forces of the Russian Federation. *Vestnik akademii voennykh nauk*, 2011, no. 4, pp. 64-68. (in Russian).

19. Nastoiashchee i budushchee bespilotnoi aviatsii. Chast' 1 [Present and future of unmanned aircraft. Part 1]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 2016. Available at: https://topwar.ru/89642-nastoyaschee-i-buduschee-bespilotnoy-aviacii-chast-1.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

20. Nastoiashchee i budushchee bespilotnoi aviatsii. Chast' 2 [Present and future of unmanned aircraft. Part 2]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 2016. Available at: http://topwar.ru/89909-nastoyaschee-i-buduschee-bespilotnoy-aviacii-chast-2.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

21. Poltavskii A. V. Unmanned Aircraft Vehicles in Weapon System. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, 2011, no. 163, pp. 163-170. (in Russian).

22. Chekunov E. Primenenie BLA VS SShA v voennykh konfliktakh [The use of UAVs for the U.S. forces in military conflicts]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2010, no. 7, pp. 41-50. Available at: http://pentagonus.ru/publ/primenenie_bla_vs_ssha_v_voennykh_konfliktakh/108-1-0-1597 (accessed 04 Apr 2016) (in Russian).

23. 2015: nachalo zakata ery bespilotnykh letatel'nykh apparatov [2015: the beginning of the decline of the era of unmanned aerial vehicles]. *Novosti VPK*, 2015. Available at: http://vpk.name/news/124839_2015_nachalo_zakata_eryi_bespilotnyih_letatelnyih_apparatov.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

24. Novichkov N. Zona deistvii – ot Afganistana do Afriki [The area of operations from Afghanistan to Africa]. *Voenno-promyshlennyi kur'er*, 2012, vol. 423, no. 6. Available at: http://vpk-news.ru/articles/8619 (accessed 04 Apr 2016) (in Russian).

25. *Living Under Drones: Death, Injury and Trauma to Civilians From US Drone Practices in Pakistan*. 2012. Available at: http://livingunderdrones.org/wp-content/uploads/2012/09/Stanford_NYU_LIVING_UNDER_DRONES.pdf (accessed 04 Apr 2016).

26. Operatsii amerikanskikh bespilotnikov v Pakistane sravnili s teraktami [The operation of U.S. drones in Pakistan, compared with the terrorist attacks]. *Lenta.ru*, 2012. Available at: http://lenta.ru/news/2012/09/25/drones/ (accessed 04 Apr 2016) (in Russian).

27. Vladimirov V. A., Lebedev A. V. Analiz sostoianiia i tendentsii razvitiia sovremennykh vidov oruzhiia [Analysis of status and trends of development of modern weapons]. *Strategiia grazhdanskoi zashchity: problemy i issledovaniia*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 61-80. (in Russian).

28. Taivan' pokazal novuiu boevuiu DUM [Taiwan showed a new military remote-controlled robot]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 2015. Available at: https://topwar.ru/88560-tayvan-pokazal-novuyu-boevuyu-dum.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

29. Babinov V. I vse zhe «mul» pomog [And yet, "the mule" helped]. *Voennoe obozrenie* [Military review], 2016. Available at: https://topwar.ru/89265-i-vse-zhe-mul-pomog.html (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

30. Kondratev A. E. *Roboty i liudi. Sbornik statei* [Robots and people]. 2012. Available at: http://pentagonus.ru/load/1/obshhie_voprosy/kondratev_roboty_i_ljudi_tom_3/18-1-0-830 (accessed 29 Jun 2016) (in Russian).

31. Krasil'nikov R. V. *Sistemy bor'by s neobitaemymi apparatami – asimmetrichnyi otvet na ugrozy XXI veka* [System for the suppression of uninhabited vehicles – an asymmetric response to threats of the XXI century]. Saint-Petersburg, Info-da Publ., 2013. 106 p. (in Russian).

32. Mosalev V. Distantsionno upravliaemye i avtonomnye podvodnye apparaty VMS zarubezhnykh stran [Remotely operated and Autonomous underwater vehicles, naval forces of foreign countries]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2006, no. 6, pp. 56-66. Available at: http://pentagonus.ru/publ/27-1-0-431 (accessed 22 Feb 2016) (in Russian).

33. Ivanov M. S., Aganesov A. V., Krylov A. A., Galliev S. F., Ageev A. M., Legkonogikh D. S., Berezin A. V., Riabkov P. V., Mezhuev A. M., Abrosimov I. P. *Bespilotnye letatel'nye apparaty: spravochnoe posobie* [Drones: a reference guide]. Voronezh, Nauchnaia Kniga Publ., 2015. 619 p. (in Russian).

34. Shcherbakov V. V griadushchikh voinakh drony sostaviat osnovnoi klass letatel'nykh apparatov [In the coming wars drones will constitute the main class of aircraft]. *Voenno-promyshlennyi kurer*, 2012, vol. 453, no. 36. Available at: http://pentagonus.ru/publ/v_grjadushhikh_vojnakh_drony_sostavjat_osnovnoj_klass_letatelnykh_apparatov_2012/15-1-0-2240 (accessed 06 Apr 2016) (in Russian).

35. *Review of DARPA FY 2015 Research Programs*. Moscow, 2014. 96 p. (in Russian).

36. Ivanov A. I., Lazutina N. A., Sakhabetdinov I. U. Setetsentricheskie aspekty gruppovogo povedeniia avtonomnykh podvodnykh apparatov [Network-centric aspects of the group behavior of Autonomous underwater vehicles]. *Trudy konferentsii «Tekhnicheskie i programmnye sredstva sistem upravleniia, kontrolia i izmereniia»* [Proc. "Tekhnicheskie programmnye and facilities of the system upravleniia, kontrolia and izmereniia"]. Moscow, Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov RAS, 2010. pp. 548-551. (in Russian).

37. Gavrilkin S. N. Osnovnye napravleniia razvitiia i sushchestvuiushchie problemy sozdaniia podvodnoi robototekhniki «dvoinogo» naznacheniia [The main directions of development and challenges of creating underwater robotics "double" assignment]. *Trudy Vsemirnoi morskoi tekhnologicheskoi konferentsii* [Proc. "World Maritime technology conference"], Saint-Petersburg, 2012. (in Russian).

38. *FY 2009-2034 Unmanned Systems Integrated Roadmap*. U.S. Department of Defence, 2009.

39. *The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan*. USA, Department of the Navy, 2004.

40. McHenry R. *ACTUV ASW Continuous Trail Unmanned Vessel Industry Day*. USA, DARPA, 2010.

41. Roy T. N. Deployable Autonomous Distributed System: Future Naval Capability in Undersea Warfare. *SSC San Diego Biennial Review. Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance*, 2003, vol. 3.

42. Rice J. A. Seaweb as a DTN pilot application. *IETF Meeting, DTNRG session*, 2006.

43. Illarionov G. Iu., Kvashnin A. G., Viktorov R. V. Primenenie avtonomnykh podvodnykh robotov pri otrabotke kompleksov voenno-morskoi tekhniki i v boevoi podgotovke [The application of Autonomous underwater robots in developing complexes of naval equipment and combat training]. *Dual technology*, 2011, vol. 55, no. 2, pp. 54-62. Available at: http://pstmprint.ru/wp-content/uploads/2016/04/dt-2-10-2011.pdf (accessed 30 Jun 2016) (in Russian).

Статья поступила 25 июня 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.

Military Robots – the Current State and Prospects of Improvement

S. I. Makarenko

Relevance. *Leading developed countries are developing robots which are able to combat operations without human intervention. The U.S. armed forces expect that the proportion of robots will be 30% of the total composition of combat vehicles by 2030. Thus, the combat capabilities of the units equipped with robots will increase in 2-2,5 times. Wide application of military robots will change the basic principles of warfare. These changes concern the technical aspects, the human-robot interaction, military tactics and strategy. Therefore, the analysis of the current state and prospects of improvement of robots for military purposes is relevant.* ***The aim of this paper*** *is the analysis of the current state and prospects of improvement of robots for military purposes.* ***Novelty.*** *The element of novelty of this paper is the general trend of improvement of robots for military use which have been identified in the analysis. Also novelty items, is trends of improvement of these robots in case their use in air, ground and sea (surface and underwater) areas.* ***Practical relevance.*** *The analysis presented can be used by technical specialists to justify new technological solutions in the field of robotics. Also, this analysis can be used military specialists for elaborate new forms and methods of armed struggle with the use of military robots.*

Key words: *robot, military robot, drone, unmanned air vehicles, unmanned ground vehicles, unmanned surface vehicles, unmanned underwater vehicles.*

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 519.876

Нормализация интервалов параметров и применение линейных диаграмм в сложных технологических системах

Юдицкий С. А.

Актуальность. *Проектирование сложной технологической системы в различных предметных областях принято начинать с построения ее математической модели с последующим анализом поведения модели и принятием предварительных структурных и сценарных решений. Сложная технологическая система характеризуется множеством параметров. Проконтролировать их динамику в процессе функционирования системы (при моделировании, а тем более при эксплуатации) очень затруднительно. При этом, параметры могут сопоставляться разным физическим величинам и измеряться в единицах разной природы. Ввиду «разнородности» параметров сложной технологической системы они представляются в виде интервалов на балльной лингвистической шкале (нулевое, очень низкое, низкое, среднее, высокое, очень высокое значение и т.п., выраженное в числовой форме), а их значения выражаются в инвариантной числовой форме. Для каждого параметра вводится нормативная характеристика – норма, выражающая интервал допустимых значений. При этом критерием корректности технологического процесса будет условие, что при функционировании технологической системы для любого ее параметра фактический интервал не выходит за пределы нормы. Этот критерий является одним из необходимых условий корректного функционирования динамической технологической системы. Нарушение этого критерия рассматривается как нештатная ситуация, устраняемая путем коррекции фактического интервала соответствующих параметров. Такое воздействие на систему называется нормализацией интервалов параметров и является одним из видов управления системой.* ***Целью работы*** *является обеспечение наглядности, упрощения моделирования и эксплуатации сложных технологических систем. Это достигается за счет дополнения моделирования следующими процессами. Анализа отношения «фактический интервал – допустимый интервал» параметров и многошагового автоматического изменения верхней и/или нижней границы фактического интервала (нормализация параметров). А также введения нового графоаналитического инструментария (линейной диаграммы системы – ЛДС) для пошагового интерактивного построения модели системы.* ***Новизна представленного подхода*** *определяется следующими элементами: представлением параметров сложной технологической системы в интервальной форме (фактический и допустимый интервалы значений); в применении введенного в статье способа описания поведения системы в виде ЛДС; в преобразованиях интервалов на основе ЛДС.* ***Практическая значимость.*** *Интервальный подход и применение ЛДС, которые предложены в статье, позволит повысить наглядность и упростить моделирование сложных технологических систем. Полученные результаты могут быть использованы специалистами в области разработки сложных технологических систем для формирования рациональных сценариев управления этими системами.*

Ключевые слова*: технологическая система, параметр, фактический интервал значений параметра, допустимый интервал, состояние системы как вектор интервалов параметров, нормализация интервалов параметров.*

Введение

Проектирование сложной технологической системы в различных предметных областях принято начинать с построения ее математической модели с последующим анализом поведения модели и принятием предварительных структурных и сценарных решений. Моделирование позволяет уменьшить степень неопределенности проекта – зафиксировать основные показатели (параметры) системы, фактические и допустимые

интервалы их изменения и соответствия между ними (фактический интервал значений параметра, выраженный в баллах, не должен выходить за границы допустимого интервала), выделить состояния системы как значения вектора параметров, сформировать и проанализировать возможные последовательности векторов состояний, оценить угрозы, которые могут возникнуть при работе системы и их последствия, исследовать различные режимы функционирования системы, зафиксировать отличия и сходства системы с близкими аналогами, и т.д. Другими словами, собрать как можно больше прогнозной информации о возможном поведении создаваемой системы.

Сложная технологическая система характеризуется множеством параметров $P=\{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$, где число параметров n может быть очень большим – превышать сотню и даже несколько сотен. Проконтролировать их динамику в процессе функционирования системы (при моделировании, а тем более при эксплуатации) очень трудно. Параметры могут сопоставляться разным физическим величинам и измеряться в единицах разной природы. Ввиду «разнородности» параметров (давление, температура, масса и т.д.) их значения выражаются в инвариантной числовой форме, а вследствие трудностей измерения точных значений параметров они представляются в виде интервалов на балльной лингвистической шкале (нулевое, очень низкое, низкое, среднее, высокое, очень высокое значение и т.п., выраженное в числовой форме). Фактическое точное значение параметра в данный момент интерпретируется как случайная величина – точка внутри фактического интервала, возможно совпадающая с его верхней или нижней границей. Для каждого параметра вводится нормативная характеристика (норма), выражающая интервал допустимых значений. Будем считать технологический процесс корректным, если при его выполнении для любого параметра фактический интервал всегда находится «внутри» соответствующего допустимого интервала значений, т.е. не выходит за пределы нормы. Это является одним из необходимых условий корректности динамической технологической системы, нарушение условия рассматривается как нештатная ситуация, устраняемая путем коррекции фактического интервала соответствующих параметров. Такое воздействие на систему, которое будем называть нормализацией интервалов параметров, является одним из видов управления системой.

Целью работы является обеспечение наглядности, упрощения моделирования и эксплуатации сложных технологических систем. Это достигается за счет дополнения моделирования следующими процессами. Анализа отношения «фактический интервал – допустимый интервал» параметров и многошагового автоматического изменения верхней и/или нижней границы фактического интервала (нормализация параметров). Введения нового графоаналитического инструментария (линейной диаграммы системы – ЛДС) для пошагового интерактивного построения модели системы.

1. Основные понятия

Процесс создания (а также кардинальной перестройки) сложных систем в различных областях состоит из ряда этапов:

– предварительные исследования;
– разработка проекта системы, включая планирование;
– изготовление, сборка и испытания системы;
– эксплуатация созданной системы.

Материал статьи относится к первому этапу. Дадим более полное представление о ЛДС. Из множества траекторий (последовательностей состояний) системы выбирается главная линия, содержащая наибольшее число состояний и несущая основную технологическую нагрузку. Значительное число свойств системы определяется с помощью главной линии. ЛДС моделирует главную линию с переходами между состояниями, где состояния $S(t)$ в моменты времени $t = 0, 1, \ldots, N$ изображены столбцами – фактическими значениями интервалов параметров, а переходы $t, t+1$, связывающие соседние состояния (связки), изображены стрелками. Интервалы параметров в составе столбцов, в том числе выродившиеся в точки (частный случай интервала), всегда заключаются в квадратные скобки. Связки между состояниями также характеризуются интервалами. Если отнесенный к состоянию или связке интервал не вырождается в точку и, следовательно, имеет нижнюю и верхнюю границу, то внутри соответствующих квадратных скобок число слева соответствует нижней границе, а число справа – верхней границе этого интервала. Точечные интервалы (верхняя и нижняя границы интервала совмещены) для параметров связок не выделяются скобками. На конце каждой стрелки (связки) на ЛДС указано приращение параметра (положительное, отрицательное, нулевое) при переходе по этой стрелке. Пример изображения ЛДС дан в статье ниже.

Для упрощения сузим класс моделируемых систем: примем, что все состояния характеризуются набором всех параметров p_i, $i = 1, 2, \ldots, n$. Примером параметров, применяемых в технологических, организационных, экономических и иных системах, являются ресурсы, обеспечивающие работу системы (финансы, энергия, кадры и т.д.), оценки ситуации в системе и ее компонентах, характеристики взаимодействий между системой и ее окружением и т.д.

Статья продолжает и развивает предыдущие работы автора и его коллег, посвященные моделированию на триадных и бинарных многоагентных сетях [7]. Предыдущие работы отличались более детальным графологическим описанием поведения системы (выделение целей, действий и показателей в триадной модели [7] и целей и действий в бинарной модели [8, 9]), но усложняли интеллектуальную работу экспертов.

Над ЛДС экспертами могут проводиться имитационные эксперименты, позволяющие наметить временные характеристики проектных и исполнительских работ, выявить возможные нештатные ситуации, предусмотреть появление различных угроз и иные недопустимые ситуации, которые могут привести к нежелательным последствиям. Выявленные ошибки

следует исправлять на ранних стадиях создания системы, желательно на уровне предварительного имитационного моделирования на ЛДС, т.к. на последующих стадиях жизненного цикла системы: проектировании, испытаниях и эксплуатации, исправление обойдется сложнее и дороже.

Поскольку экспертами при имитационном моделировании поведения систем, как правило, являются соответствующие предметные специалисты, то ЛДС должна быть доступна и наглядна, в первую очередь, для них (например, иметь понятную графическую интерпретацию). При работе с ЛДС органично сочетаются действия, выполняемые автоматически, и интеллектуальные действия, являющиеся результатом принятия решений экспертами. ЛДС можно трактовать как упрощенную, удобную для практического применения модификацию технологической дорожной карты [1-6]. В общем случае разработка и анализ реальной технологической дорожной карты является сложной задачей, требующей очень непростой математики [3, 4, 5]. В предлагаемой работе моделирование на основе ЛДС выполняется следующим образом.

Параметру p_i, $i = 1, 2, \ldots, n$, приписывается логическая (булева) переменная x_i, называемая индикатором [7], где $x_i(t) = 1$, если фактический интервал, внутри которого содержится p_i, в момент t находится в норме, и нулевое значение в противном случае. Нижнюю и верхнюю границы фактического интервала обозначим соответственно $a_i(t)$, $b_i(t)$, а за норму для всех параметров во все моменты t примем интервал $[\alpha, \beta]$. Тогда имеют место следующие причинно-следственные отношения:

$$X_i(t) = 1, \text{ если } (\alpha \le a_i(t)) \,\&\, (\beta \ge b_i(t)) \quad (1)$$

$$X_i(t) = 0, \text{ если } (\alpha > a_i(t)) \vee (\beta < b_i(t)) \quad (2)$$

Отношение (1) соответствует норме. При отношении (2) проводим нормализацию фактического интервала параметра одним из трех способов: увеличением значения нижней границы a, уменьшением значения верхней границы b, и тем и другим. Нормализацию осуществляем в масштабе «быстрого» времени $1/k$: единице нормального времени t соответствует k единиц быстрого времени, где величина k выбирается экспертом. Кроме того, выбирается элементарный дискрет δ при корректировке границ интервала параметра, который может быть как положительным, так и отрицательным числом. Алгоритм нормализации в общем случае является многошаговым, на каждом шаге в быстром времени добавляется величина δ и проверяется выполнение формулы (1). Выполнение (1) выражается соотношением $x_i(t) = 1$ и определяет окончательные границы фактического интервала.

Для состояния системы в момент t вводим разрешающее условие перехода к следующему состоянию в момент $t+1$, $t < N$ – булеву функцию $\Phi(t+1) = F(x_1(t),\ldots, x_n(t))$. Переход параметра p в следующее состояние в момент $t+1$ может происходить с увеличением (+) либо уменьшением (-) величины интервала, а также с сохранением его значения. Соответствующие знаковые пометки наносятся на связку, соединяющую соседние состояния ЛДС. Числовая балльная оценка переходов параметров из состояния $S(t)$ системы в следующее состояние $S(t+1)$ производится экспертом. Сначала исходя из

специфики предметной области выбирается знак связки (+, -, 0), затем к знаку +/- приписывается экспертное числовое балльное значение. Величина $p(t+1)$ определяется алгебраическим суммированием значения $p(t)$ и численной характеристики связки. Переходы всех параметров происходят одновременно при выполнении разрешающего условия $\Phi(t+1) = 1$.

2. Построение линейной диаграммы системы

Гипотетический пример ЛДС приведен на рис. 1. Пусть в примере нормативный интервал для всех параметров во все моменты t равен [0, +3]. В общем случае такое ограничение не обязательно. Начинаем с состояния системы в момент $t = 0$.

	t=0			t=1			t=2			t=3	
p_1	[0]	x_1=1	→ 0	[0]	x_1=1	→ 0	[0]	x_1=1	→ 0	[0]	x_1=1
p_2	[+1]	x_2=1	→ -1	[0]	x_2=1	→ 0	[0]	x_2=1	→ 0	[0]	x_2=1
p_3	[-1]	x_3=0	→ +0,5 + 0,5	[0]	x_3=1	→ 0	[0]	x_3=1	→ 0	[0]	x_3=1
p_4	[0,+1]	x_4=1	→ [0,+1]	[0,+2]	x_4=1	→ [0, +1]	[0, +3]	x_4=1	→ [+2, 0]	[+2, +3]	x_4=1
p_5	[0,+2]	x_5=1	→ [0,+1]	[0,+3]	x_5=1	→ [+1, -1]	[+1, +2]	x_5=1	→ [+1, +1]	[+2, +3]	x_5=1
p_6	[0,+3]	x_6=1	→ [0,-1]	[0,+2]	x_6=1	→ [+1, 0]	[+1, +2]	x_6=1	→ [-1, 0]	[0, +2]	x_6=1

Рис. 1. Пример линейной диаграммы системы

За границу нормы в начальный момент выходит только точечный параметр $p_3(t=0) = -1$. Для его нормализации примем $\delta = +0{,}5$; k=10 и применим упомянутый выше алгоритм:

после первого шага получим:

$$p_3(t = 0{,}1) = -1+0{,}5 = -0{,}5;$$

после 2-го шага:

$$p_3(t = 0{,}2) = -0{,}5 +0{,}5 =0.$$

Индикатор параметра получит значение $x_3(t = 0{,}2) = 1$ (третья строка на рис.1). Индикаторная логическая функция

$$\Phi(t = 1) = (x_1 = 1)\&(x_2 = 1)\&(x_3 = 1)\&(x_4 = 1)\&(x_5 = 1)\&(x_6 = 1) = 1$$

разрешает переход от момента t=0,2, близкого к нулю, к состоянию в момент t=1. Если параметр p_i слева от стрелки и связка на ЛДС справа от стрелки имеют верхнюю и нижнюю границы, то при переходе по стрелке одноименные границы алгебраически суммируются. Например, для параметра p_6 в состоянии $S(t=0)$ при рассмотренной нормализации выполняется преобразование:

$$[0, +3] + [0, -1] = [0, +2].$$

Дальнейшее развертывание ЛДС в дискретном времени производится аналогично.

При построении ЛДС используется своеобразное управление, выражающееся через пометку связок числовыми данными, формируемыми экспертом. Результатом являются два целевых вектора, влияющие на предварительную характеристику создаваемой системы. Это параметрический и индикаторный векторы, где первый в качестве компонентов содержит описания параметров p_i, а второй – логические (булевы) переменные x_i, $i = 1, 2, \ldots, n$. Применение этих векторов при планировании системы

представляет собой самостоятельную задачу. Важным элементом проектирования с предплановым моделированием на основе ЛДС является установление соответствия между информационным баллом и обосновывающим его системным технологическим решением.

3. Анализ линейной диаграммы поведения системы

Как уже говорилось, эксперт, участвующий в разработке ЛДС, должен знать множество основных параметров, характеризующих создаваемую систему, предполагаемый формат параметров и возможные альтернативные варианты выполнения перехода t, t+1, $t < N$: параметр в следующий дискретный момент t+1 сохраняет фактический интервал предыдущего момента t, находясь внутри нормативного (допустимого) интервала, либо пересекает верхнюю или нижнюю границу допустимого интервала. Не исключено, что при переходе может изменяться (расширяться или сужаться) величина допустимого интервала. Выбрать наиболее приемлемую альтернативу и зафиксировать ее в ЛДС реально лишь путем просмотра нескольких вариантов (проведения имитационных модельных экспериментов) на линейной диаграмме. Построение «хорошей» ЛДС, даже при пошаговом «наращивании» модели – приписывании справа новых структурированных состояний, представляет непростую задачу. Для ее решения, наряду с вычислительными ресурсами, требуется определенный интеллект, способность понять и отобразить процессы в создаваемых сложных системах и выразить их математическими конструкциями. Здесь мы этим заниматься не будем, а сосредоточимся на просматриваемых по ЛДС угрозах, которые могут проявиться при работе системы, и способах их устранения. К угрозам отнесем следующие ситуации.

1. «Зависание» (блокирование) ЛДС в момент t из-за нулевого значения логического условия $\Phi(t)$ для состояния $S(t)$. Такая ситуация возникает, если в проекте рекомендовано недостаточное количество ресурсов, необходимых для его выполнения. Устраняется путем увеличения значения параметра, отображающего запас ресурсов в момент t. На этапе планирования, преемственном по отношению к имитационному моделированию на основе ЛДС, обеспечивается необходимый запас ресурсов, исключающий зависания диаграммы.

2. Зацикливание ЛДС – это повторение некоторой последовательности состояний системы неограниченное число раз так, что целевое состояние вообще не будет достигнуто. Признаком зацикливания является непрерывное повышение заданного контрольного времени τ создания системы с обязательным превышением этого контрольного срока. Зацикливание линейной диаграммы при имитационном моделировании является следствием грубых ошибок, допущенных при построении ЛДС, и такой диаграммой вряд ли можно воспользоваться. Превышение контрольного времени (запаздывание в создании системы) может быть следствием не зацикливания, а каких-то других организационных причин, которые могут быть устранены на этапе планирования. Например, разработан новый более адекватный план, учитывающий реальную ситуацию.

Заключение

В статье предложены формализованные линейные диаграммы поведения дискретных систем как инструмент для предварительного (предпланового) имитационного моделирования и анализа создаваемых систем. Диаграмма представляет собой «линейку» таблиц, строки которых соответствуют параметрам системы, а вертикальные столбцы – наборам интервалов фактических значений параметров и наборам логических (булевых) переменных, выполняющих роль индикаторов параметров. Указанные таблицы моделируют состояния системы. Соседние таблицы-состояния связываются помеченными стрелками в направлении развития проекта, стрелки помечены числовыми данными параметров и связок.

Все большее распространение в мире получает точка зрения, что развертыванию больших, сложных и дорогостоящих проектов должно предшествовать создание группы упрощенных моделей. Первичными в этой группе являются, несомненно, компьютерные модели, позволяющие лучше понять предложенную идею, принципы функционирования и управления задуманной системой, ее конкурентные преимущества. Это дает виртуальный базовый запас знаний, на основе которого уже можно приступить к созданию фрагментарных материальных, организационных и иных моделей, расширяющих и углубляющих упомянутый запас знаний. И, наконец, выйти на генеральную модель как основу проекта системы. В такой комплексной стратегии линейные диаграммы различного типа оказываются на одном из начальных мест в цепочке создания новых эффективных систем в различных предметных областях. Автор предлагает скромную работу на эту тему, которая, обладая новизной, может иметь в то же время практическое применение. При имитационном моделировании на основе линейной диаграммы может быть выявлен ряд угроз, устранение которых на этапе рабочего проектирования обойдется значительно дороже, а на этапе эксплуатации системы чревато поломкой, аварией и даже катастрофой. Примеры угроз: выход параметров за допустимые границы, зависание (блокирование) работы системы, зацикливание (повторение некоторой последовательности состояний неограниченное число раз), недопустимое превышение запланированных сроков создания системы, и т.д.

Литература

1. Кузык Ю. Что такое дорожная карта // Наука и технологии России - STRF.ru [Электронный ресурс], 18.05.2009. – URL: http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=223&d_no=20108#.VavbJrXQRW9 (дата обращения 01.05.2016).

2. Джемала М. Корпоративная «дорожная карта» // Российский журнал менеджмента. 2008. Т. 6. № 4.

3. Ена О. В., Нагаев К. В. Автоматизация процессов разработки технологических дорожных карт. Расчет интегральных показателей применимости // Бизнес-информатика. 2013. № 3 (25). С. 56-62.

4. Нагаев К. В., Курбатова Е. М. Автоматизация проектирования технологических дорожных карт. Сбор информации и консолидация экспертных мнений // Бизнес-информатика. 2014. № 1 (27). С. 52-60.

5. Карасев О. И. Методология разработки технологических дорожных карт. – М.: ИСИЭЗ, 2009. – URL: http://www.slideshare.net/ssuser7c02b4/karasev (дата обращения 01.05.2016).

6. Лидин К. Л. Многообразие построения дорожных карт, 2006. – URL: http://pandia.ru/text/77/396/40434.php (дата обращения 01.05.2016).

7. Юдицкий С. А. Моделирование динамики многоагентных триадных сетей. – М.: Синтег, 2012. – 112 с.

8. Юдицкий С. А.,Магергут В. З., Чуев А. В. Бинарные сетевые дорожные карты процессов управления проектами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 4. С. 1-9.

9. Юдицкий С. А.,Магергут В. З., Чуев А. В. Программно-алгоритмическое обеспечение моделирования процессов на бинарных индикаторных сетях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2014. № 9. С. 10-17.

References

1. Kuzyk Iu. What is road map. *Science and technologies of Russia STRF.ru*, 18.05.2009. Available at: (accessed 12 July 2015) (in Russian).

2. Jemala M. Corporate Roadmapping. The Innovative Tool of Corporate Knowledge Management. *Russian Management Journal*, 2008, vol. 6, no. 4 (in Russia).

3. Ena O.V, Nagaev K. V Automation of the technology roadmap development. Calculation of the integral indicators of applicability. *Business Infotmatics*, 2013, no. 3 (25), pp. 56-62 (in Russian).

4. Nagaev K. V. Kurbatova E.M. Technology roadmapping. Method for gathering and consolidation expert opinions. *Business Infotmatics*, 2014, no. 1 (27), pp. 52-60 (in Russian).

5. Karasev O. I. *Metodologiia razrabotki tekhnologicheskikh dorozhnykh kart* [Methodology Development of Technology Roadmaps]. Moscow, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge, 2009. Available at: http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=223&d_no=20108#.VavbJrXQRW9 (accessed 12 July 2015) (in Russian).

6. Lidin K. L. *Mnogoobrazie postroeniia dorozhnykh kart* [The Diversity of the Construction of Roadmaps], 2006. Available at: http://pandia.ru/text/77 /396/40434.php (accessed 12 July 2015) (in Russian).

7. Iuditskii S. A. *Modelirovanie dinamiki mnogoagentnykh triadnykh setei* [Modeling the Dynamics of Multi-Agent Triadic Nets]. Moscow, Sinteg Publ., 2012 (in Russian).

8. Iuditskii S. A., Magergut V. Z, Chuyev A. V. Binary network roadmaps project management processes. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2013, no. 4, pp. 1-9 (in Russian).

9. Iuditskii S. A., Magergut V. Z, Chuyev A. V. Software for modeling processes in binary indicator networks. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2014, no. 9, pp. 10-17 (in Russian).

Статья поступила 17 июня 2016 г.

Информация об авторе

Юдицкий Семен Абрамович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова. Область научных интересов: моделирование организационно-технических систем. E-mail: yuseab32@yandex.ru

Адрес: Россия, 117997, Москва ул. Профсоюзная, д. 65.

Construction of Linear Road Maps for Creation Process of Complex Systems

S. A. Iuditskii

Problem statement: *a complex technological systems can be designed in a variety of subject areas. The mathematical model is constructed first, then the behavior of the model is analyzed, then the preliminary structural and scenario decisions are made. A complex technological system has many parameters. The dynamics of the parameters in the operation of the system difficult to control. The dynamics of the parameters in the operation of the system difficult to control. In this case the parameters can be related to different physical quantities and measured in a different units. The parameters of a complex technological system are offered to be presented as intervals on the linguistic point scale (zero, very low, low, medium, high, very high value, etc., expressed in numerical form).The values of the parameters expressed in invariant numerical form. The standard feature is the rate which expressing the interval of admissible values is entered for each parameter. The criterion of correctness of technological process is determined by the values of the parameters are in the normal range. An emergency situation arises in case of violation of this criterion. The actual interval of the relevant parameters can be changed to eliminate abnormal situations. The intervals of parameters are normalized to control the system.* ***Objective:*** *providing presentation, simplify the modeling and maintenance of complex technological systems.* ***Methodology.*** *The author analyzed the relation "actual interval – valid interval" for parameters and multi-stage automatic change of the upper and/or lower bound of the actual range (normalization parameters).* ***Novelty:*** *The author introduces a new graphic-analytical tools – LDS – linear system diagrams, for interactive modeling of system step by step. LDS are oriented to specialists in the subject area. The system behavior described in a new way as LDS, the parameters of a complex technological system represented in interval form (the actual and the allowed intervals of values).The intervals are converted on the basis of LDS.* ***Practical significance:*** *the approach based on intervals which is offered in this paper will allow to increase presentation of modeling and simplify modeling of complex technological systems.*

Key words: *technological system, parameter, actual interval of parameter values, allowed interval, condition of system as a vector of intervals of parameters, normalization of intervals of parameters.*

Information about Author

Semen Abramovich Iuditskii – Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor, Senior Research Officer of Institute of Control Sciences RAS. Field of research: modeling of organizational and technical systems. E-mail: yuseab32@yandex.ru

Address: Russia, 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 65.

УДК 622.232.8:621.384.3.01:531.714.2

Твердотельные лазеры с накачкой мощными лазерными диодами, используемые в системах обеспечения безопасности

Волков В. Г.

Постановка задачи: *рассматриваются мощные лазерные диоды, используемые для накачки твердотельных лазеров, описываются характеристики лазерных диодов и твердотельных лазеров на их основе, показаны особенности конструктивного исполнения и возможности их применения в системах безопасности.* ***Цель работы:*** *показать конкретные устройства, выполненные на основе этих лазеров для применения в системах обеспечения безопасности: лазерные целеуказатели, активно-импульсные телевизионные приборы ночного видения, антиснайперские лазерные приборы разведки и целеуказания, многоканальные системы.* ***Используемые методы:*** *сравнительный научно-технический анализ возможностей твердотельных лазеров с диодной накачкой и устройств обеспечения безопасности на их основе.* ***Новизна:*** *впервые показаны в систематизированном виде технические характеристики твердотельных лазеров с диодной накачкой и устройства обеспечения безопасности с их использованием. Все эти приборы имеют исполнение либо в виде удерживаемых в руках, либо в виде мобильных и стационарных устройств. Рассматриваются также многоканальные комплексы круглосуточного и всепогодного видеонаблюдения.* ***Практическая значимость****: показана эффективность и перспективность применения таких лазерных приборов в системах обеспечения безопасности благодаря их многофункциональности и высоким параметрам, возможности обеспечения круглосуточного наблюдения и разведки.*

Ключевые слова: *лазерный диод, твердотельный лазер, накачка, режим работы, мощность излучения, длина волны, расходимость излучения, размеры излучающей области, длительность импульса излучения, частота, прибор наблюдения, система безопасности, масса, габариты, напряжение питания, энергопотребление, дальность обнаружения, дальность распознавания, угол поля зрения, точность измерения дальности.*

Актуальность

В настоящее время все более широкое распространение приобретают лазерные полупроводниковые излучатели – мощные лазерные диоды (ЛД), используемые для накачки лазерных стержней или пластин мощных твердотельных лазеров, лазерных систем и волоконных лазеров. По сравнению с ламповыми устройствами накачки ЛД обеспечивают максимальный к.п.д. накачки, высокие эксплуатационные характеристики и значительный срок службы. Большая мощность излучения ЛД позволяет их использовать для создания лазерных приборов, широко применяемых в системах обеспечения безопасности, связи, технологии, медицине, и др. Малое тело свечения ЛД позволяет эффективно вводить его излучение в оптическое волокно. Это открывает широкие возможности создания мощных волоконных лазеров и усилителей лазерного излучения. Мощность таких ЛД колеблется от нескольких Вт до нескольких тысяч Вт. Все это определяет эффективность создания твердотельных лазеров с диодной накачкой и их применения в системах обеспечения безопасности.

Идеология построения твердотельных лазеров с диодной накачкой

Твердотельный лазер с диодной накачкой (Diode-pumped solid-state laser, DPSS) — разновидность твердотельного лазера, в которой в качестве накачки

используется ЛД [1]. DPSS-лазеры характеризуются высокой эффективностью и компактностью по сравнению с газовыми и другими твердотельными лазерами. В последние годы DPSS-лазеры приобрели особую популярность как источники излучения в лазерных указках зеленого, желтого и некоторых других цветов. В типичной схеме DPSS-лазера источником накачки является мощный инфракрасный ЛД (от 100 мВт до нескольких сотен ватт) с длиной волны 808 нм. Этот ЛД оптически сопряжен с помощью оптики переноса с активной средой твердотельного лазера. Предположим, что активная среда излучает на длине волны 1064 нм. Если на ее выходе установлен нелинейный оптический кристалл (KTiOPO4, KTP), то в нем исходная частота излучения удваивается, и выходной луч имеет длину волны 532 нм. Это соответствует зелёному цвету видимого излучения. КПД такой системы составляет примерно 20%. На выходе обычно ставят ИК-фильтр, чтобы устранить остатки излучения от ЛД накачки, хотя в слабых и дешёвых моделях им часто пренебрегают. На выходе лазера может быть установлена обращенная телескопическая система Галилея для сужения расходимости лазерного излучения. Жёлтые и синие лазеры имеют ещё более сложную структуру. Так, в жёлтом лазере излучение на длине волны 808 нм преобразуется в излучение 1064 нм, которое далее преобразуется в 1342 нм и только потом осуществляется удвоение частоты. КПД таких лазеров может быть менее 3%. Основное преимущество DPSS-лазеров по сравнению с ЛД – высокое качество излучения, как с точки зрения монохроматичности, так и с точки зрения фокусировки и расходимости луча. DPSS-лазеры имеют более узкий диапазон длин волн (меньше 1 нм в сравнении с 5-20 нм у диодных лазеров) и значительно меньшую расходимость луча. Благодаря низкой зависимости выходного луча от входного возможно использование более дешевых и мощных многомодовых ЛД в качестве источника накачки, а также линейки из нескольких ЛД, накачивающих один кристалл. С другой стороны, полупроводниковые ЛД проще в использовании, дешевле DPSS и имеют больший КПД. ЛД продаются в виде законченных дискретных элементов, которые требуют только электропитания и фокусировки, в то время как твердотельный лазер содержит много дополнительных, прецизионных деталей, чувствительных к ударам и вибрациям. В случае, если высокое качество луча не требуется, многомодовые ЛД выдают большую мощность при тех же (или меньших) габаритах и электропитании. Кроме того, ЛД могут работать при большем диапазоне температур и выдерживают более высокочастотный режим модуляции [1].

Основные характеристики мощных лазерных диодов и их конструктивное исполнение

Основные характеристики мощных ЛД представлены в таблице 1 приложения, а внешний вид типичных ЛД и конструктивное исполнение некоторых из них – на рис. 1-8 [2-5, 16, 17].

Рис. 1. Внешний вид типичных ЛД ЗАО «Полупроводниковые приборы»

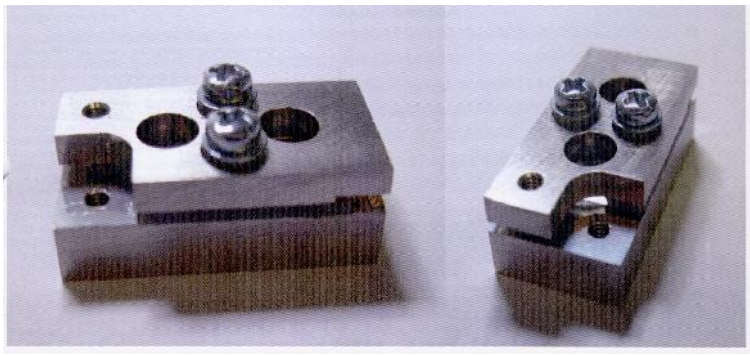


Рис. 2. Лазерная линейка ATC-Q70 с пассивным охлаждением ЗАО «Полупроводниковые приборы»

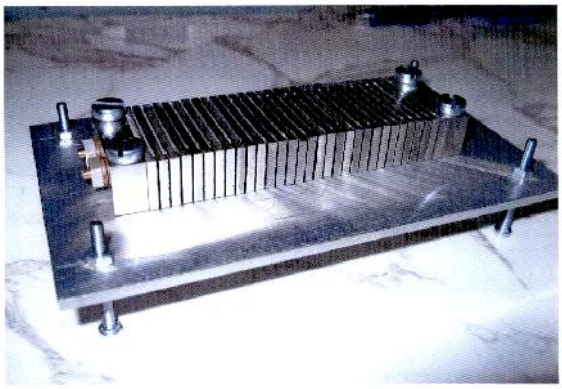


Рис. 3. Решетка ЛД ATC-Q5000 ЗАО «Полупроводниковые приборы»

Рис. 4. Лазерный диод СЛМ-1 ГПП «Инжект»

Рис. 5. Лазерный диод СЛМ-3 ГПП «Инжект»

Рис. 6. Лазерный диод 32ДЛ-502 ГПП «Инжект»

.

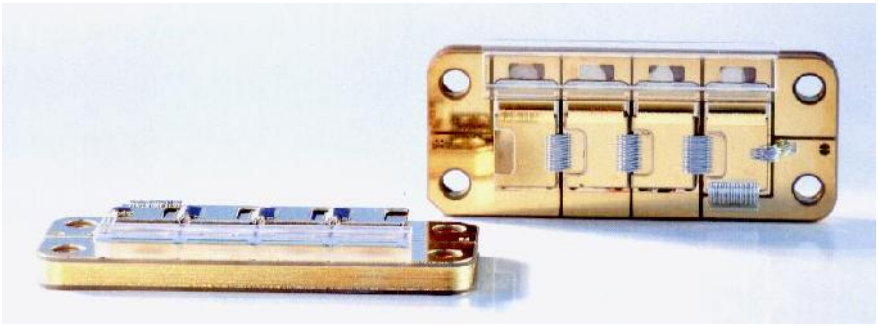


Рис. 7. ЛД фирмы JENOPTIK GmbH

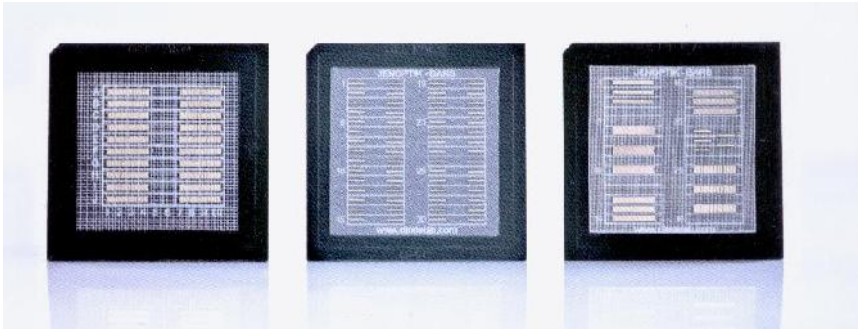


Рис. 8. ЛД фирмы JENOPTIK GmbH

Фирма ОАО «НИИ «Полюс» [2] разработала квазинепрерывные диодные линейки серии 321 ДЛ-520В на основе InGaAs/AlGaAs/GaAs эпитакисальных гетероструктур с излучением на длине волны 920-960 нм и серии 321 ДЛ-520А на основе Al/GaAs/GaAs эпитакисальных наногетероструктур с излучением на длине волны 802-810 нм для накачки импульсных твердотельных лазеров. Для той же цели фирма разработала монолитные многослойные двумерные решетки ЛД, смонтированные на теплоотводящем основании. Они представляют собой базовый модуль для сборки матриц различных габаритов. Каждый модуль содержит 10 линеек серии 321 ДЛ-520В. Решетка 322 ДЛ-522 используется для накачки лазерных сред, легированных ионами иттербия и эрбия. Такие решетки, изготовленные из линеек ЛД 321 ДЛ-520А предназначены для накачки твердотельных АИГ:Nd лазеров. Многоспектральные решетки изготовлены из набора линеек ЛД, у которых максимальная длина волны излучения сдвинута относительно друг друга для выравнивания поглощения полупроводниковой накачки во всем диапазоне рабочих температур. Количество входящих в решетку линеек ЛД, различающихся спектральными характеристиками излучения, зависит от диапазона рабочих температур и точности температурной стабилизации поглощения излучения накачки. Решетки ЛД предназначены для накачки твердотельных АИГ:Nd лазеров.

Основные параметры типичных твердотельных лазеров с диодной накачкой

Основные параметры типичных твердотельных лазеров с диодной накачкой представлены в таблице 2 приложения (рис. 9) по данным работ [5-9].

Рис.9. Твердотельный лазер DTL-399QT фирмы «Лазер-компакт»

Общее применение твердотельных лазеров с диодной накачкой

Эти лазеры нашли широкое применение в промышленном, медицинском, лабораторном оборудовании, в системах контроля качества, в технологических целях для маркировки печатных плат, кабелей, драгоценных камней, фотоэлектрических пластин, для внутренней и поверхностной маркировки стекла, микрообработки материалов (биологических тканей, тонких пленок, многослойных и полупроводниковых структур), при изготовлении солнечных батарей, в лазерной микроскопии, голографии, в биотехнологиях (в том числе в масс-спектроскопии, Рамановской спектроскопии, лазерной микродиссекции), для лазерных дальномеров, лидаров и высотомеров и др. [8]. Особо следует остановиться на индустриальных высокомощных нано- и пикосекундных твердотельных DPSS лазерах с накачкой ЛД серии Baltic [9]. Эти лазеры снабжены интеллектуальной системой управления. Все параметры лазеров находятся под непрестанным контролем с целью обеспечения долговременной стабильности рабочих характеристик и простоту интегрирования лазера в высокопроизводительные системы обработки материалов. Короткая длительность импульса, высокая частота их следования и надежная конструкция делают эти лазеры привлекательными для обработки многих материалов, включая полимеры, полупроводники, композиты и диэлектрики. Лазеры допускают дистанционное и процессорное управление.

Основные параметры малогабаритных твердотельных лазеров с диодной накачкой

В настоящее время для лазерных дальномеров, осветителей для систем подводного видения, метрологических целей и др. широко используются малогабаритные твердотельные лазеры с диодной накачкой (рис. 10). Их основные параметры приведены в таблице 3 приложения.

Рис. 10. Твердотельный лазер серии TECH-527 с высокой стабильностью

Основные параметры миниатюрных твердотельных лазеров с диодной накачкой и их применение в системах обеспечения безопасности в качестве лазерных целеуказателей

В настоящее время используются миниатюрные твердотельные лазеры с диодной накачкой. В таблице 4 приведены основные параметры типичных миниатюрных твердотельных лазеров с диодной накачкой по данным из работ [13-15, 18, 20]. Внешний вид лазеров показан на рис. 11, 12.

Рис. 11. Мощная миниатюрная лазерная указка
Laser Pointer 500 mW

Рис. 12. Лазерный зеленый и красный
целеуказатель NcSTAR ARLSRG

Чаще всего они излучают в зеленой области спектра (531-532 нм) или в синей области спектра (450-473 нм). Такие высокостабильные лазеры поставляются в комплекте с блоком питания со встроенным контролем температуры и электрического тока, с возможностью внешней модуляции и регулируемой выходной оптической мощностью. Для изготовления твердотельного синего лазера с длиной волны 473 нм используют следующую схему: ИК диодом (808 нм) накачивают ИК твердотельный кристалл (946 нм) с последующим удвоением частоты излучения (до 473 нм) на нелинейном

кристалле (KTP) и отсеканием ИК излучения (от диода накачки и от твердотельного кристалла) на специальном фильтре. Для получения длины волны 450 нм на выходе из полупроводникового синего лазера используют полупроводниковый диод, который непосредственно излучает на длине волны 450 нм. Такие лазеры широко используются для подсвета под водой, для целеуказания при обеспечении работы бойцов спецподразделений, сотрудников охраны и боевых пловцов с целью охраны акваторий, военно-морских баз, кораблей и др. Дальность действия лазерного луча может достигать от сотен метров до нескольких десятков километров (в зависимости от мощности излучения и величины его угловой расходимости). Масса таких лазеров колеблется от нескольких десятков грамм до 100-200 г. Примером лазерных целеуказателей для стрелкового оружия бойцов спецподразделений могут служить модели NcSTAR ACPTLG и NcSTAR APRLSRG фирмы NcSTAR (США) [15] (см. рис. 12). Модель NcSTAR ACPTLG содержит только DPSS лазер и излучает на длине волны 532 нм, а модель NcSTAR APRLSRG, кроме DPSS лазера, содержит еще и ЛД, излучающий в красной области спектра (635-652 нм). Целеуказатели крепятся на оружии с помощью кронштейна Weawer и используют литиевый встроенный источник питания. Модель NcSTAR APRLSRG имеет выносную кнопку.

Идеология построения и возможности активно-импульсных телевизионных приборов ночного видения с использованием твердотельных лазеров с диодной накачкой

Наибольший интерес представляет применение твердотельных лазеров с диодной накачкой в активно-импульсных телевизионных приборах ночного видения (АИ ТВ ПНВ) [21-25]. Они обладают, по сравнению с традиционными низкоуровневыми ТВ системами (НТВС), рядом значительных преимуществ:

- повышение дальности обнаружения и распознавания объектов наблюдения;
- возможность работы при пониженной прозрачности атмосферы (дымка, туман, дождь, снегопад, пыльная или песчаная буря и др.) и при воздействии мощных локальных световых помех (излучение прожекторов, фар встречного транспорта, пламя трассеров, вспышки выстрелов, взрывов, пламя пожаров и др.);
- точное измерение дальности;
- возможность обнаружения оптических или оптико-электронных приборов противника по бликам отраженного зондирующего лазерного излучения;
- возможность наблюдения малоконтрастных или замаскированных объектов.

Распространение получили также лазерные антиснайперские приборы разведки и целеуказания, которые также обеспечивают обнаружение оптических или оптико-электронных приборов противника по бликам отраженного зондирующего лазерного излучения.

АИ ТВ ПНВ содержит импульсный лазерный осветитель (ИЛО), который может быть выполнен на основе импульсного лазерного полупроводникового излучателя (ИЛПИ) или на основе импульсного твердотельного лазера, работающего в режиме модулированной добротности (режиме Q-модуляции). Достоинством ИЛПИ является его высокий к.п.д. Это позволяет добиться минимальной массы, габаритов и энергопотребления АИ ТВ ПНВ. Но ИЛПИ имеет сравнительно небольшую мощность излучения в импульсе (400-600 Вт) при сравнительно большой длительности импульса излучения (порядка 100 нс) и значительной частоте – порядка 5 кГц. Это приводит к ограничению по точности измерения дальности и, в особенности, к снижению скважности, а, следовательно, и к снижению степени защиты от световых помех. Угловая расходимость излучения ИЛПИ велика. Она составляет 40°. Это вызывает увеличение габаритов объектива формирования излучения лазерного осветителя. Напротив, твердотельные лазеры имеют сравнительно низкий КПД, но зато мощность излучения в импульсе порядка 5-10 МВт при длительности импульса излучения 5-10 нс и частоте 25-50 Гц. Это позволяет не менее чем в 10 раз повысить точность измерения дальности и в 10^3 раз – степень защиты от световых помех. Угловая расходимость излучения этих лазеров не превышает 30’, поэтому размеры оптики формирования излучения получаются минимальными.

Блок-схема АИ ТВ ПНВ с использованием твердотельных лазеров представлена на рис. 13.

Прибор по блок-схеме рис. 13 работает следующим образом. В импульсном лазерном осветителе (ИЛО) 1 функционирует активная среда 2. Она возбуждается с помощью ЛД 3, излучение которого с помощью проекционного объектива 4 переносится на торец активной среды 3. ЛД 3 работает от 1-го драйвера 5. Генерация лазерного излучения поддерживается с помощью зеркал М1 и М2 резонатора. Модулятор добротности 6, возбуждаемый его блоком 7 питания, создает режим Q-модуляции. Оптика 8 (телескопическая система Галилея) формирует требуемый угол подсвета и направляет излучение ИЛО 1 на объект наблюдения. Импульсы излучения, отразившись от объекта, поступают в блок 10 наблюдения. Его объектив 11 формирует изображение объекта на фотокатоде импульсного электроннно-оптического преобразователя (ЭОП) 12. Фильтр 13 служит для отсечения излучения световых помех, действующих в широкой области спектра. До прихода импульса излучения на фотокатод ЭОП 12 затвор последнего (микроканальная пластина) заперт.

В момент прихода отраженного от объекта наблюдения импульса излучения затвор ЭОП 12 отпирается на время, равное или несколько превышающее длительность этого импульса. Для обеспечения указанной синхронной работы ИЛО 1 и блока 10 наблюдения служит блок стробирования 14. Его фотоприемное устройство (ФПУ) 15 оптически сопряжено с излучением ИЛО 1 с помощью объектива 16 и плоского зеркала 17. ФПУ 15 преобразует часть энергии импульса лазерного излучения в импульсный электрический сигнал, который запускает задающий генератор импульсов (ЗГИ) 18,

работающий в ждущем режиме. ЗГИ 18 формирует синхронизирующие импульсы, которые задерживаются в блоке регулируемой задержки (БРЗ) 19 на время, равное прохождению импульсом излучения расстояния от прибора до объекта наблюдения и обратно.

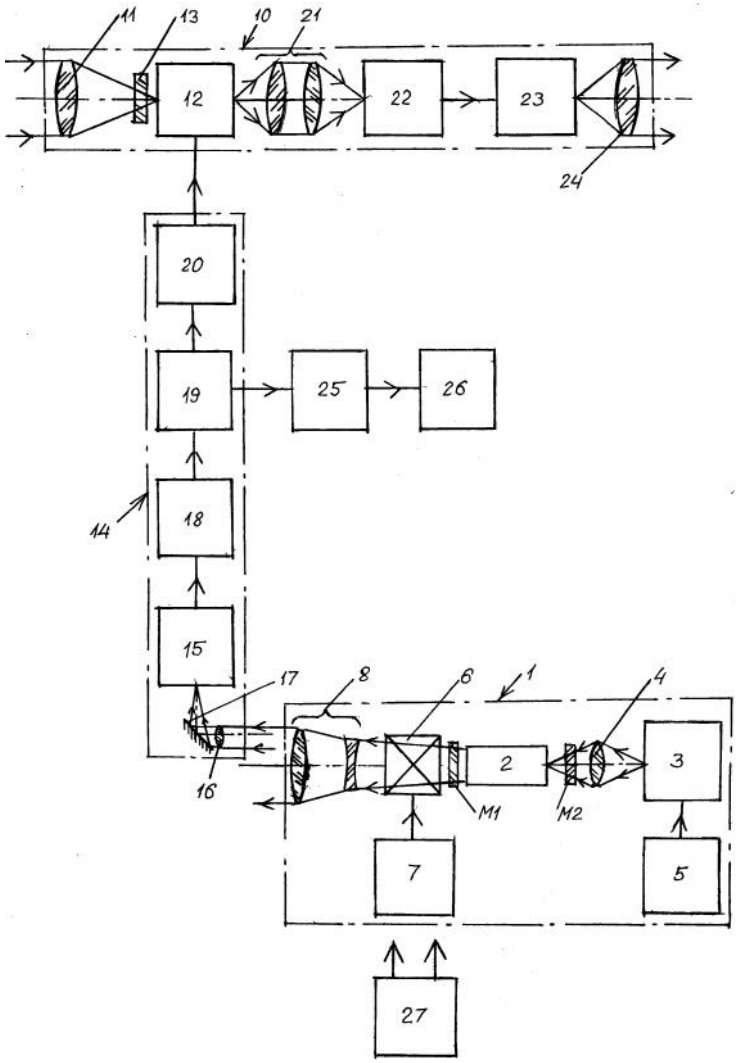


Рис. 13. Блок-схема АИ ТВ ПНВ
на базе твердотельного лазера с накачкой ЛД

С выхода БРЗ 19 синхроимпульс возбуждает формирователь стробирующих импульсов (ФСИ) 20, который создает стробирующие импульсы, отпирающие затвор ЭОП 12. Последний усиливает изображение по яркости, преобразуя его в видимое. Изображение с экрана ЭОП 12 с помощью оптики переноса 21 передается на матрицу ПЗС ТВ камеры 22. Видеосигнал с ее выхода передается в ТВ монитор 23, с экрана которого оператор наблюдает изображение через окуляр 24. В случае, если экран ТВ монитора имеет большие размеры, то окуляр 24 отсутствует, и изображение наблюдается непосредственно с экрана ТВ монитора 23. Оператор, плавно регулируя задержку в БРЗ 19, может перемещать узкую зону просматриваемого пространства по глубине до тех пор, пока в ее пределы не попадет наблюдаемый объект. После этого осуществляется его распознавание и

измерение дальности. Для осуществления данного измерения сигнал с БРЗ 19, соответствующий дальности до цели, поступает в измеритель временных интервалов (ИВИ) 25, который преобразует сигнал в цифровую форму и передает его в светодиодный дисплей 26, с которого считывается значение дальности. Питание АИ ТВ ПНВ осуществляется от источника первичного питания (ИПП) 27.

Описание существующих моделей активно-импульсных телевизионных приборов ночного видения

Известно достаточно большое количество моделей АИ ПНВ, АИ ТВ ПНВ и лазерных антиснайпеских приборов [21-23]. Но все они обладают сравнительно низкими параметрами и ограниченными функциональными возможностями, не удовлетворяющими возросшим современным требованиям заказчиков. За последние годы появились более совершенные АИ ТВ ПНВ на основе полупроводниковых и твердотельных лазеров, применяемые в системах обеспечения безопасности.

Примерами таких АИ ТВ ПНВ могут служить приборы фирмы ОАО «ТУРН» [23]. Прибор SEA LINX – АИ ТВ система ночного видения, которая была специально спроектирована для эксплуатации, как на морских, так и на речных судах (рис. 14-19). Система SEA LINX существенно облегчает наблюдение в ночное время за обстановкой вокруг судна, на котором она установлена. Тем самым повышается безопасность судовождения в ночных условиях, особенно при прохождении судна в узких местах и вблизи берегов. Основная задача системы SEA LINX – помочь навигаторам в ночное время избежать опасных столкновений судна с посторонними объектами на поверхности воды, которые могут встретиться по курсу судна и стать причиной его повреждения или даже гибели. С помощью системы SEA LINX могут быть обнаружены и идентифицированы объекты небольших размеров, которые иногда невозможно увидеть на экране локатора, такие как небольшие камни, торчащие над водой, небольшие бревна и плавающие льдины, суда малых размеров, изготовленные из стекловолокна или других материалов, а также спасательные плоты или люди, находящиеся в воде. SEA LINX может с успехом эксплуатироваться на высокоскоростных судах; на судах, не относящихся к высокоскоростным; на пограничных кораблях; на поисково-спасательных судах для обеспечения безопасности и охраны - контроля за акваториями морских и речных портов; не только на реке и море, но и на суше. SEA LINX содержит четыре основных устройства: электронно-оптический блок (ЭОБ), поворотный блок (ПБ), пульт управления (ПУ) и ТВ монитор. ЭОБ – это основная часть системы. Он создает изображение очень слабо освещенных ночью предметов, находящихся в поле зрения системы, многократно усиливает яркость полученного изображения и в форме ТВ сигнала передает полученное изображение на ТВ монитор. ЭОБ работает в диапазоне длин волн от 400 нм до 950 нм или от 400 нм до 1100 нм. ПБ осуществляет вращение установленного и закрепленного на нем ЭОБ вокруг двух осей - вертикальной и горизонтальной. ЭОБ и ПБ устанавливаются снаружи судна так, чтобы оптическая ось системы

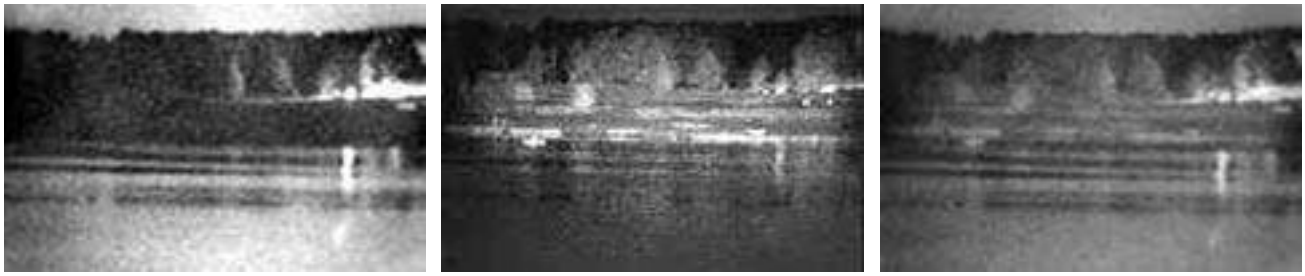
была параллельна диаметральной плоскости судна. ПБ предназначен для управления системой SEA LINX с рабочего места навигатора. ТВ монитор воспроизводит черно-белое или другое монохромное изображение, создаваемое ЭОБ. Отличительные особенности SEA LINX – это три режима работы: пассивный, активно-непрерывный (АН) (без стробирования) и АИ. Возможность продолжать работу в условиях полного отсутствия естественной ночной освещенности обеспечивается АН режимом. Возможность продолжать работу при наличии тумана, снегопада или дождя, определение расстояний до наблюдаемого объекта обеспечивается АИ режимом. Прибор не создает помех для других систем, обладает высокой помехозащищенностью и автоматической защитой от ослепления случайными вспышками света. Предусмотрено наличие очистителя и омывателя защитного стекла [23].

Рис. 14. Электронно-оптический блок прибора SEA LINX на поворотном устройстве

Рис. 15. Пульт управления и ТВ монитор

Рис. 16. Внешний вид панели управления

На рис. 17. показана возможность выделения отдельных объектов и деталей за счет смены режимов наблюдения. Преимущество АИ режима здесь очевидно.



а. б. в.

Рис. 17. Возможность выделения отдельных объектов и деталей за счет смены режимов наблюдения: а) пассивный, б) активно-непрерывный, в) активно-импульсный режимы

ЭОБ имеет угол поля зрения 9°×6° (по горизонтали и по вертикали, соответсвенно), разрешение не менее 450 ТВ линий, рабочий диапазон освещенностей от 3 лк до 1×10^{-4} лк, длину волны излучения подсветки в АН и АИ режиме 0,82-0,85 мкм или 1,06 мкм, глубину зоны видения в АИ режиме от 50 до 350 м, точность определения дистанции до объекта при работе в АИ режиме – 25 м. ПБ имеет угловую скорость поворота с ЭОБ вокруг горизонтальной оси и вокруг вертикальной оси 30 град/с, угол поворота с ЭОБ вокруг горизонтальной оси (+15) – (-25)°, вокруг вертикальной оси ±180°. ПУ имеет регулировку яркости органов управления, управление с помощью джойстика, наличие автоматического возврата ПБ в исходное состояние, индикацию углов поворота системы относительно диаметральной плоскости судна, управление включением и выключением системы, работой очистителя и омывателя стекла, переключением режимов работы, регулировкой коэффициента усиления системы и глубины зоны видения. Есть возможность встроить ПУ системой в общий ПУ судном. В ТВ мониторе предусмотрена ручная регулировка яркости и контраста изображения, индивидуальное включение и выключение монитора, возможность замены на монитор Заказчика. Напряжение питание равно 18-30 В или ~220 при 50 Гц, энергопотребление 180 Вт. Габаритные размеры и масса составляют соответственно всей системы в целом 686×433×458 мм и 45 кг, ЭОБ 370×433×345 мм и 15 кг, ПБ (без бачка омывателя) 578×205×262 мм и 18 кг, ПУ 302×370×100 мм и 6 кг, ТВ монитора с диагональю 9” 217×260×227 и 6 кг. Диапазон рабочих температур (-30) – (+50)°С [23].

Уникальная многоцелевая лазерная АИ ТВ система ночного видения NORD LYNX (рис. 18) [23] является продуктом высоких технологий, созданным на основе новейших инженерных достижений. Система работает в пассивном, АН и АИ режимах. Это позволяет наблюдать выделенные объекты на определенных расстояниях, в том числе с отсечением яркого фонового света, в условиях тумана, дождя, снега, пурги и т.д. NORD LYNX устанавливается на автомобилях, грузовиках, карьерной технике, вертолетах, самолетах и т.д. и позволяет вести наблюдение, контроль, осуществлять видеозапись, управлять транспортными средствами в ночных и ограниченных условиях видимости, обеспечивать охрану различных объектов и безопасность вождения различных транспортных средств. АИ ТВ система позволяет предотвращать аварии на дорогах. Основные параметры системы: расстояние до границы зоны наблюдения 3-300 м, глубина зоны наблюдения 30-100 м, угол поля зрения 20×15°, рабочее напряжение – 24 В, энергопотребление 150 Вт, габаритные размеры 350×300×150 мм, масса 20 кг, диапазон рабочих температур: электронно-оптического блока (-45)–(+40)°С, ТВ монитора – (+5)–(+40)°С.

Рис. 18. Прибор NORD LYNX

Лазерная АИ ТВ система подводного видения LSV-W [23] (рис. 19) используется в качестве средства наблюдения на исследовательских подводных аппаратах, применяется для разведки полезных ископаемых, инспекции подводных трубопроводов, кабелей, скважин, поиска затонувших объектов, рыболовных сетей, контроля за поголовьем рыбы и других морских обитателей. ЭОБ и ИЛО устанавливаются на подводной части судна. ТВ монитор и ПУ могут быть смонтированы на надводной части или на судне. Есть возможность подавления дымки обратного рассеяния; наблюдения в мутной воде; увеличения дальности видения до 6 раз, т.е. в два и более раза по сравнению с обычными подводными ТВ системами; обеспечения высококачественного теленаблюдения под водой, охраны акваторий, кораблей, контроля состояния донной части кораблей и др. Основные параметры системы: разрешение 450 ТВ линий в воздухе, дальность видения в чистой воде до 150 м, угол поля зрения 60° (фокусное расстояние объектива 14 мм при относительном отверстии 1:2,3) или 15° (фокусное расстояние объектива 37 мм при относительном отверстии 1:1), габаритные размеры и масса ТВ камеры соответственно 170×160×105 мм и 3 кг, ТВ монитора 310×215×215 мм и 7,5 кг, импульсного лазерного осветителя 380×90×275 мм и 12 кг, напряжение питания ТВ камеры 12 В (от ТВ монитора), и у остальных блоков ~220 В при частоте 50 Гц.

Рис. 19. Прибор LSV-W LYNX и ТВ монитор

ОАО «НПО Геофизика-НВ» [24] разработала круглосуточную АИ ТВ камеру с повышенной дальностью действия (рис. 20). Она предназначена для распознавания оператором целей, предварительно обнаруженных с помощью РЛС или обзорной всепогодной тепловизионной системой в интересах охраны различных объектов. В блоке наблюдения камеры содержится ЭОП, стыкованный с матрицей ПЗС с чересстрочной разверткой и блок стробирования. Камера допускает круглосуточные поиск и разведку, возможность применения в случае необходимости неуправляемого оружия. Основные параметры прибора: дальность действия по группе людей – 1-2 км, угол зрения поля днем 1,1×1,5°, ночью 2×3°, разрешающая способность днем – 570 ТВ линий, ночью – 450 ТВ линий, рабочий диапазон освещенности – от 10^{-4} до $5 \cdot 10^{4}$ лк, масса 11 кг, габариты 350×310×230 мм, рабочая область спектра от 0,5 до 0,9 мкм или 0,4-1,1 мкм, диапазон рабочих температур от -40 до +40°С. В приборе используется ЭОП 3-го поколения с интегральной чувствительностью 1800 мкА/лм при яркости темнового фона $2 \cdot 10^{-3}$ кд/м^2, коэффициенте преобразования $35 \cdot 10^{3}$, отношении сигнал/шум 15, разрешающей способности 36 штр/мм, рабочем диапазоне освещенности 10^{-5}–10^{-1} лк, диаметре фотокатода 25 мм, длительности импульса строба до 5 мкс. Матрица ПЗС имеет формат 752×582 пикселя при его размере 8,3×8,3 мкм и размере всей матрицы 4,6×6,8 мм. ИЛО может быть выполнен на базе ИЛПИ с рабочей длиной волны 0,81 мкм, средней мощностью излучения 0,24 Вт, мощности излучения в импульсе 400 Вт при длительности импульса излучения 120 нс и частоте 5 кГц или на базе твердотельного импульсного лазера с диодной накачкой, работающего на длине волны 1,06 мкм при средней мощности излучения 1 Вт, мощности излучения в импульсе 10 МВт, длительности импульса излучения 10 нс и частоте 100 Гц.

Рис. 20. АИ ТВ камера с повышенной дальностью действия

Новые разработки активно-импульсных телевизионных приборов ночного видения

Предлагается рассмотреть новые лазерные АИ ТВ ПНВ с еще более высокими характеристиками, предназначенные для использования в системах обеспечения безопасности и охраны различных объектов. Разработчиком таких систем традиционно является ООО «Талос» [25]. В настоящее время в ООО «ТАЛОС» самостоятельно или совместно с заводом «Юпитер» и ОКБ «АСТРОН» разработан целый ряд АИ ТВ ПНВ. Они могут быть в различном исполнении: удерживаемые в руках (например, прибор «Призрак-М») либо мобильного и стационарного базирования (например, прибор «Призрак-С», модель TLS2503). На их основе осуществляется разработка новых АИ ТВ ПНВ: удерживаемых в руках («Призрак-Р»), а также мобильного и стационарного базирования («Призрак-СМ»).

Основные параметры этих приборов приведены в таблице 5 в приложении.

На рис. 21 показан внешний вид приборов класса «Призрак».

Рис.21. Внешний вид прибора наблюдения класса «Призрак»

Рис. 22-24 иллюстрируют широкие возможности таких АИ ТВ ПНВ по сравнению с пассивными или активно-непрерывными низкоуровневыми ТВ системами (НТВС). На рис. 22 представлен типичный характер изображения в лазерный прибор класса «Призрак» при его работе в АИ режиме. Если в пределы подсвечиваемого по глубине пространства не попадает фон, то видны светлые изображения объекта на темном фоне (положительный контраст). Если фон попадает в эти пределы, то видно изображение темного силуэта на светлом фоне (отрицательный контраст). На рис. 22 слева видно изображение группы бойцов спецподразделений при их наблюдении в положительном контрасте и одиночной фигуры человека, наблюдаемого в отрицательном контрасте. На рис. 22 справа видно изображение бойца спецподразделения в камуфляжной форме. В обычные НТВС такая фигура не видна.

На рис. 23 показано слева окно, освещенное солнцем, наблюдаемое в НТВС. Справа – то же окно, наблюдаемое в прибор класса «Призрак»,

работающий в АИ режиме. Ясно видна фигура человека, не просматриваемая в НТВС.

На рис. 24 представлен характер наблюдения стекол автомашины для обычной НТВС (слева) и при работе прибора класса «Призрак» в АИ режиме (справа). Видно, что внутренняя часть автомашины в НТВС не видна, в то время как в прибор класса «Призрак» она хорошо просматривается.

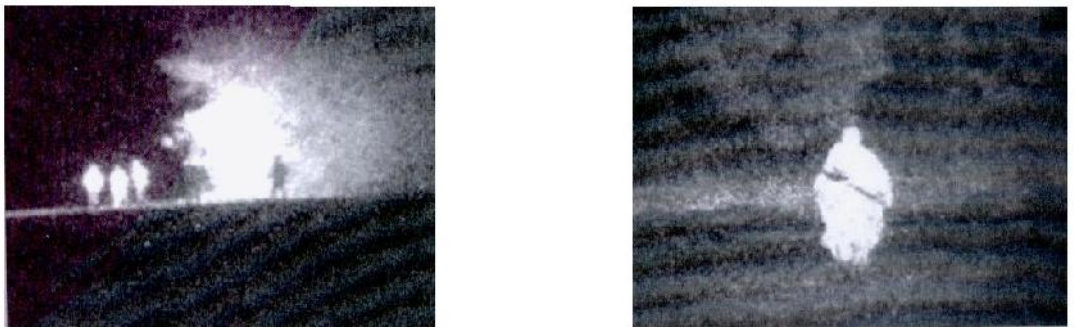


Рис. 22. Типичный характер изображения в лазерный прибор класса «Призрак» при его работе в активно-импульсном режиме. На левом рисунке слева видны фигуры людей при их наблюдении в положительном контрасте, справа – фигура человека при наблюдении в отрицательном контрасте. На правом рисунке показана фигура бойца спецподразделения при ее наблюдении в положительном контрасте.

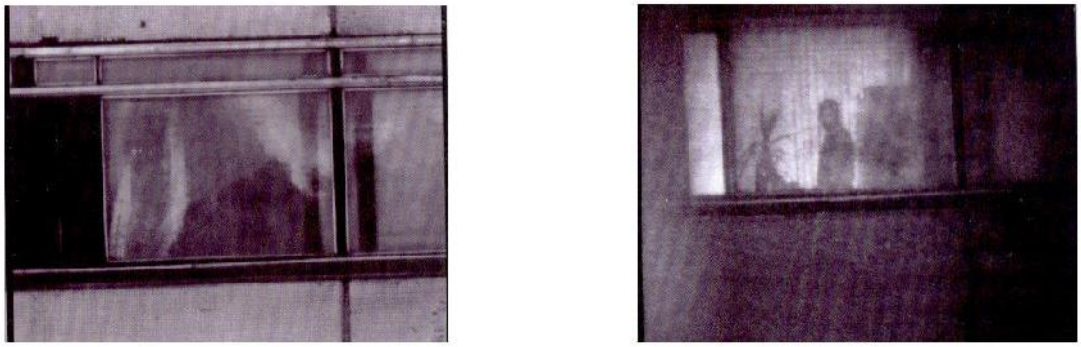


Рис. 23. Характер наблюдения окна здания для обычной низкоуровневой ТВ системы (слева) и при работе прибора класса «Призрак» в активно-импульсном режиме (справа)

Рис. 24. Характер наблюдения стекол автомашины для обычной низкоуровневой ТВ системы (слева) и при работе прибора класса «Призрак» в активно-импульсном режиме (справа)

Прибор разведки и целеуказания «Призрак-Р» обеспечивает следующие функциональные возможности: круглосуточность видения в любых погодных условиях, обнаружение встречного оптического или оптико-электронного наблюдения и прицеливания, защиту от встречных засветок и световых помех, раздельное наблюдение объектов по глубине просматриваемого пространства, расположенных на разных расстояниях от прибора, раздельное наблюдение малоконтрастных объектов и окружающего фона, подсвет затененных пространств, видение через тонированные или бликующие стекла зданий и автомобилей, фотографирование и видеозапись наблюдаемого изображения, точное измерение дальности до объекта наблюдения, точное измерение собственных координат и координат объекта наблюдения, дистанционное управление и передача данных, универсальность электронного питания.

Областью применения прибора «Призрак-Р» являются разведка и целеуказание, охрана VIP, охраняемых объектов, границ, территорий, акваторий и воздушного пространства. Областью применения прибора «Призрак-Р» является также повышение безопасности вождения автотранспортных средств и судов, пилотирования летательных аппаратов в условиях пониженной естественной освещенности (сумерки, ночь, полная темнота), а также в условиях пониженной прозрачности атмосферы и при воздействии световых помех, в том числе с использованием транспортных средств, осуществляющих патрулирование зон ответственности.

Прибор «Призрак-Р» отличается от своего прототипа – прибора «Призрак-М» расширенными функциональными возможностями, более высокими значениями параметров и уровнем защиты от воздействия внешней среды (см. таблицу 5 в приложении).

Прибор «Призрак-Р» содержит: ТВ визирный канал, лазерный канал обнаружения встречного наблюдения и прицеливания, а также точного измерения дальности, цифровой магнитный компас, ГЛОНАСС-GPS приемник, встроенное видеозаписывающее устройство, проводной и беспроводной канал внешнего управления и передачи данных, возможность подключения внешнего питания, возможность вывода видеосигнала, в том числе в персональный компьютер.

Прибор «Принц-Р» (рис. 25) предназначен для наблюдения окружающего пространства, обнаружения оптических и оптико-электронных средств противника, целеуказания и точного измерения дальности до объектов наблюдения. Он может быть использован для охраны VIP, охраняемых объектов, границ, территорий, акваторий и воздушного пространства, в том числе с использованием транспортных средств, осуществляющих патрулирование зон ответственности.

На рис. 26 показана возможность обнаружения бликов от оптических средств (в частности, прибора ПСО-1) с помощью прибора «Принц-Р».

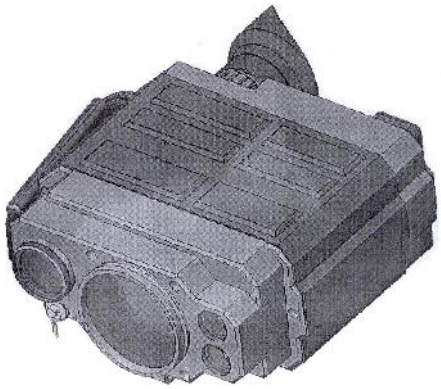


Рис. 25. Внешний вид прибора наблюдения «Принц-Р»

Рис. 26. Характер наблюдения бликов от оптического прицела ПСО-1, наблюдаемого в прибор «Принц-Р»

Прибор «Принц-Р» отличается от прототипа – прибора «ДОН-800» расширенными функциональными возможностями, более высокими значениями параметров и более высоким уровнем защиты от воздействий внешней среды. Основные параметры приборов «ДОН-800» и «Принц-Р» приведены в таблице 6 в приложении. Там же приведены параметры прибора «Принц-СМ» стационарного и мобильного базирования. Он обладает теми же функциональными возможностями, что и прибор «Призрак-СМ» и теми же преимуществами по сравнению с прибором «ДОН-800», что и прибор «Принц-Р».

Многоканальные комплексы наблюдения для систем обеспечения безопасности

В таблице 6 из приложения приведены также параметры перспективного многоканального приборного комплекса дальнего видеонаблюдения «Концепт-3СМ» и его прототипа – комплекса «ARGC-2400» фирмы Obzerv (Канада). Комплекс «Консепт-3СМ» содержит: тепловизионный (ТВП) канал, АИ ТВ канал, лазерно-дальномерный канал, систему видеоаналитики, навигационный модуль, систему управления, поворотное устройство, систему передачи данных, систему электропитания.

В качестве примера возможного конструктивного исполнения прибора «Концепт-3СМ» на рис. 27 представлен внешний вид многофункционального многоканального прибора наблюдения FLIR серии HCR фирмы FLIR Systems в переносном исполнении [26].

На рис. 28 показан вариант исполнения комплекса «Концепт-3СМ» в мобильном и в стационарном исполнении по типу конструкции многоканального прибора наблюдения «ABATAP» фирмы FLIR Systems в переносном исполнении [27].

На рис. 29 представлен вариант исполнения комплекса «Концепт-3СМ» в стационарном исполнении по типу конструкции поворотного многоканального прибора наблюдения «БРОНКО» фирмы FLIR Systems [28].

Рис. 27. Вариант исполнения комплекса «Концепт-3СМ» в переносном исполнении

Рис. 28. Вариант исполнения комплекса «Концепт-3СМ» в мобильном и в стационарном исполнении

Рис. 29. Вариант исполнения комплекса «БРОНКО» в стационарном исполнении

ТВП канал может использовать различные фотоприемные устройства, которые работают в области спектра либо 2-5 мкм, либо 8-12 мкм. Выбор рабочего спектрального диапазона определяется условиями применения ТВП канала. Диапазон спектра 2-5 мкм более эффективен при работе в условиях морского тумана, разряженной атмосферы и в условиях пустыни. Диапазон спектра 8-12 мкм целесообразно использовать при работе в приземных слоях атмосферы в условиях естественных природных температурных контрастов.

В отличие от прототипа «ARGC-2400» комплекс «Концепт-3СМ» содержит ТВП канал и лазерно-дальномерный канал. В приборе «ARGC-2400» используется ИЛО на основе мощной решетки лазерных диодов или на основе твердотельного лазера с диодной накачкой. Он обладает значительными массой и габаритами. [26]. В приборе «ARGC-2400» используется сложный и дорогостоящий объектив-трансфокатор с плавно изменяемым фокусным расстоянием. В приборе «Концепт-3СМ» вместо этого используются афокальные оптические насадки с дискретно изменяемым увеличением 2^x и 4^x как для осветителя, так и для приемного канала. Это позволяет упростить прибор и снизить его стоимость по сравнению с прототипом. Вместе с тем по дальности распознавания и идентификации прибор «Концепт-3СМ» не

уступает прототипу «ARGC-2400», который в настоящее время занимает пока еще доминирующее положение на мировом рынке.

Комплекс «Концепт-3СМ» предназначен для всепогодного и круглосуточного наблюдения наземного, надводного и воздушного пространства, обнаружения, распознавания и идентификации движущихся малоразмерных объектов, а также для целеуказания и точного измерения дальности и координат. Комплекс используется как составная часть системы обеспечения безопасности важных объектов, границ, территорий и воздушного пространства. Комплекс используется в качестве системы дальнего круглосуточного видения на транспортных средствах, включая бронемашины и суда. Комплекс может быть использован на летательных аппаратах (в первую очередь на вертолетах) для повышения безопасности полетов за счет своевременного обнаружения проводов ЛЭП и склонов гор при полетах в условиях пониженной прозрачности атмосферы и ночью.

В комплексе объединяются и представляются на едином ТВ мониторе изображения всех каналов в удобной для оператора форме.

Заключение

Таким образом, существует значительное количество видов твердотельных лазеров с накачкой ЛД для самых различных применений в науке и технике, и, прежде всего, в системах обеспечения безопасности. Описанные выше лазерные приборы наблюдения на основе указанных лазеров и многоканальный комплекс на их базе обладают высокими параметрами, многофункциональностью, круглосуточностью и всепогодностью работы. Это открывает новые возможности их применения в современной технике обеспечения безопасности.

Приложение

Таблица 1 - Основные характеристики мощных ЛД

№ п/п	Страна, фирма-поставщик	Модель	λ, нм/ $\Delta\lambda_{0,5}$, нм	*P*, Вт	$t_и$, мс/*F*, Гц	Размеры изл. обл., мм	$\Theta_{0,5}$, град.	$I_н$, А/ U, В	Режим работы/охл.	Габариты, мм/масса, г	Примечание
1	РФ, ОАО «НИИ «Полюс»	321 ДЛ-520В	920-960/5	85	4–5/1-2	10x0,001	10x40	100/2	КНР/без охл.		$P=10^8$ импульсов
2	-«-	321 ДЛ-520А	802-810/3	200	0,1-0,3/ 10-30	10x0,001	10x40	240/2	-«-		$P=10^8$ импульсов
3	-«-	322 ДЛ-522	920-960/5-8	175-300	4/1-2	(2x6)-(2x15)	10x40	20-25/ 20-42	-«-	-/50	$\Delta t_р$ = (-40)-(+60)
4	-«-	322 ДЛ-525А	795-812/3	1300 (λ = 807 нм)	0,25/20	4,5x5,5	10x40	130-/30	-«-	-/50	$\Delta t_р$ = (-40)-(+50)
6	-«-	322 ДЛ-525Б	795-812/3	2500 (λ = 802 нм)	0,25/20	10x5	10x40	300/36	-«-	-/50	$\Delta t_р$ = (-40)-(+50)
7	-«-	322 ДЛ-523	Многоспектр	1800-2000		5x10	10x40	90-250/ 60-70	-«-	-/50	$\Delta t_р$ = (-60)-(+65)
8	РФ, РФЯЦ ВНИИ ТФ	Наборная линейка ЛД сдвоенных	950-960/-	До 100	4/10			180/4,5		16x10x7/-	$P=5x10^7$ импульсов
9	-«-	Линейки ЛД	950-960/-	До 70	4/20	11x0,001		100/5			$P=5x10^7$ часов, $\Delta t_р$ до +50ºС
10	-«-	АТС-S1	665/-	1	-	$Ø_{ОВ}$ 0,2, NA=0,22		1,6/6	ТЭО	90x60x31/500	НР
11	-«-	АТС-S4	808; 980/-	4	-	$Ø_{ОВ}$ 0,2, NA=0,22		3,5/6	ТЭО	-«-	НР
12	-«-	АТС-S6	808; 980/-	6	-	$Ø_{ОВ}$ 0,4, NA=0,22		4,5/6	ТЭО	-«-	НР
13	-«-	АТС-S8	808; 980/-	8	-	$Ø_{ОВ}$ 0,2/0,6 NA=0,22		6/6	ТЭО	-«-	НР
14	-«-	АТС-Q70	950/5	70-80			40x12	100/2	ПО	24x12x10	КНР
15	-«-	АТС-Q150	805/4	150	$0,3/3,3x10^5$		40x12		ПО	24x12x10	КНР
16	-«-	Матрица ЛД	808/4	2400-2750				140/60	ПО	108x30x13	КНР
17	-«-	АТС-Q 2500-5x20	805/4	5000-5250			40x12	160/45	ПО	60x26x24	КНР

№ п/п	Страна, фирма-поставщик	Модель	λ, нм/ $\Delta\lambda_{0,5}$, нм	*P*, Вт	$t_и$, мс/*F*, Гц	Размеры изл. обл., мм	$\Theta_{0,5}$, град.	$I_н$, А/ U, В	Режим работы/охл.	Габариты, мм/масса, г	Примечание
18	-«-	АТС-Q 5000	805/4	5000	0,3/3,3x10^5		40x12		ПО	114x30x24	КНР
19	-«-	АТС-Q 5000-10x20	805/4	5000-5250			40x12	290/45	ПО	78x30x24	КНР
20	-«-	ЛД03-975-xxx-yzzz-0000	808; 975/3-5	До 100		10x0,001		110/1,9		32x12x11	КНР
21	-«-	МЛД02-114-1700-0000	808/2	1700	0,2/100	5,9x22,3		120/35		32,5x15x12	НР
22	-«-	МЛД01-xxx-yzzz-0000	808; 975/3-5	До 1000				110/20			
23	-«-	ЛМ-975-30-ТФ	975/7	30		$Ø_{ОВ}$ 0,125, NA=0,22		9/12	ВО	86x73x30	
24	-«-	ЛМ-975-40-ТФ	975/7	42		-«-		9/13,5	ВО	86x64x40	
25	-«-	Линейка ЛД	950-960/-	100	4/10			80/4,5		16X10X7	P= 5x10^7 импульсов
26	РФ, ГП НПП «Инжект»	Наборная решетка ЛД СЛМ-1	808/4	1000	0,5/100	10x5 (500 Вт) 10x10 (1000 Вт)	35x10	40/60	ВО со скоростью 1,5 л/мин.	9x13x15	КНР
27	-«-	То же СЛМ-2	808/4	1250	0,5/100	5x25	35x10	40/120	ВО	10x29x10	P=10^9 импульсов
28	-«-	То же 32ДЛ-501	808/4	250	0,4/20	5x5	35x10	40/30	ТЭО	7x40x8	-«-
29	-«-	То же 32ДЛ-502Л	808/4	400	0,4/20	10x5	10x5	40/60		40x40x8	-«-
30	-«-	То же 32ДЛ-503	808/4	250	0,4/20	9,5x2	35x10	16/60	ТЭО	12x12x10	-«-
31	-«-	То же 32ДЛ-504	808/4	1000	0,3/20	10x10	35x10	80/60	ТЭО	12x44x8	-«-

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/06-Volkov.pdf

№ п/п	Страна, фирма-поставщик	Модель	λ, нм/ $\Delta\lambda_{0,5}$, нм	*P*, Вт	$t_{и}$, мс/*F*, Гц	Размеры изл. обл., мм	$\Theta_{0,5}$, град.	$I_{Н}$, А/ U, В	Режим работы/охл.	Габариты, мм/масса, г	Примечание
32	-«-	То же ЛЛД-10	808/3	15		7,5x0,001	35x10	15/2,5	ТЭО		
33	-«-	То же ЛЛД-20	808/3	25		5x0,001	35x10		ТЭО		$W_{и}$ = 7,5 мДж
34	-«-	СЛМ-П-8	808/5	4x2000	50/10	22,2x10,6	40x15	4x28/170			
35	Германия, JENO OPTIK Laser GmbH	JOLD-80-CANN-1L	807; 938; 976/3	80			37x7	95-97/ 1,7-2	ВО	38,9x16,2x11,2	НР, срок службы 10^4 часов
36	-«-	JUM10k/M40/CB	808/4	10		5,2x2,8	40x30	15/2	В	54x78x27	-«-
37	-«-	JUM26k/M60/CB	808/4	26		5,2x7,8	40x80	42/2	-«-	-«-	-«-
38	-«-	JUM4200/M10/CB_TEC	808/4	4,2		1,1x1,1	17x17	6,5/2	-«-	54x20x48	-«-
39	-«-	JUM3200/M20/CB_TEC	975/4	3,0		-«-	10x10	5,5/1	-«-	-«-	-«-
40	-«-	JUM7000/dental_HHL	810/-975	7,0 7,0		$Ø_{ОВ}$ 0,4, NA=0,22		1,7/2,4	-«-	44,5x19,2x31,8	-«-
41	-«-	JOLD-x-CPNN-1L	808; 915; 938; 976/5	100			46x6	112/1,8	ВО	25x15x 13,9	НР, срок служ бы 2x10^4 часов
42	-«-	JOLD-200-QPNN-1L	808/5	200			63x9	108/2,2	ВО	-«-	-«-
43	-«-	JOLD-310-HS-4L	807/5 938/5	310		6,4x1,3		102/8	ВО	72,1x30x9,5	НР
44	-«-	LenLas.® diode	808; 940	25-50		$Ø_{ОВ}$ 0,6, NA=0,22			В	1/Ø50x142 Длина волоконного кабеля 5 м Блок питания 20/482,6x193 0,4x500	НР

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/06-Volkov.pdf

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/06-Volkov.pdf

№ п/п	Страна, фирма-поставщик	Модель	λ, нм/ $\Delta\lambda_{0,5}$, нм	*P*, Вт	$t_и$, мс/*F*, Гц	Размеры изл. обл., мм	$\Theta_{0,5}$, град.	$I_Н$, А/ U, В	Режим работы/охл.	Габариты, мм/масса, г	Примечание
45	США, Cohe rent	High Light D-Series	975±10/-	2000	3/300	1x12		80-100/ ~400-460 В, 47-63 Гц	ВО	283x190x201/ 23 (ЛИ) 1360x586x850 /250 (БП) 2005x874x187 2/600 (БО)	НР
46	-«-	-«-	975±10/-	8000	3/300	1x30		-«-	ВО	-«-	НР
47	-«-	PulseLife G-stack	808/3,5	700	0,25/80	0,4x10	40x12	103/13,4	В	25,15x10,8x6, 86	

Примечания: λ – длина волны, *P* – мощность излучения, $t_и$ – длительность импульса излучения, *F* – частота, $\Theta_{0,5}$ –угловая расходимость излучения на уровне половинной интенсивности, $I_Н$ – ток накачки, напряжение питания, $\Delta t_р$ – диапазон рабочих температур, $Ø_{ОВ}$ – диаметр оптического волокна, NA – его апертура, $W_и$ – энергия в импульсе, ЛИ – лазерный излучатель, БП – блок питания, БО – блок охлаждения, НР – непрерывный режим, КНР – квазинепрерывный режим, Р – ресурс, ПО – пассивное охлаждение, В – воздушное охлаждение, ВО – водяное охлаждение.

Таблица 2 - Основные параметры типичных мощных твердотельных лазеров с диодной накачкой [5 – 10, 19]

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$W_и$, мДж	$P_{ср}$, Вт	$t_и$, нс/*F*, кГц	Ø пучка изл., $1/e^2$/ θ, мрад	*U*, В/$P_э$, Вт	Система охлаждения	Масса, кг/ габариты, мм
1	ЗАО «Полупроводниковые приборы»	Nd:YAG	1064	1,0	6-7	30-70 нс/10-30	0,8-1,0/-	~200±40/-	Воздушное	2/300x120x80
2	-«-	Nd:YAG	532	30	6	15/20	5/2	-/400	Воздушное	
3	General Atomics Photonics Division	Everest 1064	1064	2,5	25	4±1 нс/1-50	0,7/3,5	~220/5000	Замкнутое водяное	Лазерный излучатель 18,14/ 641,4x406,4x76,2; блок питания 63,5/654,1x567,7x939,8
4	-«-	Everest 532	532	1,5	15	-«-	-«-	-«-	-«-	-«-
5	-«-	Everest 355	355	0,8	8	-«-	-«-	-«-	-«-	-«-

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$W_и$, мДж	$P_{ср}$, Вт	$t_и$, нс/F, кГц	Ø пучка изл., $1/e^2$/ θ, мрад	U, В/$P_э$, Вт	Система охлаждения	Масса, кг/ габариты, мм
6	JENOOPTIK GmbH	Jen Las® D2 fs	1025	40 20	$4x10^{-9}$ $4x10^{-9}$	<400 фс/100-200	-/1,25	~100-240/600	Воздушное или водяное	Лазерный излучатель 65/805x212x200 Блок контроля 20/- Блок охл. 42/-
7	-«-	JEN Las® D2	532	0,175	3,5	1 мс/20 или непрерывн.	2/5	2/60ВА		1,8/70x40x 200
8	-«-	JEN Las® D2,8	532	0,4	8	-«-	-«-	2/80ВА		2,6/110x55x225
9	Группа компаний «Лазер компакт»	DTL-419QT (527) импульсный	527	>30 (до 10 кГц)	0,5 (4 кГц)	<10 (до 10 кГц)/ до 10	2±0,6/0,7±0,4	=12±10% /72	В	<3,5/311x122x90 (И+УВО) <2,5/150x110x115 (БП+УВО)
10	-«-	DTL-314QT (532 нм) импульсный	532	>1 (до 10 кГц)	0,04 (3 кГц)	7±3 (до 1 кГц)/ до 10	≤0,4/≤3	=12±10%/ 72	-«-	≤3,5/299x122x90 (И+УВО) ≤2,5/150x110x115 (БП+УВО)
11	-«-	DTL-413 (527 нм) непрерывный	527		0,2-1,5		0,8±0,1/≤1	=10,8-13,2/65	-«-	≤1,6/241x90x122 (И+УВО) ≤0,6/203x121x94 (И+УВО)
12	-«-	DTL-329QT (1053 нм) импульсный	1053	0,2-0,3	0,6-0,9	7±3/ до 30	2,3±0,5/0,4±0,1	=12±10%/<72	-«-	<3,5/301x122x90 (И+УВО) <2,5/150x110x115 (И+УВО)
13	-«-	DTL-324QT (1064 нм) импульсный	1064	0,03 (10 кГц)	0,3 (10 кГц)	7,5±2,5/10	<1,5/<1,6	=12±10%/<72	-«-	<3,5/299x122x90 (И+УВО) <2,5/150x110x115 (И+УВО)
14	-«-	DTL-423 (1053 нм) непрерывный	1053		0,3-2,5		1,2±0,2/≤1,6	=10,8-13,2/65	-«-	≤1,6/241x90x122 (И+УВО) ≤0,6/203x121x94 (И+УВО)

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$W_и$, мДж	$P_{ср}$, Вт	$t_и$, нс/F, кГц	Ø пучка изл., 1/e^2/ θ, мрад	U, В/$P_э$, Вт	Система охлаждения	Масса, кг/ габариты, мм
15	-«-	DTL-322 (1064 нм) непрерывный	1064		0,3-2,0		1,2±0,1/≤1,2	=10,8-13,2/<100	-«-	≤2,3/236x90x116 (И+УВО) ≤1,6/206x121x94 (И+УВО)
16	-«-	DTL429QT (527 нм) импульсный	527	>0,1 (10 кГц)	1000	<15 (10 кГц)	2,3±0,5/0,8±0,2	=12±10%/<72	-«-	<3,5/301x122x90 (И+УВО) <2,5/150x110x115 (И+УВО)
17	-«-	DTL-394-QT (263, 522, 1053 нм одновременно) импульсный	263 527 1053	>0,01 >0,1 >0,1	0,016 >0,35 >0,7	<12/<10 <40/30 <60/30	<1/<1 <1/<3 <2/<4	=12±10%/-	-«-	-«-
18	-«-	DTL-399QT (351, 527, 1053)	351 527 1053	>0,05 >0,05 >0,1	0,1 >0,01 >0,1	<30/10 <40/30 <70/30	1,05/0,55 1,3/<1,3 <1,75/<2,5	=12±10%/-	-«-	-«-
19	-«-	DTL-392QT (527, 1053 нм) импульсный	527 1053	>0,15 >0,15	>0,35 >0,8	<60/50 <80/50	<0,7/<3 <1/<4	=12±10%/-	-«-	-«-
20	-«-	DTL-389QT (263 нм) импульсный	263	0,004-0,01	0,006-0,03	<5/10	<1/<1	=12±10%/<72	-«-	-«-
21	-«-	DTL-379 (351 нм) импульсный	351	0,05-0,1	0,1-0,2	5±2/10	<0,75/<0,7	-«-	-«-	-«-
22	-«-	DTL-375QT (355 нм) импульсный	355	0,02	>0,035	-«-	0,7±0,2/5±0,6	--«-	-«-	≤3,5/299x122x90 (И+УВО) ≤2,5/150x110x115 (БП+УВО)

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$W_и$, мДж	$P_{ср}$, Вт	$t_н$, нс/F, кГц	Ø пучка изл., $1/e^2$/ θ, мрад	U, В/$P_э$, Вт	Система охлаждения	Масса, кг/ габариты, мм
23	ООО «Промэнерголаб»	Наносекундный лазер NT253 с перестраиваемой λ	210 – $12x10^3$	0,45 при 480 нм	0,045-2,25	3-9/0,1-0,5	2,5/-	~110-220, 50/60 Гц/500	-«-	-/300x260x820 (И) -/365x289x392 (БП)
24	-«-	Наносекундный лазер NL220	1064	10	1000	<10/1	2,5/<	~100-220, 50/60 Гц/ <1000	ВО-В	-/453x274x824 (И) -/365x289x392 (БП)
25	-«-	Перестраиваемый наносекундный лазер NT242	400-2600	0,45	450	3-6/1	2,5/-	~90-240, 50/60 Гц/ 1000	-«-	-/453x274x824 (И) -/365x289x392 (БП)
26	-«-	Наносекундный лазер Baltic532	532	$0,583x10^{-2}$	3,5	6-18/2,5-100	0,7/< 1,4	~100-240, 50/60 Гц/<300	-«-	-/320x114x\751 (И) -/472x289x461 (БП)
27	-«-	Наносекундный лазер Baltic HP 1064	1064	20-60	20	10-30/5-100	0,7/<1,3	~100-240, 50/60 Гц/<600	-«-	-/396x123x480 (И) -/553x472x530
28	-«-	Пикосекундный лазер PL2250	1064	1	$15x10^{-16}$	30 пс/0-0,05	2,5/<1,5	~110-240, 50/60 Гц/<150	В	-/396x123x480 (И) -/553x472x530
29	ЗАО «Лазеры и оптические системы»	Nd:YAG лазер для дальномера	1064; 1570	100 (1064 нм) 30 (1570 нм)	2,5 (1064 нм) 0,075 (1570 нм)	12/25	-/3 DL (1064 нм) -/5 DL (1570 нм)		-«-	4/320x160x100
30	-«-	Лазер на Yb-Er для дальномера	1540	10	0,1; 0,2	25/10, 20	-/5 DL		-«-	0,4/140x60x48
31	-«-	Nd:YLF лазер для авиационного лидара	1047; 0,523; 0,262 (0,349)	50 (1047); 20 (0,523); 6 (0,262 (0,349)	5 (1047); 2 (0,523); 0,6 (0,262 (0,349)	10/100	-/1,2 DL		-«-	7/400x182x142

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/06-Volkov.pdf

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$W_и$, мДж	$P_{ср}$, Вт	$t_и$, нс/F, кГц	Ø пучка изл., 1/e^2/ θ, мрад	U, В/$P_э$, Вт	Система охлаждения	Масса, кг/ габариты, мм
32	-«-	Nd:YLF лазер для спутник. высотомера	1047	150	0,15	10/1	-/3 DL		-«-	4/270x225x80
33	ООО «СОЛ инструментс», Беларусь	DF 152/4	1064 532 355 266	140 80 20 20	2,8 0,16 0,04 0,04	12-14/20	5/1,2	~90-240, 50-60 Гц/115	В	5,9/450x190x90 (И) 5,8/364x147x391 (БП)

Примечания: λ – рабочая длина волны, $W_и$ – энергия в импульсе, $P_{ср}$ – средняя мощность излучения, $t_и$ – длительность импульса излучения, F – рабочая частота, Ø пучка изл. – диаметр пучка излучения, θ – угол расходимости излучения, U – напряжение питания, $P_э$ – энергопотребление, И – излучатель, БП – блок питания, В – воздушное охлаждение, ВО – водяное охлаждение, ВО-В – водяное-воздушное охлаждение.

Таблица 3 - Основные параметры типичных малогабаритных твердотельных лазеров с диодной накачкой [6, 8, 11, 12, 14, 20]

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$W_и$, мДж	$P_{ср}$, Вт	$t_и$, нс/F, кГц	Ø пучка изл., 1/e^2/ θ, мрад	U, В/$P_э$, Вт	Система охлаждения	Масса, кг/ габариты, мм
1	Группа компаний «Лазер компакт»	LCS-T-11 (532 нм) Непрерывный	532		0,003		1±0,2/1,2±0,2	~110 – 240, 50-60 Гц/-	В	<0,2/Ø25x125 (И) <0,3/66x80x169 (БП)
2	-«-	LCM-S-111 (532 нм) Непрерывный одночастотный	532		0,011-0,022		0,6±0,1/1,1±0,1	=4,5-6/18-24	-«-	<0,15/90x40x29 (И) -/85x60x31 (БП)
3	-«-	LCM-T-111 (1064) непрерывный	1064		0,01-0,2		1±0,2/2,4±0,4	=3,3-3,5/5	-«-	-/Ø14,8x112
4	-«-	LCS-T-12 (1064 нм) Непрерывный	1064		0,05		-«-	~110 – 240, 50-60 Гц/-	-«-	<0,2/Ø25x125 (И) <0,3/66x80x169 (БП)

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$W_и$, мДж	$P_{ср}$, Вт	$t_и$, нс/F, кГц	Ø пучка изл., 1/e^2/ θ, мрад	U, В/$P_э$, Вт	Система охлаждения	Масса, кг/ габариты, мм
5	-«-	LCM-S-112 (1064 нм) Непрерывный одночастотный	1064		0,21		0,6±0,1/2,2±0,2	=4,5-6/18-24	-«-	<0,15/90x40x29 (И) -/85x60x31 (БП)
6	-«-	TECH-263	263	50	0,2	3/5		=24/<75	-«-	<1/175x70x40 (И) 4,5/232x204x95
7	-«-	TECH-351	351	250	1	4/5		=24/<75	-«-	
8	-«-	TECH-527	527	500	2	4/5		=24/<75	-«-	
9	-«-	TECH-1053	1053	10^3	4	5/5		=24/<75	-«-	
10	ЗАО «Полупроводниковые приборы»	Для лазерных дальномеров, импульсный	1500 1600	>2 >8	10 80	30/<5 30/<10	-/0,7		-«-	<0,3/- <0,8/-
11	-«-	На основе Nd:YAG, импульсный	1064/532	1,2/0,4	7	15-20/0,004-32		~220, 50-60 Гц/400	-«-	-/300x120x80
12	ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова	На основе Yb-Er для лазерных дальномеров	1540	8	0.08	25/10 Гц	-/5		-«-	0,7/140x60x48
13	ОАО ЛОМО	БИЛ-Д2 Эрбиевое стекло	1500	12	0,12	<40/2-10 Гц	2/8		-«-	<0,3/106x35x27
14	-«-	Л12-7Д Эрбиевое стекло	1540	12	0,12	<40/10 Гц	4/4		-«-	<0,36/120x50x64
15	-«-	Л11-Д Неодимовое стекло	1064	2		50/-	1/4		-«-	0,8/180x95x100
16	-	Laser Pointer, непрерывный	532		0,2		1,9/1,5	=4,2/2,5	-«-	0,16/Ø20x105
17	-	-«-	532		0,2		1,5/1,5	=3/1,65	-«-	0,12/Ø14x155
18	Мослазерлаб.	PC-01Q	1064	0,12	0,8	<10/30	1,8/1,4	=27/54 (135)	-«-	0,5/150x48x35 (И) 1,5/200x120x74
19	Standa Ltd., Литва	SNANDA-Q1	1064	0,1	100	1/1000	1,2/5	~110-230/-	-«-	-/79x39x110 (И) 223x94x197 (БП)
20	-«-	STA-02-SH-CW	532		0,02		1,2/1,5	=4,7-5,5/14-16,5	-«-	-/104x58x33 (И) -/124x104x34 (БП)

Примечания: см. примечания к табл. 2

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/06-Volkov.pdf

Таблица 4 - Основные параметры типичных миниатюрных твердотельных лазеров с диодной накачкой [13-15, 18, 20]

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$P_{вых}$, мВт	Ø пучка изл., $1/e^2$/ θ, мрад	*U*, В	*I*, мА	Масса, г/габариты, мм	Примечание
1	ООО «ЛаС»	DMH-532-20	532	20	0,5	3/5	< 450	-/Ø20x80	Пятно подсвета - точка
2	-«-	DMH-532-30	532	30	1,0	3/5	< 500	-/Ø14x45	-«-
3	-«-	DMH-532-50	532	50	1,0	3/5	< 650	-/Ø14x45	-«-
4	-«-	DMH-532-65	532	65	0,8	3	< 600	-/Ø14x45	-«-
5	-«-	LMH650-15	532	15	0,5	3/5		Ø20x80	Пятно подсвета - линия
6	-«-	CMH532-10	532	10	0,1-0,2	3/5	-	Ø20x80	Пятно подсвета - перекрестие
7	-«-	LPH532-30	532	30	-	3	-	70/ Ø13,6x60	Пятно подсвета - точка
8	-«-	LPH532-50	532	50	-	3	-	-«-	-«-
9	-«-	LPH532/650-50	532/650	50/50	-	3	-	Ø15x150	-«-
10	-«-	LPH532/650-100	532/650	100/100	-	3	-	-«-	-«-
11	-«-	LPH532/405-50	532/405	50/50	-	3	-	-«-	-«-
12	-«-	LPH532/405-100	532/405	100/100	-	3	-	-«-	-«-
13	-«-	LSP-532/405/650-100	532/405 /650	100/100/100	-	3	-	Ø28,5x208	-«-
14	-«-	LPH-532-200	532	200	-	3	-	Ø14x160	-«-
15	-«-	LPH-532-300	532	300	-	3	-	Ø23x128	-«-
16	-«-	LSP-532-600	532	600	1,2±0,2	3	-	Ø40x220	-«-
17	-«-	LPH-405-200	405	200	-	3	< 250	Ø14x160	-«-
18	-«-	LSP-445-1000	445	1000	-	3	1100	Ø14x160	-«-
19	-«-	LSP-450-200	450	200	-	3	-	Ø14x130	-«-
20	-«-	LSP-473	473	50	-	3	-	Ø14x130	-«-
21	-«-	LPH-589-5	589	5	-	3	-	Ø14,5x150	-«-
22	-«-	-	445	600	< 1,5	3,7	< 1600	22x25,5x140	Наработка > $8x10^3$ час
23	-«-	-	445	1000	1,5	3,7	1600	22x25,5x140	Наработка > $5x10^3$ час
24	-«-	-	532	1000	-	3,7	-	-	-«-
25	-«-	-	445	1000	1,5	3,7	-	378/Ø35,8x228	
26	ГП НПП «Инжект»	ИЛТН-2001	531	20	-	3,7	3600		$U_{тэо}$ 3,7 В, $I_{тэо}$ = 3,6 А
27	-«-	ИЛТН-4001	531	50-100	1.2/6	3	1100 - 2500		-»-

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/06-Volkov.pdf

№ п/п	Фирма	Модель	λ , нм	$P_{вых}$, мВт	Ø пучка изл., $1/e^2$/ θ, мрад	U, В	I, мА	Масса, г/габариты, мм	Примечание
28	-«-	ЛТИ-5001	1064	95 (средняя)	1,2/<1,3	2,5	1700 - 2000		$P_и$ = 9,5 кВт, $W_и$ = 3,6 мкДж, $t_и$ = 1,7 нс, F = 9,5 кГц
29	Nc STAR, США	NcSTAR ACPTLG	532	8	1/<1	3		100/83x33x40	Масса с источником питания
30	-«-	NcSTAR APRLSRG	532 и 635-652	5	1/<1	3		206/131x 35x44	Масса – с кронштейном и с выносной кнопкой
31	Институт физики им. Б.И. Степанова	IFL-E81-P	1535	8 (средняя)	-/1,3			75x45x30	$t_и$ = 20 нс, F = 1 Гц, $W_и$ = 8 мДж
32	Standa Ltd., Литва	STA-01-TH	355	15	1,3/-			Ø30x120	$t_и$ = 0,5 нс, F = 10 кГц, $W_и$ = 1,5 мкДж

Примечания: λ – рабочая длина волны, $W_и$ – энергия в импульсе, $P_{ср}$ – средняя мощность излучения, $t_и$ – длительность импульса излучения, F – рабочая частота, Ø пучка изл. – диаметр пучка излучения, θ – угол расходимости излучения, U – напряжение питания, $P_э$ – энергопотребление, И – излучатель, БП – блок питания, В – воздушное охлаждение, ВО – водяное охлаждение, ВО-В – водяное-воздушное охлаждение.

Таблица 5 - Основные параметры АИ ТВ ПНВ.

Тип АИ прибора	**удерживаемый в руках**		**мобильного и стационарного базирования**	
Фирма-производитель	ООО НПП «ТАЛОС»	ООО НПП «ТАЛОС»	ООО НПП «ТАЛОС»	ООО НПП «ТАЛОС», ОАО завод «Юпитер», ОКБ «АСТРОН»
Модель	«Призрак-М» «Призрак-С»	«Призрак-Р» «Призрак-СМ»	«Призрак-С» (модель TLS2503)	«Призрак-СМ»
Габариты, мм - длина - ширина - высота	 225 145 70	 200 150 70	 493 175 168	 350 250 168
Масса с батареей питания, кг	1,7	1,7	6,5	6
Энергопотребление, Вт	-	-	60 (включая подогрев)	70 (включая подогрев)
Время непрерывной работы от батареи (встраиваемой или внешней), ч	3	3	3	3
Внешнее управление	RS485	RS232/RS485/Ethernet	RS485	RS232/RS485/Ethernet
Внешний видеовыход	CCIR	CCIR/BT656	CCIR	CCIR/BT656
Угол поля зрения, град.	5,5x4,1	5,5x4,1/9,7x7,3	5,5x4,1	5,5x4,1/9,7x7,3
OLED дисплей	Черно-белый 800x600 эл.	Цветной 800x600 зл.	Черно-белый 800x600 эл.	Цветной 800x600 зл.
Дальность обнаружения ПСО-1, м	1200	1300	2500	3500
Дальность распознавания ростовой фигуры человека, м	600	700	700	700
Дальность распознавания танка, м	900	1000	2500	3500
Точность измерения дальности, м	± 10	± 10	± 10	± 10
Регулировка мощности излучения подсвета	1; ½; 1/4; 1/8; 1/16	1; ½; 1/4; 1/8; 1/16; 1/32	1; ½; 1/4; 1/8; 1/16	1; ½; 1/4; 1/8; 1/16; 1/32
Система бесперебойного питания	нет	есть	нет	есть
Индикация наработки прибора и состояния батареи питания	нет	есть	нет	есть
Уровень защиты от воздействия внешней среды	IP54	IP67	IP54	IP67
Сертификация	EMC Laser Safety	Все виды	EMC Laser Safety	Все виды
Встроенный цифровой магнитный компас	нет	есть	нет	есть
Встроенный GPS/ГЛОНАСС приемник	нет	есть	нет	есть
Автоматическое обнаружение	нет	есть	нет	есть
Встроенное фото- и видеозапись	нет	есть	нет	есть
Беспроводная передача данных	нет	есть	нет	есть
Рабочая внешняя освещенность, лк	0 – $8x10^4$	0 – $8x10^4$	0 – $8x10^4$	0 – 10^5
Диапазон рабочих температур, °С	(-25) – (+40)	(-40) – (+60)	(-40) – (+60)	(-50) – (+60)
Глубина зоны подсвета, м	10; 20, 50; 100; 200; 500	10; 20, 50; 100; 200; 500	10; 20, 50; 100; 200; 500	10; 20, 50; 100; 200; 500

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/06-Volkov.pdf

Таблица 6 - Основные параметры лазерных приборов разведки и целеуказания, а также лазерных приборных комплексов дальнего видеонаблюдения

Тип прибора	антиснайперские приборы разведки и целеуказания			комплексы дальнего видеонаблюдения	
Характер применения	удерживаемый в руках	удерживаемый в руках	стационарного и мобильного применения	стационарного и мобильного применения	стационарного и мобильного применения
Фирма-изготовитель	ООО НПП «ТАЛОС»	ООО НПП «ТАЛОС»	ООО НПП «ТАЛОС»	Obzerv (Канада)	ООО НПП «ТАЛОС», ОАО завод «Юпитер», ОКБ «АСТРОН»
Модель	«ДОН-800»	«Принц-Р»	«Принц-СМ»	ARGC-2400	«Концепт-ЗСМ»
Общие данные					
Габариты, мм - длина - ширина - высота	 200 172 76	 170 140 70	 170 140 70	 560 520 370	 550 500 360
Масса с батареей питания, кг	1,8	1,9	4	55	42
Рабочий диапазон температур, ºС	(-30) – (+50)	(-40) – (+50)	(-40) – (+50)	(-20) – (+40)	(-40) – (+50)
Защищенность от внешних воздействий	IP54	IP67	IP67	-	IP67
Рабочая внешняя освещенность, лк	10^{-2} – 6x10^{4}	10^{-2} – 8x10^{4}	10^{-2} – 8x10^{4}	-	0 – 10^{5}
Вид управления	RS485	RS485/Ethernet	RS485/Ethernet	RS232/Ethernet	RS232/Ethernet
Внешний видеовыход	CCIR	CCIR/BT656	CCIR	CCIR/BT656	CCIR/BT656
Время работы от батареи питания, ч	2	3	5	-	-
Дальность обнаружения ПСО-1, м	800	1000	1000	-	-
Напряжение, В	=12 – 16,8 или ~ (100 – 240, 50 – 60 Гц)	=12 – 16,8 или ~ (100 – 240, 50 – 60 Гц)	=12 – 16,8 или ~ (100 – 240, 50 – 60 Гц)	= 9 – 15 или ~ (100 – 240, 50 – 60 Гц)	=27 или ~ (100 – 240, 50 – 60 Гц)
Энергопотребление, Вт	6	6	6	350	250
Опции					
Цифровой магнитный компас, инклинометр	нет	есть	есть	есть	есть
GPS/ГЛОНАСС приемник	нет	есть	есть	нет	есть
Встроенная фото- и видеозапись	нет	есть	есть	нет	есть
Дистанционная передача данных	проводная	проводная и беспроводная	проводная и беспроводная	проводная	проводная и беспроводная
Тепловизор	нет	нет	нет	внешний	встроенный
Дальномер	нет	есть	есть	нет	есть

Тепловизионный канал					
Тип фотоприемного устройства (ФПУ)	-	-	-	-	Микроболометрическая матрица
Рабочая область спектра, мкм	-	-	-	-	7 – 14
Чувствительность, мк	-	-	-	-	< 40
Число пикселей в ФПУ	-	-	-	-	640x480
Угол поля зрения, град., узкое/широкое	-	-	-	-	2,3x1,7/12,4x9,3
Фокусное расстояние объектива, мм	-	-	-	-	275/50
Стандарт видеосигнала	-	-	-	-	PAL
Дальность распознавания ростовой фигуры человека, м	-	-	-	-	3000
Дальность распознавания танка, м	-	-	-	-	8000
Активно-импульсный канал обнаружения бликов					
Количество лазеров	2	1	1	-	-
Класс лазерной опасности	1М	1М	1М	-	-
Угол поля зрения, мрад. x град.	1x4	1x3	1x3	-	-
Точность определения координат цели, мрад x град.	1x0,17	1X0,17	1x0,17	-	-
Точность измерения дальности, м	± 5	± 5	± 5	-	-
Скорость горизонтального сканировании, град/с	10	10	20	-	-
Эффективность работы в тумане	высокая	высокая	высокая	высокая	высокая
Дальность обнаружения ПСО-1, м	800	1000	1000	-	-
Время обнаружения, с	-	0,04	0,04	-	-
Телевизионный визирный канал					
Угол поля зрения, град.	8x6	8x6	8x6	(0,12x0,09)x (0,46 – 0,34)	1,5x1,1 44x33
Увеличение, крат.	-	3,5	3,5	78 - 312	30
Внешний видеовыход	CCIR	CCIR/BT650	CCIR/BT650	CCIR/BT650	CCIR/BT650
OLED дисплей	Черно-белый, разрешение 800x600 эл.				
Минимальная рабочая освещенность, лк	-	-	-	1,5 - 2	0,1
Способ индикации обнаружения бликов	видео	видео, звуковой	видео	видео	видео
Дальномерный канал					
Измеряемая дальность, м	-	-	-	-	$50 – 10^4$
Длина волны, мкм	-	-	-	-	1,54
Частота измерений, Гц	-	-	-	-	2

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/06-Volkov.pdf

Низкоуровневый защищенный пассивный/активно-импульсный ТВ канал					
Дальность распознавания ростовой фигуры человека, м	-	-	-	8000	9000
Дальность распознавания танка, м	-	-	-	15000	16000
Угол поля зрения, град., узкое/широкое	-	-	-	ТВ (0,15x0,11) – (0,61x0,46)	ТВ (0,15x0,11); (0,61x0,46)
Угол подсвета, град.	-	-	-	(0,15x0,11) – (0,61x0,46)	(0,15x0,11); (0,61x0,46)
Длина волны подсвета, мкм	-	-	-	0,808 – 0,86	0,808 – 0,806
Диапазон внешней освещенности, лк	-	-	-	-	$0 - 10^5$
Глубина зоны подсвета, м	-	-	-	30 - 1000	10 - ∞
Мощность излучения импульса подсвета, Вт	-	-	-	5250	16000
Средняя мощность излучения подсвета, Вт	-	-	-	16	16
Частота подсвета, Гц	-	-	-	30	10

Литература

1. Сравнение конструкций твердотельных лазеров. [Электронный ресурс] www.litografa global view…litografa.lt.index.php?id=65,319,0,0,1,0 (дата обращения 30.05.2016).

2. Лазерные диодные линейки и решетки // Проспект ОАО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха». М., 2013. – URL: http://www.polyus.msk.ru, http://www.polyus.info (дата обращения 30.05.16 г.).

3. Матрицы и линейки лазерных диодов // Каталог Российского Федерального Ядерного Центра – Всероссийского научно-исследовательского института технической физики им. Академика Е.И. Забабахина. Снежинск, 2012. – URL: www.vniitf.ru. (дата обращения 30.05.16 г.).

4. Наборные решетки лазерных диодов // Каталог ГП НПП «Инжект», Саратов, 2013. – URL: www.inject-laser.ru/products/oscillators/subpagel.ivp. (дата обращения 30.05.16 г.).

5. High Brightness Diode Laser Modules // Каталог фирмы JENOPTIK Germany GmbH, Diode Laser Group, Германия. 2012. – URL: www.jenoptik-com/en-semiconductor-lasers, www.jenoptik.com/diodelasers (дата обращения 02.06.16 г.).

6. Лазерные модули, диоды, линейки и твердотельные лазеры с диодной накачкой // Каталог ЗАО «Полупроводниковые приборы». СПб., 2016. – URL: www.atcsd.ru/prodl.php (дата обращения 02.06.16 г.).

7. Diode-Pumped Q-switched Laser Systems // Проспект фирмы General Atomics Photonics Division, США, 2005.

8. Твердотельные лазеры с диодной накачкой от инфракрасного до ультрафиолетового // Каталог группы компаний «Лазер-компакт» ООО «Лазер-экспорт». М., 2013. – URL: www.laser-compact.ru (дата обращения 03.06.16 г.).

9. Высокомощные нано- и пикосекундные лазеры с диодной накачкой и модуляцией добротности // Каталог ООО «Промэнерголаб», М., 2013. – URL: www.czl.ru (дата обращения 03.06.16 г.).

10. Лазеры с диодной накачкой для лазерных дальномеров, авиационного лидара и спутникового высотомера // Каталог ЗАО «Лазеры и оптические системы», СПб., 2013. – URL: http://www.los.su (дата обращения 03.06.16 г.).

11. Лазеры с диодной накачкой на основе Yb-Er для лазерных дальномеров // Проспект ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова. СПб.: ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова, 2013. – URL: www.npk.goi.ru (дата обращения 07.06.2016).

12. Твердотельные лазеры с диодной накачкой // Каталог ОАО ЛОМО, РФ, СПб., 2013. – URL: www.lomo.ru (дата обращения 07.06.16 г.).

13. Твердотельные лазеры с диодной накачкой // Официальный дистрибьютер ООО «ЛаС», СПб., 2014. – URL: www.lascompany.ru (дата обращения 07.06.16 г.).

14. Импульсный твердотельный лазер с диодной накачкой. Модель РС-01Q. – URL: www.moslaserlab.ru (дата обращения 30.05.16 г.).

15. Лазерные целеуказатели (ЛЦУ) для оружия. – URL: www.andex.ru/yandsearch?=231&text=лазерный+целеуказатель+NCTAR+APPLS MG (дата обращения 07.06.16 г.).

16. Highlight D-Series // Проспект фирмы Coherent, США, 2014. – URL: www.Coherent.com (дата обращения 07.06.16 г.).

17. PulseLife G-stack // Проспект фирмы Coherent, США, 2014. – URL: www.Coherent.com (дата обращения 09.06.16 г.).

18. Твердотельные лазеры с диодной накачкой // Проспект Института Физики им. Б.И. Степанова // Национальная академия наук Беларуси. Минск, 2014. – URL: http://ifanbel.bas.by. (дата обращения 09.06.16 г.).

19. DPSS Твердотельные импульсные Nd:YAG лазеры с диодной накачкой серии DF // Проспект фирмы «ООО Инструментс», Минск, 2014.

20. Sub-nanosecond DPSS micro laser // Каталог фирмы Standa Ltd., Литва, 2014 г. – URL: www.standa.LT (дата обращения 09.06.16 г.).

21. Гейхман И. Л., Волков В. Г. Видение и безопасность. – М.: Новости, 2009. – 840 с.

22. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Техническое зрение. Инновации. – М.: Техносфера, 2014. – 840 с.

23. Оптико-электронные приборы и системы // Каталог фирмы ООО «ТУРН», М., 2016. – URL: www.turn.ru/rus/index.shtm (дата обращения 14.06.16 г.).

24. Круглосуточная активно-импульсная телевизионная камера повышенной дальности действия. Проспект ОАО «НПО Геофизика-НВ». – М., 2016.

25. Случак Б. А. Лазерные системы видеонаблюдения и видеорегистрации // Технические предложения ООО «ТАЛОС». М., 2016.

26. Многоканальный прибор наблюдения FLIR HCR фирмы FLIR Systems // Проспект фирмы FLIR Systems. США, 2014.

27. Многоканальный прибор наблюдения «АВАТАР» фирмы FLIR Systems // Проспект фирмы FLIR Systems. США, 2014.

28. Поворотный многоканальный прибор наблюдения «БРОНКО» фирмы FLIR Systems // Проспект фирмы FLIR Systems. США, 2014.

References

1. *Sravnenie konstrukzyj tverdotel'nyh laserov* [Comparison of the structures of solid-state lasers]. Available at: www.litografa global view...litografa.lt.index.php?id=65,319,0,0,1,0 (accessed 30.05.16) (in Russian).

2. *Lasernye diodnye lineyki i reshetki* [Laser diode bars and grates]. The prospectus of JSC "research Institute "Polyus" them. M. F. Stelmakh". Of the Russian Federation, Moscow, 2013. Available at: http//: www.polyus.msk.ru., http://www.polyus.info. (accessed 30.05.16) (in Russian).

3. *Matrizy i lineyki lasernyh diodov* [Matrix and laser diodes]. Catalogue of the Russian Federal Nuclear Center – all-Russian research Institute of technical physics. Academician E. I. Zababakhin. Russia, Snezhinsk, 2012. Available at: www.vniitf.ru (accessed 30.05.16) (in Russian).

4. *Nabornye reshetki lasernyh diodov* [Composing lattice of laser diodes]. Directory of GP NPP "Inject", Russia, Saratov, 2013. Available at: www.inject-laser.ru/products/oscillators/subpagel.ivp (accessed 30.05.16) (in Russian).

5. *High Brightness Diode Laser Modules*. The catalogue of the company JENOPTIK Germany GmbH, Diode Laser Group, Germany. 2012. Available at: www.jenoptik-com/en-semiconductor-lasers (accessed 02.06.16) (in Russian).

6. *Lasernye moduli, diody, lineyki b tverdotel'nye lasery s diodnoi nakachkoy* [Laser modules, diode line and a solid-state diode-pumped lasers]. Catalogue of CJSC "Semiconductor devices", Saint-Petersburg, 2016. Available at: www.atcsd.ru/prodl.php. (accessed 02.06.16) (in Russian).

7. *Diode-Pumped Q-switched Laser Systems*. Prospect firm General Atomics Photonics Division, USA, 2005. (in Russian).

8. *Tverdotel'nye lasery s diodnoy nakachkoy ot infrakrasnogo do ul'trafioletovogo* [Solid-state diode-pumped lasers from infrared to ultraviolet]. Directory, group of companies Laser-compact" the company "Laser-export". Of the Russian Federation, Moscow, 2013. Available at: www.laser-compact.ru (accessed 03.06.16) (in Russian).

9. *Vysokomoshnye nano- i picosecundnye lasery s diodnoy nakachkoy i moduljaziey dobrotnosty* [High-power nano - and picosecond lasers with diode pumping and q-switching]. Catalog, OOO Promenergolab", Russia, Moscow, 2013. Available at: www.czl.ru (accessed 03.06.16) (in Russian).

10. *Lasery c diodnoy nakachkoy dlja lasernyh dal'nomerov, aviazionnogo lidara i sputnikovogo vysotomera* [The diode-pumped lasers for laser rangefinders, aircraft lidar and satellite altimeter]. The catalogue of ZAO "Lasers and optical systems", Saint-Petersburg, 2013. Available at: http//:www.los.su (accessed 03.06.16) (in Russian).

11. *Lasery s diodnoy nakachkoy na osnove Yb-Er dlja lasernyh dal'nomerov* [The diode-pumped lasers based on Yb – Er laser rangefinders]. The prospect of VSC GOI them. S. I. Vavilov, Saint-Petersburg, 2013. Available at: www.npk.goi.ru (accessed 07.06.16) (in Russian).

12. *Tverdotel'nye lasery s diodnoy nakachkoy* [Solid-state lasers with diode pumping]. The catalog of JSC LOMO, Saint-Petersburg, 2013. Available at: www.lomo.ru (accessed 03.06.16) (in Russian).

13. *Tverdotel'nye lasery s diodnoy nakachkoy* [Solid-state lasers with diode pumping]. Official distributor of LLC "Las", Saint-Petersburg, 2014. Available at: www.lascompany.ru (accessed 07.06.16) (in Russian).

14. *Impulsnyi tverdotel'nyi laser s diodnoy nakachkoy* [Pulsed solid state diode pumped laser]. Model PC-01Q, 2016. Available at: www.moslaserlab.ru (accessed 30.05.16) (in Russian).

15. *Lasernye zeleukazateli (LZU) dlja orujoija* [Laser target designators (LTD) for weapons]. Available at: www.andex.ru/yandsearch?=231&text=лазерный+pointer + NCTAR + APPLSMG (accessed 07.06.16) (in Russian).

16. *Highlight D-Series*. The prospectus of the company Coherent, USA, 2014. Available at: www.Coherent.com (accessed 07.06.16) (in Russian).

17. *PulseLife G-stack*. The prospectus of the company Coherent, USA, 2014. Available at: www.Coherent.com (accessed 09.06.16) (in Russian).

18. *Tverdotel'nye lasery s diodnoy nakachkoy* [Solid-state lasers with diode pumping]. Avenue Institute of Physics. B. I. Stepanov, Minsk, The national Academy of Sciences of Belarus, 2014. Available at: http://ifanbel.bas.by (accessed 09.06.16) (in Russian).

19. *DPSS Tverdotel'nye impul'snye lasery s diodnoy nakachkoy serii DF*. [DPSS Solid-state pulse Nd:YAG diode-pumped lasers DF series]. The prospectus of the company "company instruments", Belarus, Minsk, 2014. (in Russian).

20. *Sub-nanosecond DPSS micro laser*. Catalogue Standa Ltd., Lithuania, 2014. Available at: www.standa.LT (accessed 09.06.16) (in Russian).

21. Gaykhman I. L., Volkov V. G. *Videnie i besopasnost* [Vision and safety]. Moscow, Novosti Publ., 2009. 840 p. (in Russian).

22. Volcov V. G., Gindin P. D. *Tehnicheskoe zrenie. Innovazii* [Technical vision. Innovation]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2014. 840 p. (in Russian).

23. *Opto-electronic devices and systems*. The catalogue of the company OOO "THURN", Russia, Moscow, 2016. Available at: www.turn.ru/rus/index.shtm (accessed 14.06.16) (in Russian).

24. *Kruglosutochnaja aktivno-impul'snaja televisionnaja kamera povyshennoy dal'nosti deystvija* [Round the clock active pulse TV camera high range]. The prospectus of JSC "NPO Geofizika NV", Russia, Moscow, 2016. (in Russian).

25. Sluchak B. A. *Lasernye systemy nabljudenija i videoregistrazii* [Laser video surveillance and video recording]. The technical proposal, OOO TALOS". Russia, Moscow, 2016. (in Russian).

26. *Mnogokanal'nyi pribor nabljudenija FLIR HCR firmy FLIR Systems* [Multi-channel surveillance device FLIR HCR of the company FLIR Systems]. The prospectus of the company FLIR Systems, USA, 2014. (in Russian).

27. *Mnogokanal'nyi pribor nabljudenija «AVATAR» firmy FLIR Systems* [Multi-channel surveillance device "AVATAR" of the company FLIR Systems]. The prospectus of the company FLIR Systems, USA, 2014. (in Russian).

28. *Povorotnyi mnogokanal'nyi pribor nabljudenija «BRONCO» firmy FLIR Systems* [Rotary multi-channel surveillance device "BRONCO" company FLIR Systems]. The prospectus of the company FLIR Systems, USA, 2014. (in Russian).

Статья поступила 12 июля 2016 г.

Сведения об авторе

Волков Виктор Генрихович – доктор технических наук, академик Российской академии естественных наук. Профессор кафедры РЛ-2 «Лазерные и оптико-электронные системы». Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: приборы визуализации изображения. E-mail: volkvik2009@yandex.ru

Адрес: Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Solid-State Lasers with High-Power Laser Diodes Pumping Used in Security Systems

V. G. Volkov

Problem statement: *considered the powerful laser diodes (LD) used for pumping solid-state lasers, described the characteristics of LD and solid-state lasers based on them, showed the features of design and their application in a security systems.* ***Objective:*** *to show the specific devices, made on basis of these lasers for use in safety systems: laser designators, active pulse TV night vision devices, intelligenceanti-sniper laser devices and pointing of targetsdevices, multi-channel system.* ***Methodology:*** *comparative scientific and technical analysis of the capabilities of solid-state lasers and security devices on their basis.* ***Novelty:*** *for the first time shown in a systematic way the technical characteristics of solid-state lasers with diode pump and safety devices on their basis. All of these devices have the performance in the form of mobile and stationary devices or hand held devices. Also discusses multi-channel complexes round-the-clock and all-weather surveillance.* ***Practical significance:*** *shownthe efficiency and prospects of application of such laser devices in a security systems due to their versatility and parameters, shown the ability to provide around the clock surveillance and reconnaissance.*

Key words: *laser diode, solid state laser pumping, operation mode, radiation power, wavelength, beam divergence, size of the emitting region, the pulse duration, frequency, surveillance device, security system, weight, dimensions, voltage, power consumption, detection range, recognition range, angle of sight, the measurement accuracy range.*

About the Author

Viktor Genrichovich Volkov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Academician of Russian Academy of Natural Sciences. Professor at the Department RL-2 “Laser and Optic Electron Systems”. Bauman Moscow State Technical University. Field of research: devices of images visualization. E-mail: volkvik2009@yandex.ru

Address: Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5-1.

УДК 621.396

Цифровая стеганография: состояние и перспективы

Абазина Е. С., Ерунов А. А.

Постановка задачи: *цифровая стеганография – относительно молодая отрасль знаний, развитие которой принято отсчитывать с 90-х годов прошлого века. Несмотря на это, цифровая стеганография представляет несомненный интерес для специалистов, изучающих вопросы защиты информации, инженеров-проектировщиков средств защиты информации, а также специалистов в области теории информации и цифровой обработки сигналов. Публикации, посвященные способам и методам цифровой стеганографии, за последние пять лет характеризуются разработкой математических моделей мультимедийных контейнеров, применения сигналов с расширенным спектром, помехоустойчивых кодов, привлечением элементов новых математических инструментов.* ***Цель работы:*** *обобщить и уточнить основные понятия и определения цифровой стеганографии, уточнить и систематизировать классификацию ее направлений и методов с учетом перспективных исследований в этой области.* ***Результат****: представлены основные понятия и определения цифровой стеганографии, освещены вопросы неустоявшейся терминологии в этой области. Определены основополагающие публикации в сфере цифровой стеганографии, приведена уточненная классификация ее направлений и методов. Представлены основные направления перспективных исследований в этой области и работы, выполненные в рамках определенных направлений.*

Ключевые слова: *стеганография, скрытые каналы, цифровые водяные знаки, фрактальные широкополосные сигналы, псевдослучайные последовательности, генетические алгоритмы, клеточные автоматы, управление скрытой пропускной способностью, многоканальные стегосистемы.*

Введение

Глобальное распространение и постоянное совершенствование вычислительных и телекоммуникационных систем сопровождается ростом их пропускной способности, интеграцией услуг, применением все новых технологий обработки и хранения информации, а также возрастающей сложностью обеспечения безопасности информации. Решение задач совместного обеспечения конфиденциальности, доступности и целостности информации достигается применением криптографических и стеганографических методов ее защиты.

При этом криптография имеет своей целью сохранение в тайне семантики передаваемых сообщений, стеганография же направлена на сохранение в тайне самого факта передачи такого сообщения.

В настоящее время в стеганографии условно выделяют несколько направлений:

- классическая стеганография, которая включает в себя «некомпьютерные методы» сокрытия сообщений неэлектрической природы;
- компьютерная стеганография предполагает использование свойств форматов данных, обрабатываемых и передаваемых в инфокоммуникационных сетях;

- цифровая стеганография основана на избыточности пересылаемых мультимедийных данных, представленных в цифровом виде, изначально имеющих аналоговую природу (изображения, видео, звук) [1-3].

Далее в статье речь идет о компьютерной и цифровой (преимущественно) стеганографии.

Анализ публикаций, посвященных стеганографии, позволяет выделить работы [1-3], изданные на территории нашей страны, в качестве базовых как по времени их опубликования, количеству цитирований, объему представленного материала, так и по числу проанализированных и систематизированных источников литературы по выбранной проблематике. В данных работах изложены основные подходы, принципы и задачи стеганографии и стегоанализа.

Однако стеганографическая наука не стоит на месте и продолжает бурно развиваться, о чем свидетельствуют многочисленные публикации и защиты диссертаций, конференции, патенты на изобретения и полезные модели, свидетельства о регистрации программ. Число приложений, позволяющих, как осуществлять скрытое встраивание информации, так и проводить анализ на предмет обнаружения таковых вложений, находящихся только в открытом доступе в сети интернет, измеряется десятками.

Таким образом, данная статья призвана дополнить и структурировать устоявшуюся классификацию стеганографических методов, представленную в [1-3], а также осветить направления и тенденции перспективного развития цифровой и компьютерной стеганографии.

Основные понятия и определения стеганографии

На настоящий период времени, к сожалению, в области стеганографии не существует каких-либо нормативных документов, регламентирующих классификацию методов, принципов и терминологии, в связи с чем в различных источниках встречаются различные понятия одного и того же термина, либо же авторы вводят собственный тезаурус. Далее в статье представлены основные термины цифровой стеганографии, определения которых сформулированы в результате обобщения и уточнения понятий, наиболее часто применяемых в публикациях данной области.

Скрытой (стеганографической) передачей информации называют процессы, реализующие методы передачи информации, при которых возможна передача дополнительной информации в структуре данных, представленных в цифровом виде и используемых в качестве контейнера, преимущественно за счет их избыточности.

Под **контейнером** (покрывающим объектом) понимают такие цифровые данные, использование избыточности которых позволяет передавать дополнительную информацию, не обнаруживая факта передачи. Контейнер, не содержащий дополнительной информации, называют **пустым,** в противном случае – **заполненным (или стего).**

Совокупность методик и средств встраивания и извлечения дополнительной информации без обнаружения нарушения целостности контейнера потребителем позволяет говорить о формировании **скрытого (стеганографического) канала** передачи информации.

Стеганографической системой (стегосистемой) называют совокупность средств и методов передачи и приема пустого контейнера, функционирующих взаимосвязано со средствами и методами, используемыми для создания скрытого канала передачи информации.

Скрытность [1-3] **(стеганографическая стойкость)** определяется возможными действиями (атаками) нарушителя в отношении стегосистемы. В зависимости от целей организации стеговложения под скрытностью понимается устойчивость такового к факту обнаружения, либо устойчивость к попытке удаления или разрушения стеговложения, когда факт его существования не является тайной для нарушителя. При этом в первом случае **атаки, предпринимаемые нарушителем**, будут иметь **пассивный характер,** и могут выражаться в проведении следующих мероприятий:

- визуальный контроль с целью субъективной оценки качества видеоданных;
- объективный контроль видеоданных по одному (или нескольким) выбранному параметру оценки качества изображений;
- гистограммная атака.

Во втором случае нарушитель будет проводить геометрические атаки над стего: поворот, масштабирование, сжатие и т.д.

Классификация стеганографических методов

Методы цифровой и компьютерной стеганографии в общем виде могут быть классифицированы по целям использования, по виду выбранного контейнера для встраивания, по структуре контейнера (рис. 1).

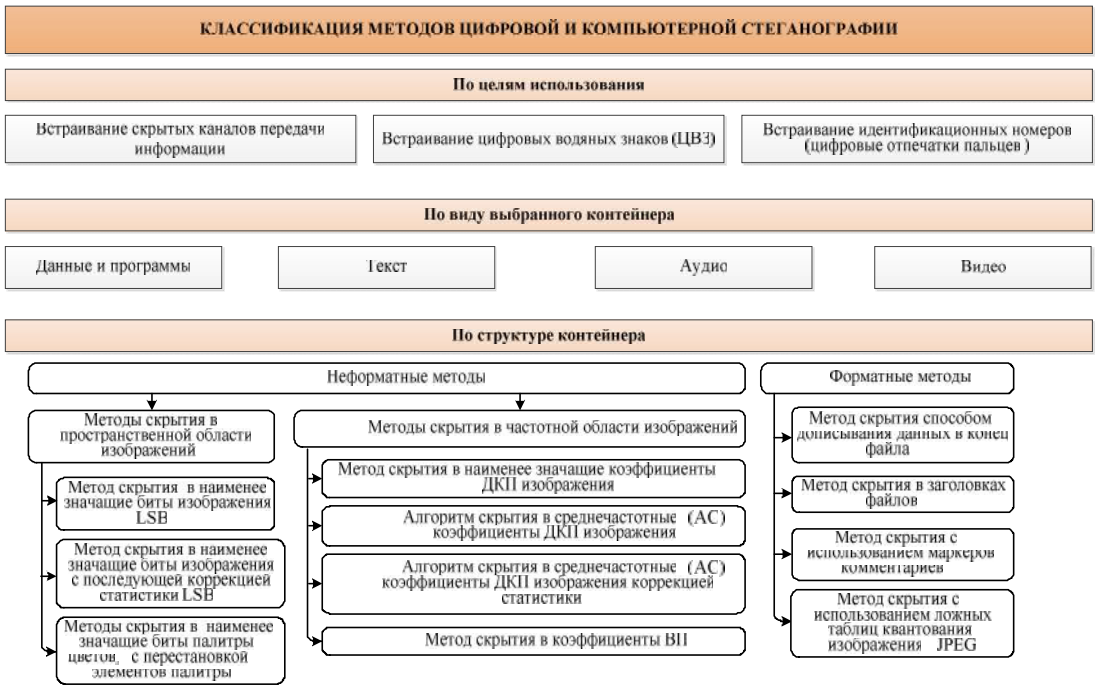


Рис. 1 Классификация методов цифровой и компьютерной стеганографии

По целям использования методов цифровой и компьютерной стеганографии общепризнанными являются три направления:

- встраивание скрытых каналов передачи информации – целью встраивания является сокрытие факта передачи информации;
- встраивание цифровых водяных знаков (ЦВЗ) – цель встраивания состоит в подтверждении подлинности предаваемых данных и в предотвращении несанкционированного доступа к ним;
- встраивание идентификационных номеров (цифровые отпечатки пальцев) – с целью скрытой аннотации и аутентификации передаваемой информации.

Наиболее популярным направлением, получившим развитие в последнее время, является встраивание ЦВЗ. Это во многом определяется необходимостью обеспечения защиты от несанкционированного распространения информации, являющейся интеллектуальной собственностью [4-6]. Организация стеганографических каналов является более актуальным направлением для организаций и ведомств, в которых обеспечение безопасности информации является приоритетным требованием. В связи с тем, что цели, преследуемые при встраивании ЦВЗ и при организации каналов различны, то и основные требования, предъявляемые к разрабатываемым стегометодам имеют ряд отличий. Поскольку ЦВЗ предназначен для защиты от несанкционированного копирования, то знание нарушителем о встраивании ЦВЗ в защищаемый объект не является критичным, в отличие от робастности ЦВЗ, поскольку основной атакой, применяемой в данной ситуации является геометрическая. При этом задача повышения скрытной пропускной способности не стоит, как таковая, в отличие от необходимости обеспечения высокой достоверности приема бит ЦВЗ. При организации скрытого канала же скрытность встраивания является определяющим требованием и основной атакой является визуальная атака и статистический анализ [7-9]. Кроме того, поскольку при организации стегоканалов речь идет о передаче информации, то необходимо обеспечить необходимую скрытую пропускную способность и достоверность приема скрываемых данных не хуже минимальной зависимости от вида передаваемых сообщений. В [1-3] представлена более широкая классификация областей применения стеганографии (рис. 2).

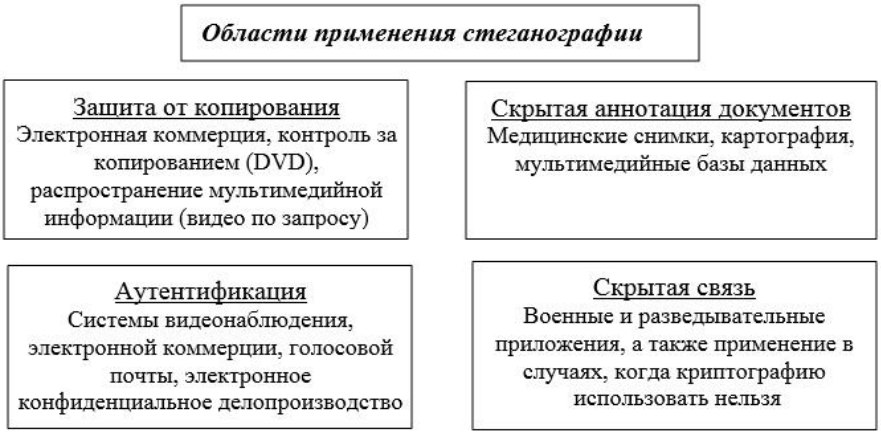


Рис. 2. Классификация областей применения стеганографии

По виду контейнера, выбранного для встраивания стеговложений, стеганографические методы классифицируют [1-3] на методы, подвергающие модификации, данные и программы, текст, аудио и видео. В связи с тем, что организация скрытых вложений возможна преимущественно благодаря избыточности того вида данных, который выбран носителем, то очевидна популярность применения для этой задачи аудио и видеоданных, как наиболее избыточных. Стегометоды организации скрытых каналов используют в качестве контейнера в основном аудио и видеоданные.

В соответствии с тем, какая область в структуре контейнера подлежит модификации, различают форматные и неформатные стегометоды. Применение первых ограничено не высокой стеганографической стойкостью при довольно низкой пропускной способности и более применимо для организации ЦВЗ. Второе направление оказалось более перспективным и базируется на модификации параметров пространства сокрытия файла, характеризующих непосредственно данные самого изображения или звука. В этой области разработаны и хорошо апробированы стойкие к обнаружению стеганографические алгоритмы, обеспечивающие достаточную вместимость контейнеров для вложения скрываемых сообщений или программ. В частности, это и официально признанные алгоритмы стеганографии F5 и OutGess. Поскольку скрытая пропускная способность напрямую зависит от избыточности контейнера, то наиболее применимыми в интересах организации скрытой передачи информации являются подвижные и неподвижные изображения.

Процесс выбора контейнера, встраивание скрываемой информации, представление этих процессов в виде моделей в общем виде описаны в работах [1-3]. Часто используют следующий принцип встраивания данных. Практически любой контейнер в результате обработки может быть представлен последовательностью из N бит. Процесс сокрытия информации начинается с определения бит контейнера, которые можно изменять битами встраиваемой последовательности без внесения заметных искажений. Одним из первых методов встраивания стеговложения основан на замене наименее значащего бита контейнера (НЗБ). Этот метод прост в реализации и позволяет достичь максимума скрытой пропускной способности, однако обладает наименьшей скрытностью и робастностью. Этот способствовало дальнейшему совершенствованию метода НЗБ, а также поиску новых методов и сопровождалось усложнением алгоритмов встраивания и извлечения, а также снижением скрытой пропускной способности. В работах [10-12] отмечено, что встраивание в пространственную область изображений, характеризуется раздвоением пика гистограммы, который является демаскирующим признаком, что определяет целесообразность проведения модификации оцифрованных спектральных составляющих контейнера.

Формализация некоторых известных методов, являющихся основой для разработки новых подходов к организации стеговложений, представлена в [12-13] и сведена в таблицу 1.

Таблица 1 – Наиболее известные подходы к организации скрытых каналов и ЦВЗ в видеоданных

Классификация методов организации скрытых каналов в видеоданных		Правило встраивания $\circ$	Пропускная способность скрытого канала $C_{стег}$	Скрытность U	Достоверность скрываемых данных $p_{ош}$	Число скрытых каналов
1. Направление цифровой стеганографии – встраивание цифровых водяных знаков (ЦВЗ) с целью подтверждения данных						
2. Направление цифровой стеганографии – организация скрытого канала с целью сокрытия факта передачи						
В пространственной области	Наименее значащего бита: К.Ю.Цветков, В.М. Коровин; К.Матсуи, К.Танака, С.Осборн, Дж. Фридрих	$\circ^1 = I + S$	$C^1_{стег} = \max$	$U^1 = \min$	$p_{ош} = 10^{-3}$, без сжатия	1
	Псевдослучайного интервала (Д.Рамкуман, Дж.Симонс, В.Волошиновский)	$\circ^2 = I + S \mid I_h = 1$	$C^2_{стег} < C^1_{стег}$	$U^2 > U^1$	$p_{ош} = 10^{-3}$, без сжатия	1
	Псевдослучайной перестановки: В.И. Коржик; С.Моллер, А.Фицманн, И.Стиран	$\circ^3 = I + S \mid h = \ddot{}_i$, $\ddot{}_i - ПСП$	$C^3_{стег} < C^2_{стег}$	$U^3 > U^2$	$p_{ош} = 10^{-3}$, без сжатия	1
	Блочного скрытия (В.О.Хорошко, О.Д.Азаров, К.Ю. Цветков, В.М.Коровин)	$\circ^4 = \left(\frac{I}{D}\right) + S$, D – число блоков	$C^4_{стег} \approx C^3_{стег}$	$U^4 > U^3$	$p_{ош} = 10^{-3}$, без сжатия	1
В частотной области	Наименее значащего бита: В.Г.Грибунин, К.Ю.Цветков, В.М.Коровин; Е.Кох	$\circ^5 = I^{ДКП} + S$	$C^5_{стег} = \max$	$U^5 > U^1$	$p_{ош} = 10^{-3}$, без сжатия	1
	Относительной замены: В.И. Коржик; Е.Кох, Дж. Жао.	$\circ^6 = \begin{cases} S_0, \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_1 - \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_2 > P \\ S_1, \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_1 - \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_2 < P \end{cases}$, P – порог	$C^6_{стег} < C^4_{стег}$	$U^6 \approx U^4$	$p_{ош} = 10^{-3}$, в процессе сжатия	1
	Бенгама-Меммона (Д.Бенгам, Н.Меммон, Б-Л Эо, М. Юнг)	$\circ^7 = \begin{cases} S_0, \begin{cases} \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_3 < \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_1 \\ \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_3 < \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_2 \end{cases} \\ S_1, \begin{cases} \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_3 > \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_1 \\ \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_3 > \left(\frac{I^{ДКП}}{D}\right)_2 \end{cases} \end{cases}$,	$C^7_{стег} < C^6_{стег}$	$U^7 > U^6$	$p_{ош} = 10^{-3}$, в процессе сжатия	1
	Фридрих: Е.А.Небаева, Дж. Фридрих	$\circ^8 = (I)^{ДКП} + S\left\lvert (I')^{ДКП} < (I)^{ДКП} + 10^2 \sim \right.$, I' – модифицированные видеоданные, $\sim$ – пороговая функция	$C^8_{стег} < C^7_{стег}$	$U^8 \approx U^7$	$p_{ош} = 10^{-3}$, в процессе сжатия	1
	Расширения спектра: К.Ю.Цветков, А.Е.Коревых, В.М.Коровин; Дж.-Р. Смит, В.О.Комиски	$\circ^{10} = (I)^{ДКП} + S \cdot \ddot{}_i$, $\ddot{}_i - ПСП$	$C^8_{стег} < C^{10}_{стег} < C^1_{стег}$	$U^{10} \approx U^9$	$p_{ош} = 10^{-3}$, в процессе сжатия	1
Статистический (И. Патис, В.О.Хорошко, В.Г.Грибунин, М.Е. Шелест)		$\circ^9 = \left[(I)_1^{ДКП}\right]^{\frac{E}{2}} \cup \left[(I)_2^{ДКП}\right]^{\frac{E}{2}}$, E – энергия изображения	$C^9_{стег} < C^8_{стег}$	$U^9 > U^8$	$p_{ош} = 10^{-3}$, в процессе сжатия	1

Развитие методов встраивания как в пространственной, так и в частотной области шло, как правило, по пути усложнения правила встраивания и поиска функций для выбора бит, подлежащих замене, максимально похожим на случайную величину. В работе [1] в качестве альтернативных методов замены указаны следующие.

Встраивание путем инверсии бита: «1» может соответствовать замена 0>1, «0» - замена 1>0.

Встраивание путем вставки бита непосредственно перед модифицируемым битом, при этом значение бита ЦВЗ должно быть противоположно значению бита контейнера.

Встраивание удалением бита, для этого выбирают пары битов «01» или «10» битов, которые соответствуют разным значениям бита ЦВЗ. Затем первый бит пары удаляется.

Встраивание с использованием бита-флага, суть которого состоит в том, что очередной бит контейнера (неизменяемый) является битом ЦВЗ, указывает инверсия предшествующего бита-флага.

Встраивание с применением пороговых бит: используется бит-флаг, но одному биту ЦВЗ соответствует несколько идущих следом за флагом бит (нечетное число). Если среди этих бит больше единиц, то бит ЦВЗ равен «1».

Встраивание с использованием табличных значений. Для определения бита ЦВЗ в предыдущем методе, фактически, использовалась проверка на четность. С тем же успехом можно было бы применять и любое другое отображение множества бит в 1 бит, либо находить его значение по таблице. Возможно использование динамически изменяемой таблицы, когда таблица изменяется на каждом шаге или выбор значения из таблицы осуществляется псевдослучайно. Так как табличные значения (биты контейнера) знает и кодер, и декодер, то их можно не передавать (косвенная динамическая таблица).

Встраивание с применением функции, оценивающей статистику изображение и корреляционные связи между элементами изображения, и последующее применение этой функции для каждого элемента изображения для определения стегопути. При этом в качестве функции может быть использована псевдослучайная последовательность (ПСП).

Другим подходом, отличным от первых двух, является встраивание дополнительной информации за счет энергетической разницы между коэффициентами контейнера, характеризующееся малым изменением статистики изображения.

Отдельной классификационной группировкой среди стегометодов является организация ЦВЗ и стегоканалов с использованием ШПС [7, 10, 14-16], так же именуемые методами с расширением спектра. При этом модификации подлежит все изображение целиком, в отличие от встраивания в частотную и пространственную область, где замене подлежат лишь те элементы и коэффициенты, к которым наименее чувствительна система зрения человека и изменение статистики изображения.

Применение псевдослучайных последовательностей в стеганографических методах

Как правило, для поиска модифицируемых элементов контейнера или для модуляции и кодирования встраиваемых данных в стегометодах используют ПСП, в том числе в методах с применением ШПС. При этом **к ПСП предъявляют следующие основные требования** [17-21].

1. Непредсказуемость появления знаков 1 и 0, благодаря чему спектр сигнала становится более равномерным, а определение алгоритма формирования ПСП по ее участку ограниченной длины – невозможным.

2. Хорошие корреляционные свойства ПСП, которые описываются автокорреляционной и взаимокорреляционной функциями.
3. Наличие большого набора разных ПСП одинаковой длины для построения систем с кодовым разделение каналов.

Чем более хаотична и непредсказуема сгенерированная ПСП, тем ближе ее характеристики к белому шуму. В связи с этим, задача генерации таких ПСП весьма актуальна, в том числе в интересах стеганографии.

На ряду с общеизвестными способами **формирования ПСП, развитие получили и другие подходы,** изложенные ниже и все чаще находящие применение в цифровой и компьютерной стеганографии [17].

1. Использование для генерации ПСП многозначных последовательностей с установлением нелинейных законов их формирования, например, базисных функций Виленкина-Крестенсона, представляющих собой обобщение для дискретно-экспоненциальных функций и функций Уолша. Их применение позволяет получать ПСП значительной структурной скрытности, при этом существует возможность построения ортогональной системы функций с хорошими автокорреляционными и взаимокорреляционными свойствами [12, 14-16, 18, 19].

2. Построение генераторов случайных чисел (ГСЧ), генерирующих приближенные к истинно случайным числовые последовательности [17]. С этой целью в качестве источника случайности ГСЧ используют физические процессы. В этом направлении вопросами повышенного интереса являются вопросы детерминированного хаоса и его использования в системах связи. Современное развитие исследований в области извлечения хаотичности из среды для формирования начального условия для работы ГСЧ характеризуется использованием в качестве источника хаотичности более, чем одной физической среды одновременно. Например, метод [20] заключается в том, что полезный сигнал кодируют в двоичный код, формируют посредством первого генератора исходный детерминированный хаотический сигнал путем модуляции параметров хаотического сигнала полезным цифровым сигналом и передают полученный сигнал по каналу связи принимающей стороне, где его делят на два идентичных сигнала, которыми воздействуют на второй и третий генераторы.

3. Разработка методов повышения качества ГСЧ на основе формализованных моделей дискретных отображений класса «клеточный автомат», которые на основе простых правил, могут порождать сложное поведение [17, 21].

4. Поиск ПСП на основе «естественно» существующих бесконечных числовых последовательностей (иррациональных чисел, которые могут быть оценены, как «непознанные» с точки зрения применения в связи) и конечных последовательностей ограниченного числа объектов (геномные последовательности, так же «непознанные» с точки зрения применения в связи, которые для многих объектов живой природы известны) [17, 22].

5. Формирование фрактальных ПСП, которые совместно с ультракороткими сверхширокополосными сигналами позволяют получить

новый вид сигналов – фрактальные сверхширокополосные сигналы [17]. По мнению авторов, развивающих это направление в работах [23, 24] из-за широкой полосы частот сверхширокополосные сигналы переносят гигантские объемы информации, что определяет их успешное применение в открытых каналах связи для передачи информации на небольшие расстояния (в пределах учреждения), совместно с фрактальным принципом построения возможно обеспечение и информационной безопасности передаваемой таким образом информации.

Новые направления в стеганографии

Анализ открытых публикаций **в области стеганографии** позволяет говорить о формировании новых направлений и тенденций. Как правило, совершенствование стегометодов идет по пути повышения скрытности либо увеличения скрытой пропускной способности [25-28]. Представленные ниже методы ориентированы на организацию стегосистем с новыми возможностями.

1. Выбор в качестве контейнеров цифровых объектов не аналоговой природы: организация стегосистемы в исполняемых файлах, например, сокрытие данных предлагается использовать при помощи замены инвариантных команд или порядка их следования, таким образом, что программа функционирует без изменений [29], использовании аппаратных стегоконтейнеров с LUT-ориентированной архитектурой [30], в кодах, исправляющих ошибки [31].

2. Разработка методов встраивания ЦВЗ и стегоканалов, устойчивых к кодированию источника (сжатию): разработка таких методов, которые бы позволяли с заданной достоверностью идентифицировать ЦВЗ или извлекать скрываемые данные на приемной стороне, встраиваемые до проведения процедур сжатия контейнера на передающей стороне. В работах [8, 9, 13-16, 18, 19, 32, 33] предложено достичь требуемых значений качества встраиваемых данных за счет использования сигнальных конструкций большой избыточности, применяемых для кодирования и модуляции скрываемой информации.

3. Разработка стегометодов, ориентированных на передачу информации по световым волноводам [34].

4. Разработка методов, ориентированных на модификацию аналоговой природы контейнера, а именно встраивание в длину волны. Авторы метода [35-37] исходят из того, что любые вмешательства в пространственное, частотное или энергетическое представление контейнера приводит к скачкообразному изменению длин волн контейнера. Встраиванием в аналоговую природу с учетом этих особенностей позволяют достигать, по мнению авторов, повышения скрытности стеговложений.

5. Создание многоканальных стегосистем и стегосетей, их унификация и стандартизация. Так в работах [8, 9, 13, 18, 19, 32, 33, 38] предложен метод уплотнения скрытого канала в видеоданных, что позволяет формировать многоканальную стегосистему. Авторы достигают заявленный

результат за счет кодового уплотнения скрываемых данных. В работе [39] предложено пространственно-временное разделение стегоканала.

В статье [39] опубликовано предложение формализовать взаимодействие абонентов стеганографической системы связи в виде многоуровневой эталонной модели взаимодействия стеганографических систем – ЭМВСС. Автор надеется, что такая модель позволит обобщить, систематизировать и унифицировать имеющийся опыт в области стеганографии, а в дальнейшем – развивать направление создания единой формализованной модели стегосистемы, как одного из вариантов реализации системы скрытой передачи сообщений, наложенной на телекоммуникационную систему связи.

6. Работы, направленные на совершенствование методов передачи заполненных стегоконтейнеров с целью снижения демаскирующих факторов. Основная идея такого подхода состоит в том, что для уменьшения вероятности перехвата скрытно передаваемых данных следует снижать до минимума время нахождения контейнеров в сети и использовать множество каналов передачи данных, тем самым снижая частоту их демонстрации [40-42].

7. Разработка согласованных методов сжатия изображения и встраивания/извлечения скрываемых данных (стегометодов). Авторы работы [43] предлагают использовать принципы, отличные от общепризнанных, для сжатия видеоданных. При этом, метод сжатия должен быть согласован с метом встраивания стеговложений. Так, для сжатия контейнера и встраивания стего используется фрактальный подход. Метод включает этапы формирования вектора параметров сжатия изображения, ввода скрываемой информации, выделения доменов и ранговых областей, соотнесения ранговых областей и доменов, формирования конечного архива. В способе на этапе выделения доменов и ранговых областей мощность пикселей домена корректируется с учетом значения скрываемых бит информации.

8. Разработка стегометодов, ориентированных на управление сформированными скрытыми каналами. Авторами работ заявляется возможность управления скрытой пропускной способностью, перераспределять ее в зависимости от приоритета абонента и качества обслуживания, предъявляемого к стегоканалу [13, 44-46]. Метод позволяет достичь новых возможностей для потребителей услуг скрытого обмена, а также позволяет говорить о реальной возможности организовать стеганографические сети в перспективе.

9. Разработка генетических алгоритмов в стеганографии [22, 47]. В работе [22] предложен стегометод, предполагающий изменение оцифрованных коэффициентов ДКП изображения битом (или битами) встраиваемой информации. Генетический алгоритм применяется на этапе выбора наиболее подходящего способа изменения коэффициентов ДКП блока изображения при внедрении в него бита дополнительной информации. Формирование исходной популяции хромосом осуществляется псевдослучайным образом в окрестности исходных значений ДКП коэффициентов. Затем авторы проводят оценивание приспособленности хромосом в популяции, по функции которое

приспособленности для хромосомы, которая принимает значение «0» в случае не соблюдения для генов, соответствующих используемым для модификации ДКП коэффициентам. В противном же случае значение функции приспособленности должно определяться на основе вносимых в изображение искажений, вызванных соответствующим данной хромосоме изменением ДКП коэффициентов. Если для хромосомы значение функции приспособленности окажется равным нулю, то ее заменяют на вновь сгенерированную, после чего значение функции для нее пересчитать.

Заключение

Стеганографическая наука является актуальной областью для исследования, как с точки зрения обеспечения безопасности информации, так и с точки зрения защиты персональных данных и авторских прав. Проводимые в настоящее время исследования в области цифровой и компьютерной стеганографии весьма разнообразны и направлены как на совершенствование характеристик стеговложений, так и на возможность создания новых методов, с использованием новых или передовых достижений из различных отраслей знаний, открывающих новые возможности и перспективы для потребителей услуг связи. Несмотря на разнообразие вариантов, которые предлагают авторы в своих работах, основной задачей стеганографии по-прежнему остается поиск компромисса между скрытностью передачи и объемом передаваемой информации. К перспективным и целесообразным направлениям исследований стоит отнести идеи, направленные на поиск решений, позволяющих формировать глобальные системы и сети стеганографической связи, отвечающие, наравне с телекоммуникационными сетями, всем предъявляемым к ним требованиям.

Литература

1. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. – М.: Солон-Пресс, 2009. – 272 с.

2. Аграновский А. В., Балакин А. В., Грибунин В. Г. , Сапожников С. А. Стеганография, цифровые водяные знаки и стегоанализ. Монография. – М.: Вузовская книга, 2009. – 220 с.

3. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.

4. Пономарев К. И., Путилов Г. П. Стеганография: история и современные технологии. – М.: МИЭМ, 2009. – 70 с.

5. Алиев А. Т. Разработка моделей, методов и алгоритмов перспективных средств защиты информации в системах электронного документооборота на базе современных технологий скрытой связи: дис. … канд. техн. наук: 05.13.19. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2008. – 216 с.

6. Мерзлякова Е. Ю. Построение стеганографических систем для растровых изображений, базирующихся на теоретико-информационных принципах.:дис. … канд. техн. наук: 05.13.19. – Новосибирск: СибГУТИ, 2011. – 161 с.

7. Жгун Т. В. Модель скрытой передачи информации в каналах связи: дис. … канд. ф.-мат. наук: 05.13.18. – В. Новгород: НовГУ, 2003. – 187 с.

8. Абазина Е. С. Метод скрытой передачи информации с кодовым уплотнением в видеоданных // Информация и космос. – 2014. – № 4. – С. 33–38.

9. Цветков К. Ю, Федосеев В. Е., Коровин В. М., Абазина Е. С. Модель кодера скрытых каналов с кодовым уплотнением с использованием сигнальных последовательностей Франка-Уолша, Франка-Крестенсона // Труды НИИР. – 2015. – № 1. – С. 2–11.

10. Небаева К. А. Разработка необнаруживаемых стегосистем для каналов с шумом: дис. … канд. тех. наук: 05.12.13. – СПб.: СПбГУТ, 2014. – 176 с.

11. Коржик В. И., Небаева К. А. Основы стеганографии: учебно-методическое пособие по выполнению практических занятий.– СПб.: СПбГУТ, 2015. – 20 с.

12. Цветков К. Ю, Федосеев В. Е., Абазина Е. С. Применение двумерных нелинейных сигналов Франка-Уолша, Франка-Крестенсона в методе формирования скрытых каналов с кодовым уплотнением в структуре сжимаемых видеоданных // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2013. – №. 4. – С. 32–40.

13. Абазина Е. С., Ерунов А. А. Результаты моделирования метода скрытой передачи информации с кодовым уплотнением в видеоданных // Системы управления, связи и безопасности. – 2015. – № 2. – С. 1–25. URL: http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-02/01-Abazina.pdf (дата обращения: 20.03.2016).

14. Цветков К. Ю. Методы цифровой стеганографии и их приложения в сетях спутниковой связи // Сборник трудов II военно-научной конференции Космических войск. – СПб.: МО РФ, 2004. – Т. 2. – С. 344–349.

15. Цветков К. Ю., Ефимов С. Н., Осташов И. Т. Защита инфокоммуникационных систем и сетей специального назначения: учебное пособие. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2010. – 160 с.

16. Коровин В. М. Метод и алгоритмы встраивания широкополосных цифровых водяных знаков в сжатые изображения // Сборник докладов международной научно-практической конференции «Особенности развития космической отрасли России и перспективы ее дальнейшей интеграции в систему международных экономических связей». – СПб.: БГТУ, 2007. – С. 175–178.

17. Сухарев Е. М. Информационная безопасность: методы шифрования. – М.: Радиотехника, 2011. – 208 с.

18. Абазина Е. С. Алгоритмы внедрения двумерных нелинейных кодовых последовательностей в видеопоток // Вопросы радиоэлектроники. Серия Техника телевидения. – 2013. – № 1. – С. 85-93.

19. Абазина Е. С. Применение систем ортогональных сигналов для организации скрытого канала при передаче информации с кодовым уплотнением // Техника средств связи. – 2014. – № 3. – С. 221-224.

20. Москаленко О. И. Фролов Н. С. Короновский А. А. Храмов А. Е.

Способ скрытой передачи информации // Патент РФ № 2509423. 2014. Бюл. № 7.

21. Асосков Г. А., Тихоненко Е. А. Новый генератор случайных чисел на базе двумерного клеточного автомата // Математическое моделирование. – 1996. – Т. 12. – № 8. – С. 77-84.

22. Коваленко М. П. Генетические алгоритмы в стеганографии // Технические науки от теории к практике. – 2012. – № 9. – С. 77–84.

23. Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М.: Логос, 2002. – 664 с.

24. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.

25. Разинков Е. В., Латыпов Р. Х. Стойкость стегонографических систем // Ученые записки Казанского государственного университета. Физико-математические науки. Книга 2. – 2009. – Т. 151. – С. 126-132.

26. Ремизов А. В., Филиппов М. В. Оценка необнаружимости стеганографических алгоритмов // Наука и образование. – 2012. – № 3. – С. 1-9. – URL: http://technomag.edu.ru/doc/359383.html (дата обращения 17.04.2015).

27. Кувшинов С. С. Методы и алгоритмы сокрытия больших объемов данных на основе стеганографии: дис. … канд. тех. наук: 05.13.19. – СПб.: НИУ ИТМО, 2010. – 116 с.

28. Разинков Е. В. Математическое моделирование стеганографических объектов и методы вычисления оптимальных параметров стегосистем: дис. … канд. ф-мат. наук: 05.13.18. – Казань: КГУ, 2012. – 109 с.

29. Нечта И. В. Стеганография в файлах формата PortableExecutable // Вестник СИБГУТИ. – 2009. – № 1. – С. 85–89.

30. Защелкин К. В., Иванова Е. Н. Метод стеганографического скрытия данных в LUT–ориентированных аппаратных контейнерах электротехнические и компьютерные системы. // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – № 16. – С. 78-84.

31. Слипенчук П. В. Стеганография в кодах, исправляющих ошибки // Вестник МГТУ. – 2013. – № 5. – С. 1-12.

32. Абазина Е. С. Метод кодового уплотнения скрытого канала при передаче видеоданных // Системы управления, связи и безопасности. – 2015. – № 3. – С. 14-42. – URL: http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-03/02-Abazina.pdf (дата обращения: 20.03.2016).

33. Абазина Е. С. Формирование стеганографического канала с кодовым уплотнением на основе двумерных нелинейных сигналов // Вопросы радиоэлектроники. Серия Техника телевидения. – 2015. – № 2. – С. 108-118.

34. Колесников М. В Метод скрытой передачи данных в оптическом канале видеокамеры // Инженерный вестник. – 2013. – № 2. – С. 501-510.

35. Захаркин С. В., Юрлов А. В., Болбенков А. В., Кирюхин Д. А., Конышев М. Ю., Люлин А. Н. Способ встраивания сжатого сообщения в цифровое изображение // Патент России № 2467486. 2012. Бюл. № 32

36. Захаркин С. В., Иванов И. В., Кирюхин Д. А., Воропаев М. В., Болбенков А. В. Способ встраивания сообщения в цифровое изображение //

Патент России № 2407216. 2010. Бюл. № 35.

37. Двилянский А. А., Кирюхин Д. А., Снаров М. М., Еменка К. Г., Чириков В. Е., Трапашко В. С., Швытов К. В., Чурбанов А. Н., Иванов И. В. Способ встраивания информации в изображение, сжатое фрактальным методом, на основе сформированной библиотеки доменов // Патент России № 2530339. 2014. Бюл. № 28.

38. Алексеев А. П., Макаров М. И. Принципы многоуровневой защиты информации // Инфокоммуникационные технологии. – 2012. – № 2 (10). – С. 88-93.

39. Макаренко С. И. Эталонная модель взаимодействия стеганографических систем и обоснование на ее основе новых направлений развития теории стеганографии. // Вопросы кибербезопасности. – 2014. – № 2(3). – С. 24-32.

40. Алексеев А. П., Блатов И. А., Макаров М. И. Оценка вероятности обнаружения мультимедиа контейнеров при пространственно-временном распылении информации // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – Т. 11. – № 3. – С. 91–95.

41. Алексеев А. П., Макаров М. И. Способ скрытой передачи зашифрованной информации по множеству каналов связи, с учетом мощности пикселей домена // Патент России № 2462825. 2012. Бюл. № 27.

42. Макаров М. И. Разработка и исследование методов скрытой распределенной передачи сеансовых данных в телекоммуникационных сетях: дис. … канд. тех. наук: 05.12.13. – Самара: ПГУТИ, 2013. – 144 с.

43. Иванов В. А., Двилянский А. А., Кирюхин Д. А., Снаров М. М., Еменка К. Г., Чириков В. Е., Иванов И. В. Способ встраивания информации в изображение, сжатое фрактальным методом, с учетом мощности пикселей домена // Патент России № 2546558. 2015. Бюл. № 10.

44. Ерунов А. А., Квасов М. Н. Распределение пропускной способности скрытого канала связи, организованного методом цифровой стеганографии // Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией». – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – С. 4-5.

45. Цветков К. Ю., Федосеев В. Е., Абазина Е. С., Ерунов А. А. Метод скрытой передачи информации с кодовым уплотнением в видеоданных при блочном делении I-кадров // Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции «Академические Жуковские чтения».– Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – С. 10-13.

46. Цветков К. Ю., Федосеев В. Е., Коровин В. М., Абазина Е. С. Имитационная модель скрытой передачи информации с кодовым уплотнением в структуре сжимаемых видеоданных // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615358, 2015.

47. Дрюченко М. А. Статистические и нейросетевые алгоритмы синтеза и анализа стеганографически скрытой информации в аудио- и графических данных: дис. … канд. тех. наук: 05.13.17. – Воронеж: ВГУ, 2010. – 192 с.

References

1. Gribunin V. G., Okov I. N., Turincev I. V. *Tsifrovaia steganografiia* [Digital Steganography]. Moscow, Solon-Press Publ., 2009, 272 p. (in Russian).

2. Agranovskij A. V., Balakin A. V., Gribunin V. G., Sapozhnikov S. A. *Steganografija, cifrovye vodjanye znaki i stegoanaliz. Monografija* [Steganography, Digital Water Marks and Steganoanalysis. Treatise]. Moscow, Vuzovskaja kniga Publ., 2009. 220 p. (in Russian)

3. Konakhovich G. F., Puzirenko A. U. *Komp'iuternaia steganografiia. Teoriia i praktika* [Computer steganography. Theory and practice]. Kiev, MK-Press Publ., 2006, 283 p. (in Russian).

4. Ponomarev K. I., Putilov G. P. *Steganografija: istorija i sovremennye tehnologii. Monografija* [Steganography: history and modern technology. Monograph]. Moscow, Moscow Institute of Electronics and Mathematics Publ., 2009, 70 p. (in Russian).

5. Aliev A. T. *Razrabotka modelej, metodov i algoritmov perspektivnyh sredstv zashhity informacii v sistemah jelektronnogo dokumentooborota na baze sovremennyh tehnologij skrytoj svjazi.* Diss. kand. tehn. nauk [The development of models, methods and algorithms of perspective data protection means in electronic document management systems, based on present-day technologies of nondetectable data communication. Ph.D. of Engineering Sciences Tesis]. Rostov-na-Donu, South Federal University Publ., 2008, 216 p. (in Russian).

6. Merzlyakova E. Y. *Postroenie steganograficheskih system dlja rastrovyh izobrazhenij, bazirujushhihsja na teoretiko-informacionnyh principah.* Diss. kand. tehn. nauk [Construction of steganographic systems for raster images based on information-theoretical principles. Ph.D. of Engineering Sciences. Tesis]. Novosibirsk, Sberian Srate University of Telecommunication and Informatics Publ., 2011, 161 p. (in Russian).

7. Zhgun T. V. *Model' skrytoj peredachi informacii v kanalahsvjazi. Dis. … kand.f.-mat. nauk* [The model of hidden information transfer in communication channels. Ph.D. of Physico-mathematical Sciences. Tesis]. Novgorod, Novgorod State University Publ., 2003, 187 p. (in Russian).

8. Abazina E. S. The method of hidden data transmission with code consolidation. *Informatsiia i kosmos*, 2014, no. 4, pp. 33-38 (in Russian).

9. Tsvetkov K. U., Fedoseev V. E., Korovin V. M., Abazina E. S. Model of the coder of the hidden channel with code consolidation with use of signal sequences of Frank-Uolsh, Frank-Krestenson. *Trudi NIIR*, 2014, no. 1, pp. 2-11 (in Russian).

10. Nabieva K. A. *Razrabotka neobnaruzhivaemyh stegosistem dlja kanalov s shumom.* Dis. … kand. teh. nauk [The Development of undetectable stegosystem for channels with noise.Ph.D. of Engineering Sciences.Tesis]. Saint-Petersburg, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunication Publ., 2014, 176 p. (in Russian).

11. Korzhik V. I., Nabieva K. A *Osnovy steganografii: uchebno-metodicheskoe posobie po vipolneniyu prakticheskih zanyatij* [Fundamentals of Steganography:a teaching aid for the implementation of practical training]. Saint-Petersburg, The

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunication Publ., 2015, 20 p. (in Russian).

12. Tsvetkov K. U., Fedoseev V. E., Abazina E. S. Application of two-dimensional nonlinear signals of Frank-Uolsh, Frank-Krestenson into the method of formation of the hidden channel with code consolidation in structure of the compressed video data. *H&ES Research*, 2013, no. 4, pp. 32-40 (in Russian).

13. Abazina E. S., Erunov A. A. Results of the Modelling of the Method of the Hidden Information Transfer with Using of the Code Consolidation in the Video Data. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 2, pp. 1-25. Available at: http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-02/01-Abazina.pdf (accessed 20 March 2016) (in Russian).

14. Tsvetkov K. U. Metody cifrovoj steganografii i ih prilozhenija v setjah sputnikovoj svjazi [The Methods of digital steganography and their applications in satellite communication networks]. *Sbornik trudov II VNK Kosmicheskih vojsk* [Proceedings 2-ndmilitary scientific conferences of the Space forces.]. Saint-Petersburg, The Russian Federation Ministry of Defense Publ., 2004, no. 2, pp. 344-349 (in Russian).

15. Tsvetkov K. U., Efimov S. N., Ostashov I. T. Zashhita infokommunikacionnyh sistem i setej special'nogo naznachenija: uchebnoe posobie [The protection of the infocommunication systems and networks: Textbook]. Saint-Petersburg, The Mozhaisky Space Military Academy Publ., 2010, 160 p. (in Russian).

16. Korovin V. M. Metod i algoritmy vstraivanija shirokopolosnyh cifrovyh vodjanyh znakov v szhatye izobrazhenija [The method and algorithms of broadband embedding digital watermarks in compressed images. *Sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Osobennosti razvitija kosmicheskoj otrasli Rossii i perspektivy ee dal'nejshej integracii v sistemu mezhdunarodnyh jekonomicheskih svjazej»* [Proceedings of the international scientific-practical conference "Features of development of space industry of Russia and prospects of its further integration into international economic relations]. Saint-Petersburg, The Baltic State Technical university Publ., 2007, pp. 175–178 (in Russian).

17. Sukharev. S. M. *Informacionnaja bezopasnost': metody shifrovanija.* [The Information security: methods of the encryption.] Moscow, Radiotekhnika Publ., 2011, 208 p. (in Russian).

18. Abazina E. S. Algoritmy vnedreniia dvumernykh nelineinykh kodovykh posledovatel'nostei v strukturu szhatykh videodannykh [Algorithms of introduction of two-dimensional nonlinear code sequences in structure of the compressed video data]. *Voprosy radioelektroniki v sfere tekhniki televideniia*, 2013, vol. 1, pp. 85–93. (in Russian).

19. Abazina E. S. Primenenie system ortogonal'nyh signalov dlja organizacii skrytogo kanala pri peredache informacii s kodovym uplotneniem. [The Use of systems of orthogonal signals for the organization of the hidden channel in the transfer of information with code consolidation in structure]. *Tehnika sredstv svjazi*, 2014, no. 3, pp. 221-224 (in Russian).

20. Moskalenko O. I., Frolov N. V. Koronovskiy A. A., Khramov A. E. *Sposob skrytoj peredachi informacii* [The Way of hidden information transfer]. Patent Russia, no. 2509423, 2014.

21. Asoskov G. A., Tihonenko E. A. Novyj generator sluchajnyh chisel na baze dvumernogo kletochnogo avtomata. [A new random number generator on the basis of two-dimensional cellular automaton]. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 1996, vol. 12, no. 8, pp. 77-84 (in Russian).

22. Kovalenko M. P. Genetic algorithms in Steganography. *Tekhnicheskie nauki ot teorii k praktike*, 2012, no. 9, pp. 17-20 (in Russian).

23. Potapov A. A. Fraktaly v radiofizike i radiolokacii [Fractals in Radiophysics and radiolocation]. Moscow, Logos Publ., 2002, 664 p. (in Russian).

24. Sheluhin O. I., Tenjakshev A. M., Osin A. V. *Fraktil'nye procesy v telekommunikacijah* [Fractal processes in telecommunication]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2003, 480 p. (in Russian).

25. Razinkov E. V., Latypov R. H. Stojkost' stegonograficheskih system [The resistance steganografic systems]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiz.-mat. Nauki*, 2009, no. 151, pp. 126–132 (in Russian).

26. Remizov A. V., Filippov M. V. Ocenka neobnaruzhimosti steganograficheskih algoritmov [Estimation of undetectable of the steganographic algorithms]. *Nauka i obrazovanie*, 2012, no. 3, pp. 30–38. Available at:http://technomag.edu.ru/doc/359383.html (accessed 17April 2015) (in Russian).

27. Kuvshinov S. S. *Metody i algoritmy sokrytija bol'shih ob#emov dannyh na osnove steganografii. Dis. …kand.tehn. nauk* [Methods and algorithms for hidding large volumes of data based on steganography. Ph.D. of Engineering Sciences. Tesis]. Saint-Petersburg, ITMO University Publ., 2010, 116 p. (in Russian).

28. Razinkov E. V. *Matematicheskoe modelirovanie steganograficheskih ob#ektov i metody vychislenija optimal'nyh parametrov stegosistem* Dis. … kand. f.-mat. nauk [Mathematical modeling of the steganographic objects and the methods of calculation of optimal parameters of stegosystem. Ph.D. of Physico-mathematical Sciences. Tesis]. Kazan, Kazan Federal University Publ., 2012, 109 p. (in Russian).

29. Nechta I. V. Steganography in Portable Executable format files. *Vestnik SIBGUTI*, 2009, no. 2, pp. 85–89 (in Russian).

30. Zashcholkin K. V., Ivanova E. N. Information technology of embedding self-recovery digital watermark in lut-oriented containers, *Elektrotekhnicheskie i kompyuternye sistemy*, 2014, no. 16, pp. 78–84 (in Russian).

31. Slipenchuk P. V. Steganografija v kodah, ispravljajushhih oshibki [Steganography in the correcting errors codes]. *Engineering Bulletin*, 2013, no. 5, pp. 1-12 (in Russian).

32. Abazina E. S., Method of code consolidation of the hidden channel by transfer into video data. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no 3. pp. 16–42. Available at: http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-03/02-Abazina.pdf (accessed 20 March 2016) (in Russian).

33. Abazina E. S., Formirovanie steganograficheskogo kanala s kodovym uplotneniem na osnove dvumernyh nelinejnyh signalov [Formation of the

steganographic channel with a code consolidation based on two-dimensional non-linear signals]. *Questions of radio-electronics, the TV equipment series*, 2015, no 2, pp. 108-118 (in Russian).

34. Kolesnikov M. V Metod skrytoj peredachi dannyh v opticheskom kanale video kamery [Method of hidden data transmission in the optical channel of the camera]. *Engineering Bulletin*, 2013, no. 2, pp. 501-510 (in Russian).

35. Zakharkin S. V., Yurlov A. V., Babenko A. V., Kiryukhin D. A., Konyshev M. Y., Lyulin A. N. *Sposob vstraivanija szhatogo soobshhenija v cifrovoe izobrazhenie* [The Way of embedding a compressed message into a digital image]. Patent Russia, no. 2467486, 2012.

36. Zakharkin S. V., Ivanov I. V., Kiryukhin D. A., Voropaev M. V., Bolbenkov A. V. *Sposob vstraivanija soobshhenija v cifrovoei zobrazhenie* [The Way of embedding messages in digital image]. Patent Russia, no. 2407216, 2010.

37. Dvilyanskiy A. A., Kiryhin D. A., Snarov M. M., Emenka K. G., Chirikov V. E., Trapashko V. S., Shvytov K. V., Churbanov A. N., Ivanov I. V. *Sposob vstraivanija informacii v izobrazhenie, szhatoe fraktal'nym metodom, na osnove sformirovannoj biblioteki domenov* [The Way of embedding information in an image that is compressed fractal method, based on a formed library of domains]. Patent Russia, no. 2530339, 2014.

38. Alekseev A. P., Makarov M. I. Principles of multilevel protection of the information. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2012, vol. 10, no. 2, pp. 88-93 (in Russian).

39. Makarenko S. I. The steganographic system interconnection basic reference model and the justification of new areas of steganography theory's development. *Voprosy kiberbezopasnosti*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 24-32 (in Russian).

40. Alekseev A. P., Blatov I. A., Makarov M. I. Probability assessment of multimedia containers detection during space-time information diffusion. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 91-95 (in Russian).

41. Alekseev A. P., Makarov M. I. *Sposob skrytoj peredachi zashifrovannoj informacii po mnozhestvu kanalov svjazi, s uchetom moshhnosti pikselej domena* [The way of secure communication of encrypted information across multiple communication channels, taking into account the capacity of the pixel domain]. Patent Russia, no. 2462825, 2012.

42. Makarov M. I. *Razrabotka i issledovanie metodov skrytoj raspredelennoj peredachi seansovyh dannyhv telekommunikacionnyh setjah. Dis. …kand. tehn. nauk* [Development and study of distributed methods of hidden data transmission session in telecommunication networks. Ph.D. of Engineering Sciences. Tesis]. Samara, PSUTI Publ., 2013, 144 p. (in Russian).

43. Ivanov V. A., Dvilyanskiy A. A., Kiryhin D. A., Snarov M. M., Emenka K. G., Chirikov V. E., Ivanov I. V., *Sposob vstraivanija informacii v izobrazhenie, szhatoe fraktal'nym metodom, s uchetom moshhnosti pikselej domena* [The way of embedding information in an image that is compressed fractal method, based on the output pixel domain]. Patent Russia, no. 2546558, 2015.

44. Erunov A. A., Kvasov M. N. Raspredelenie propusknoj sposobnosti skrytogo kanala svjazi, organizovannogo metodom cifrovoj steganografii [Allocation

of the capacity of the covert channel communication, organized by the method of digital steganography]. *Sbornik nauchnykh statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija sistem svjazi i radiotehnicheskogo obespechenija v upravlenii aviaciej»* [Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference «Modern condition and prospects of development of communication systems and radio software in the aviation control»]. Voronezh, N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Military Air Academy Publ., 2015, vol. 1, pp. 4–5 (in Russian).

45.Tsvetkov K. U., Fedoseev V. E., Abazina E. S., Erunov A. A. Metod skrytoj peredachi informacii s kodovym uplotneniem v videodannyh pri blochnom delenii I-kadrov [Method of the hidden information transfer with using of the code consolidation in the video data by block division of I-frames]. *Sbornik nauchnykh statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Akademicheskie Zhukovskie chtenija»* [Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference «Zhukovsky Academic reading»]. Voronezh, N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Military Air Academy Publ., 2015, vol. 1, pp. 4–5 (in Russian).

46. Tsvetkov K. U., Fedoseev V. E., Korovin V. M., Abazina E. S., Imitatsionnaja model' skrytoy peredachi informatsii s kodovym uplotneniyem v structure szhimayemykh videodannykh [Simulation model of hidden communication with a code consolidation in the structure of the compression video data]. Certificate of state registration of the computer program, no. 2015615358, 2015 (in Russian).

47. Dryuchenko M. A. *Statisticheskie i nejrosetevye algoritmy sinteza i analiza steganograficheskiskrytoj informacii v audio- i graficheskih dannyh.* Dis. … kand. tehn. nauk. [Statistical and neural network algorithms of synthesis and analysis steganographically hidden information in audio and graphical data. Ph. D. of Engineering Sciences. Tesis]. Voronezh, Voronezh state University, 2010, 192 p. (in Russian).

Статья поступила 5 июля 2016 г.

Информация об авторах

Абазина Евгения Сергеевна – кандидат технических наук, преподаватель кафедры сетей и систем связи космических комплексов. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: цифровая стеганография, теория приема и обработки сигналов, теория передачи информации. E-mail: e.s.abazina@yandex.ru

Ерунов Анатолий Александрович – адъюнкт кафедры сетей и систем связи космических комплексов. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: цифровая стеганография, теория приема и обработки сигналов, теория передачи информации. E-mail: erun_to@mail.ru

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, Ждановская наб., д. 13.

Digital Steganography: Status and Development Outlook

E. S. Abazina, A. A. Erunov

Problem statement: *digital steganography is a relatively young branch of knowledge, the development of which is counted since the 90-ies of the last century. Despite this digital steganography is of great interest to specialists studying the issues of information security, engineers of information security tools and experts in the field of information theory and digital signal processing. Publications on techniques and methods of digital steganography, over the last five years are characterized by development of mathematical models of multimedia containers, use signals with spread spectrum, error-correcting codes, the involvement of elements of new mathematical tools.* ***Objective:*** *to summarize and clarify the main concepts and definitions of digital steganography, to clarify and systematize the classification of its policies and practices to the prospective studies in this area.* ***Result:*** *presents the basic concepts and definitions of digital steganography, the questions unsettled terminology in this area. It identifies basic publication in the field of digital steganography, given a refined classification of its policies and methods. There are the main directions of prospective research in this area and work done in certain areas in this article.*

Keywords: *steganography, hidden channels, digital watermarking, fractal wideband signals, pseudorandom sequences, genetic algorithms, cellular automata, management of hidden bandwidth, multi-channel stegosystem.*

Information about Authors

Evgeniya Sergeevna Abazina – Ph.D. of Engineering Sciences, Lecturer at the Department of Networks and Communication Systems of Space Complexes. Mozhaiskiy Military Space Academy. Field of research: digital steganography, the theory of signals. E–mail: e.s.abazina@yandex.ru

Anatoliy Aleksandrovich Erunov – Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of Networks and Communication Systems of Space Complexes. Mozhaiskiy Military Space Academy. Field of research: digital steganography, the theory of signals. E–mail: erun_to@mail.ru

Address: Russia, 197198, Saint Petersburg, Zhdanovskaya street, 13.

УДК 330.115

Моделирование переговорных процессов в высокотехнологичных производственных системах

Виноградов Г. П., Ивашкин Ю. А.

Постановка задачи: *повышение уровня автономности подразделений в наукоемких производствах привело к распределению центров принятия решений. Это сделало актуальной проблему исследования процесса взаимодействия подразделений в интеллектуальных организациях при решении сложных слабоструктурированных проблем в условиях неопределенности внешней среды. Известные методы и подходы не учитывают взаимозависимость субъектов при выработке согласованных решений, их субъективные оценки ситуации выбора, цели, потребности, мотивацию, что делает формальные модели не реализуемыми на практике.* ***Целью работы*** *является разработка механизма взаимодействия подразделений производства в форме переговорного процесса, когда вследствие сложности технологического процесса, требующего специализированного знания, на вышестоящем уровне управления могут быть неизвестны возможности подчиненных уровней или отсутствует возможность детерминировать их поведение силовым путем.* ***Используемые методы****: решение задачи построения механизма переговорного процесса основано на оригинальном подходе моделирования субъективно-рационального выбора, учитывающего индивидуальное понимание лицом, принимающим решение, свойств ситуации выбора. Разработка модели выбора основана на использовании положений теории нечетких множеств. Модель механизма переговорного процесса основана на использовании результатов теории активных систем.* ***Новизна:*** *элементами новизны представленного решения являются разработка модели субъективно рационального выбора и построение на ее основе теоретико-игровой модели механизма переговорного процесса, учитывающего взаимозависимость участников, обоснование сходимости переговорного процесса при различных вариантах информированности арбитра о возможностях участников.* ***Результат****: предложенный подход согласования интересов участников переговорного процесса позволяет сочетать оценки, полученные формальными методами, с субъективными оценками, полученными на основе знаний, опыта. Использование полученных результатов позволяет повысить объективность вариантов решений, является основой для создания информационных технологий для интеграции «естественных» интеллектов при решении творческих задач, требующих не тривиальных подходов, выработать «идеальные модели» проведения переговоров.* ***Практическая значимость****: представленное решение предлагается реализовать на основе использования агентных технологий. Это позволяет выполнять исследование переговорного процесса как системы, динамика которой определяется не глобальными правилами и законами, а тогда, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель моделирования – получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе.*

Ключевые слова: *переговорный процесс, конфликты, принятие решений, мультиагентная система, модель, согласованное управление, компромисс.*

Актуальность

Современные тенденции в развитии организаций указывают на возрастание необходимости в конструктивных переговорах при решении проблем. Это связано с такими направлениями эволюции организационных систем, как децентрализация; стремление к созданию все меньших по численности и более автономных по статусу подразделений, набирающая в них силу рыночная и предпринимательская ориентация. Повышение уровня автономности и самостоятельности субъектов (в дальнейшем агентов) переориентировало центры принятия решений на нижние уровни иерархии

организационных систем. В этих условиях подразделения организации, каждое из которых имеет свои собственные интересы и понимание ситуации выбора, во все большей степени принуждены разрешать стоящие перед ними задачи своими силами и учиться налаживать взаимодействие с другими подразделениями при решении проблем, требующих объединения усилий [1]. Особый интерес представляют конфликтные ситуации между различными уровнями управления при выборе наилучших стратегий и планов достижения общей цели с учетом локальных интересов отдельных звеньев. Это породило для науки управления новое направление – исследование процесса взаимодействия агентов в интеллектуальных организациях при решении сложных слабоструктурированных проблем в условиях неопределенности внешней среды. Его предметной областью стало исследование принципов и механизмов принятия решений взаимодействующими агентами на основе их субъективных представлений о ситуации выбора, их структуры предпочтений и этической системы (духовно-нравственной составляющей), как самих себя, так контрагентов и индивидуального и совместного поведения при решении проблем.

Разрешение конфликтов между различными уровнями иерархии в организации во все большей степени требует использования различных форм организации *компромиссного переговорного процесса,* учитывающего интересы агентов для определения возможной области согласованных решений. Для слабоструктурированных проблем при формировании согласованных решений его особенность состоит в:

1) невозможности четко сформулировать задачу и способы ее решения;
2) отсутствии меры успеха результата, ее заменяют экспертные оценки или интуиция лица, принимающего решения (ЛПР).

Такие проблемы, как правило, требуют итеративного процесса принятия решения и не всегда имеют известные альтернативные способы решения. Их приходится определять в процессе принятия решения [2, 4]. При этом невозможно игнорировать субъективные, личностные, психологические и духовно-нравственные аспекты процесса принятия решений [38].

Второй фактор, обуславливающий необходимость переговоров, – это неопределенность. Она связана с тем, что агенты могут сформировать лишь приближенное представление о предметной области, а значит, они не могут с большой степенью уверенности гарантировать наступление желаемых состояний (результатов) и требуемых для этого затрат. Часто агенты даже не имеют точного представления о своих реальных целях [3, 4]. Поэтому переговоры часто рассматриваются участниками как один из способов снятия неопределенности или, по крайней мере, ее снижения.

Постановка задачи

Цель данной работы заключается в теоретико-игровом анализе моделей переговоров и разработке алгоритмов проведения рациональных переговоров при решении задачи формирования согласованного плана для высокотехнологичного производства. Объектом исследования являются последовательные переговоры,

использующие арбитражные процедуры, учитывающие аспекты влияния репутации сторон на окончательное решение переговоров, а также вопросы устойчивой реализации достигнутых соглашений. Использование игровых моделей в переговорных процессах позволяют: во-первых, более обоснованно выбирать стратегию переговорного процесса, выстраивая его на принципах рациональности и полезности; во-вторых, применение результатов теории игр, теории многоагентных систем, Grid-технологий позволяют выработать так называемые идеальные модели поведения в переговорном процессе. В литературе, посвященной рефлексивному управлению, такие модели получили название «*стратегемы*» [11].

Для обоснования этого подхода рассмотрим состояние вопроса в этой предметной области.

Современные исследователи в области переговорного процесса акцентируют внимание на разных его сторонах и по-разному определяют понятие переговоры. Одни из них видят в переговорах стремление к консенсусу, взаимопониманию и эффективному сотрудничеству [5]. Другие склонны рассматривать переговоры как средство преодоления конфликта [6-8]. Они считают, что результатом переговоров является выработка некоторого решения, устраивающего в той или иной степени все участвующие стороны. Ряд исследователей полагают, что во время переговоров создается новая реальность, понимаемая как некоторое желаемое состояние предметной области и рассматриваемая как цель. Кроме того, под воздействием обмена информацией происходит трансформация моделей поведения участников, направленная, как правило, на их выравнивание и на согласование представлений о ситуации выбора [9, 10], поскольку каждый участник переговоров оказывает влияние на другого и наоборот.

В производственных системах главным в переговорах является решение проблемы. Хотя на решение проблемы оказывают влияние отношения между сторонами, возможности и притязания сторон, личные интересы, отличные от интересов команды, эффективность внутри групповых дискуссий при нахождении консенсуса и т.п., тем не менее, переговоры следует рассматривать, как умение следовать своим интересам вместе с осознанием неизбежности взаимозависимости. Более того, переговоры даже увеличивают значимость взаимозависимости в том смысле, что люди осознают, как с ее помощью можно получить преимущество. То есть переговоры можно рассматривать как познавательный процесс и последовательное обучение.

Этот анализ ряда сложившихся в науке, посвященной исследованию переговорного процесса, подходов позволяют сформулировать следующее определение понятия переговоров в организационных системах.

Переговоры в организационных системах представляют собой коммуникативное взаимодействие нескольких взаимозависимых сторон, имеющих определенные общие цели, для достижения которых они обмениваются в течение определенного промежутка времени информацией для согласования представлений о состоянии предметной области и своих позиций, а также предложениями, которые следует рассматривать как варианты способов

действия в ситуации выбора, для совместного принятия решения, оформленного в определенной письменной форме, например, протоколом.

Основные функции переговоров в организационных системах состоят в следующем:

1) решение проблем;
2) выявление и согласование позиций и представлений о ситуации выбора;
3) поиск согласованного способа действия при решении задач;
4) определение формы организации и контроля совместной деятельности при реализации согласованных решений.

В основу пригодной для практики модели переговорного процесса положены два основных типа общественного поведения:

- первый тип: «*сотрудничество – борьба*»;
- второй тип: «*развертывание – уклонение*».

Взаимозависимость – структурный фактор, на котором базируются два этих основных типа поведения. Использование одного из типов поведения неизбежно, и зависит от природы взаимозависимости, даже скорее от сбалансированности сил между сторонами переговоров. Оба эти типа в комплексе предлагают возможные способы оперирования различными формами взаимозависимости. Первый тип координирует и интегрирует наиболее важные переговорные *дилеммы* с *видами деятельности* в переговорах. Второй тип относится к *фазам* в процессе переговоров и *процедурам*, которые могут быть использованы сторонами.

На результативность переговоров очень сильно влияют субъективные факторы. Важно понимать подоплеку того или иного поведения участников для формирования соответствующего информационного и иного управляющего воздействия. Традиционно это является предметом исследования теории организационного поведения. Рассматриваемые ниже положения выработаны на основе результатов, приведенных в работе [12].

Мотивационно-целевая направленность – свойство личности, которое в качестве устойчивых доминирующих мотивов, связанных с целями и обязательствами и относительно независимых от наличных ситуаций, определяет характер поступков человека.

К мотивирующим факторам относятся:

1) *потребности* как источники активности (*почему человек стал проявлять активность*);
2) *собственно мотивы, имеющие смысловое значение причины*, определяющие выбор направленности и характера поведения (*ради чего произведен выбор каких-либо действий и почему действия были направлены на данный объект*);
3) *установки* как способы регуляции динамики поведения (*каким образом осуществляется регуляция динамики активности человека*).

Потребности рассматриваются как необходимость разрешения сложившегося и развивающегося противоречия между необходимым (удовлетворяющим, внутренне комфортным) состоянием человека и реально

существующим, которое ощущается или осознается им как неудовлетворенность, страдание, беспокойство, дискомфорт и в то же время как психическое напряжение, которое образует исходное побуждение к действию.

Реализации потребностей предшествует поисковое поведение – поиск определенных способов действий и предметов удовлетворения потребности. В своем развитии потребности могут превратиться в склонность. *Собственно мотив,* как осознанное внутреннее побуждение человека и имеющее для него смысловое значение причины того или иного поведения, связаны с самосознанием и мировоззрением человека (взглядами, убеждениями, идеалами, ценностными ориентациями). Понятно, что вся совокупность внешних воздействий на человека – от среды и условий существования до целенаправленного принуждения во многом определяют его поведение. Но именно его мотивация способна не только максимально раскрыть и реализовать потенциал личности, но также усилить или ослабить вплоть до полной компенсации внешнее воздействие на человека.

Мотив, таким образом, – это внутренняя осознанная побудительная сила, толкающая агента на определенные действия или высказывания в целях удовлетворения актуализированной потребности. Поэтому объяснение причин, побудивших агента к выбору данного типа действия, осуществляется посредством мотивировки. С помощью мотивировки он и сам оправдывает свои действия и поступки, приводя их в соответствие с требуемыми нормами поведения в различных ситуациях, а также со своими собственными убеждениями.

В каждый конкретный момент агент стремится, прежде всего, удовлетворить те потребности, которые наименее удовлетворены, и создать наиболее благоприятные условия для удовлетворения будущих потребностей. Общая совокупность побуждений, вызывающих активность агента и определяющих его направленность, образует *мотивационную сферу*. Надо учитывать, что формирование и развитие мотивации имеет ряд характерных особенностей.

Во-первых, мотивы по своей сложности и принадлежности к потребностям имеют несколько уровней. Заменить мотивацию одного уровня мотивацией другого невозможно, хотя в рамках одного уровня определенная взаимозаменяемость присутствует. Процесс развития мотивации осуществляется в направлении от удовлетворения низших потребностей к высшим.

Во-вторых, при невозможности удовлетворить потребности более высокого порядка развитие мотивации может осуществляться регрессивно (при этом наступает состояние *фрустрации* – досада, дискомфорт, напряженность, – сопровождающееся либо агрессией, которая может быть направлена как на других, так и на себя, либо снижением ценности недосягаемого объекта) или замещаться другим «равным» мотивом.

В-третьих, развитие высших мотивов в принципе беспредельно, однако низшие мотивы могут сравнительно долго оставаться на первом плане, так как человеку свойственно стремиться к сохранению уже достигнутых форм

жизнедеятельности, фиксированного уровня потребления и отвергать неопределенность в качестве нормального состояния.

В-четвертых, мотивы развиваются в постоянном сравнении, как идет процесс удовлетворения насущных потребностей у соседей, знакомых и других людей.

В конечном счете, наибольшее значение для проявления активности человеком имеет *мотив достижения*, который представляет собой устойчивое стремление к достижению высокого результата. Основу мотива достижения составляют: потребность в самореализации; понимание необходимости решения задачи и возможности успешного достижения намеченной цели; установка на обязательное личное участие в осуществлении данных действий; ожидания в отношении получения запланированных результатов при определенных затратах, в отношении получения определенного вознаграждения за определенные результаты, в отношении ценности (справедливости) вознаграждения (как правило, человека интересует не абсолютный уровень его награды, а в соотнесении с тем, какой вклад вносят и какое вознаграждение получают другие люди). *Мотив достижения связан с ориентацией на свой внутренний стандарт качества и может проявляться как стремление к успеху или как стремление избежать неудачи*.

При принятии агентом решения о способе действия им, как правило, движут два вида мотивов: обобщенные, придающие действиям определенный смысл, и частные, узкие, непосредственно побуждающие к действию, но не меняющие смысла деятельности (мотивы-стимулы). Действия, лишенные обобщенного мотива, психологически тягостны для человека. Отсутствие мотивов-стимулов не порождает необходимой активности в данный момент. Оптимальное сочетание мотивов-стимулов и широких, обобщенных мотивов обеспечивает надежность, устойчивость поведения человека в любых условиях в соответствии с поставленными целями.

Под *самосознанием* понимается устойчивая и переживаемая как неповторимая система представлений человека о самом себе (своих достоинствах, заслугах, недостатках, социальной значимости и др.), на основе которой он строит отношение к самому себе и избирает ту или иную линию поведения. Самосознание включает в себя представления о том, каким является человек в данный момент времени; представления о том, каким он себя видит в ближайшей и отдаленной перспективе, исходя из реально сложившейся обстановки; представления о том, каким он хотел бы стать в идеале. Все эти представления касаются Я-физического, Я-интеллектуального, Я-профессионального и др. Реальное и идеальное Я могут не совпадать между собой, что приводит как к позитивным последствиям (стремлению к самосовершенствованию), так и к негативным (появлению внутриличностных конфликтов, ведущих в пределе к срыву адаптационных возможностей личности). Субъект в организации должен чувствовать, что отношение к нему обязательно обернется для него ростом самоуважения.

Ядром самосознания является самоуважение человека. Низкое самоуважение личности может выражаться: в высокой степени развития

пассивных форм психологической защиты; в нетерпимом отношении к критике, юмору; в склонности к самообману, боязни правды; в конформистских реакциях; в занижении своих возможностей, самоуничижении; в опасении, что окружающие все время насмехаются над ним; в агрессивном поведении; в перекладывании ответственности на других; в трудностях с осознанием, что он не совершает хорошие поступки, так как считает себя неспособным к ним и т.д.

Если самооценка агента не найдет опоры в данной системе и будет заблокирована реализация одной из базовых потребностей человека – потребность в уважении, то может развиться резкое ощущение личностного дискомфорта, неприязнь к организации, желание найти ту организацию, в которой будет получена необходимая для повышения самоуважения оценка. Высокое самоуважение связано с уверенными действиями, со стремлением любого сотрудника брать ответственность на себя и т.п.

Самосознание человека непосредственно связано с его мировоззрением. Мировоззрение человека включает в себя три взаимно переплетенных представления о мире: *обыденное* (житейское), которое отражает представления здравого смысла; *религиозное,* основанное на вере, на необходимости соблюдения определенных заповедей; *научное*, создающее рациональную картину мира и определяющее в нем место конкретного человека. Такой смешанный характер представлений о мире влияет на постановку целей в ходе планирования и разработку стратегий поведения.

Убеждения человека представляют собой твердые позиции, устоявшиеся взгляды, основанные на осознании собственной правоты, овладевшие чувствами и волей и ставшие потребностью, побуждающей действовать в соответствии с заложенными в них ценностями. По степени приверженности человека определенным убеждениям последние могут принимать форму фанатизма, готовности к жертвам ради идеи. Преданность идее, как правило, сочетается с нетерпимостью к инакомыслящим, повышенной эмоциональностью, некритическим отношением к любой информации, несвязанной с подтверждением идеи.

Убеждения непосредственно связаны с *ценностями* личности. Ценности отражают положительную и отрицательную значимость явлений окружающего мира для человека, его потребностей и интересов, а *ценностные ориентации*– предпочтения человека, избирательное отношение к ценностям.

К универсальным ценностям человека относятся: любовь, семья, престиж, уважение, дружба, компетентность, деньги, вещи, свобода, здоровье, долг, честь и достоинство, ответственность, принадлежность к роду, классу, нации, работа. Причем для большинства женщин характерна ориентация на терминальные (базовые) ценности (семья, доверительные супружеские отношения, дом и т.д.), для мужчин – ориентация на инструментальные ценности, связанные с самореализацией и самоутверждением (творчество, профессиональная компетентность, наличие престижных вещей и т.п.).

Следует учитывать, что у агента могут быть сформированы прочные *предубеждения*, препятствующие адекватному восприятию информации. Особенностью предубеждений является то, что человек не осознает, что он

предубежден. Наименее эффективным воздействием на агента будет прямое отрицание его предубеждений. И, наоборот, мягкое формирование новых взглядов, убеждений (без затрагивания сложившихся предубеждений) может оказать решающее влияние на принятие агентом необходимого решения.

Установки как способы регуляции динамики поведения человека не менее важны при изучении мотивации агента. Установки представляют собой особый момент, предвосхищение человеком целей и задач, занятую им позицию, которая заключается в определенном отношении к этим целям и задачам и выражается в избирательной мобилизованности и готовности к деятельности, направленной на их достижение. Поэтому важно формировать у агентов позитивные установки, в основе которых лежит положительное отношение к организации.

В зависимости от того, с какой составной частью деятельности агента в организации связана установка (мотив, цель, действия и операции), выделяются смысловые, целевые и операциональные установки.

Смысловая установка выражает проявляющееся в деятельности агента отношение к целям системы, обсуждаемым вопросам, нормам взаимоотношений между агентом и организацией, способам решения поставленных задач. В структуру установок, связанных с готовностью агента прикладывать усилия, входят: установка на обязательное достижение поставленной цели; установка на полную реализацию ожиданий от своей деятельности; установка на улучшение предлагаемых условий по сравнению с прошлыми условиями или условиями, предлагаемыми другими организациями и др.

Целевые установки вызываются задачей при выполнении производственных обязанностей и определяют устойчиво направленный характер протекания действий и общения агента. В случае прерывания действия целевые установки проявляются в виде динамических тенденций к завершению прерванного действия, которые могут сопровождаться негативными эмоциями. Поэтому не только не следует перебивать агента, когда он высказывает свои пожелания по поводу того, что хотел бы получить от организации, но и необходимо интересоваться деталями.

Операциональные установки реализуются в определенной преднастройке органов чувств и моторной области, что повышает результативность начала тех или иных способов осуществления действия.

Цели являются идеальным представлением результата и, как правило, определяют способ и характер деятельности человека. Порождение целей может быть произвольным и непроизвольным. Среди механизмов целеобразования наиболее часто встречаются: планомерное формирование цели; превращение неожиданно полученной информации в цель; преобразование неосознанных предвосхищений в цель; выделение промежуточных целей; переход от предварительных к окончательным целям и др. Действие механизма целеобразования зависит от сложившейся ситуации и индивидуальных особенностей человека.

Таким образом, модели переговорных процессов тогда будут востребованы, когда в них кроме формальных оценок и расчетов будут

учитываться личные качества участников переговоров: их интеллект, субъективные оценки, умение находить решение и т.д. Это связано с тем, что на решение агента основное влияние оказывает его субъективные представления о ситуации выбора и те выводы, которые он на их основе делает. Естественно, что в предложенных вариантах решений он должен видеть их возможно полный учет. Использование средств вычислительной техники должно сочетать оценки и решения, полученные формальными методами, с субъективными оценками, сделанными на основе знаний, опыта и интуиции.

Поскольку решение вырабатывается на основе, как имеющейся объективной информации, так и субъективных представлений, интересов, целей, предпочтений участников переговоров, то процесс переговоров должен позволять осуществлять переход от начальных точек зрения путем информационных воздействий к единому коллективному мнению, с которым согласны участники переговоров и на основе которого вырабатывается согласованное групповое решение.

Необходимость решения задач управления поведением агентов в переговорном процессе обуславливает актуальность разработки адекватной концепция моделирования их поведения и построения соответствующего механизма функционирования переговорного процесса, что предполагает наличие модели поведения людей в организационной системе. Основой построения таких моделей является гипотеза, что с психологической точки зрения мозг имеет несколько уровней обработки информации [13, 14]. В соответствии с этой гипотезой модель поведения субъекта (агента) должна включать:

- 1-й уровень. Окружение и контекст: это некоторая совокупность параметров, которую определяет агент и относительно которых он уверен, что обладает достаточной информацией для правильного понимания процессов, протекающих в конкретной предметной области (неявное индивидуальное абстрагирование вследствие фильтров на уровне подсознания и явное вследствие опыта и знаний);
- 2-й уровень. Поведение: набор способов действия, относительно которых агент уверен, что они гарантируют получение результатов с требуемыми свойствами в различных сферах: духовной, материальной и т.п., в ситуациях с приблизительным совпадением значений параметров-характеристик среды;
- 3-й уровень. Способности и свойства: интеллектуальные, когнитивные, лингвистические, поведенческие, позволяющие агенту вырабатывать представления определенного «качества» об окружении, формировать множество способов действия, принципы и методы принятия решений;
- 4-й уровень. Потребности, ценности (духовные и материальные) и убеждения, то есть все то, что определяет значимость потребностей как мотивов, значения свойств желаемых состояний, критерии оценки ценности возможных результатов от способов действия, их шкалы и конкретные значения в ситуациях выбора.

- 5-й уровень. Идентификация своей позиции: коммунист, демократ, предприниматель, должностное лицо, семьянин. Это набор параметров, определяющих принадлежность агента к определенной группе. Они позволяют определить набор обязательств, которые принимает агент в соответствии с моделью поведения группы;
- 6-й уровень. Духовность. Она определяет этическую составляющую в модели выбора, способ взаимодействия между агентами, в том числе и коммуникативного, например, любовь и ненависть. Духовность влияет на сходимость при согласовании интересов враждующих, сотрудничающих, соревнующихся, конкурирующих и «безразличных» сторон, доводя их либо до конфликта, либо до компромисса, либо до понимания необходимости объединения усилий для достижения общей цели. Основу этической системы составляют понятия добра и зла и их интерпретация агентом.

Эта многоуровневая модель целеустремленного поведения может быть формализована с помощью: методов правдоподобных рассуждений и индуктивной логики в расплывчатых условиях; понятий нечеткая и лингвистическая переменная, вероятность; измерение значений переменной вероятность в абсолютной шкале с нечувствительностью с помощью интерактивных методов; определение значений переменной вероятность в зоне нечувствительности; измерение функции принадлежности оценки в зоне нечувствительности нечеткой переменной вероятность в шкале порядка (методы экспертных оценок, метод фокус – групп и т.д.); формулы Байеса для нечетких условий.

Приведенные рассуждения позволяют выделить следующие составляющие механизма принятия решения агентами, от которых зависит его поведение (рис. 1).

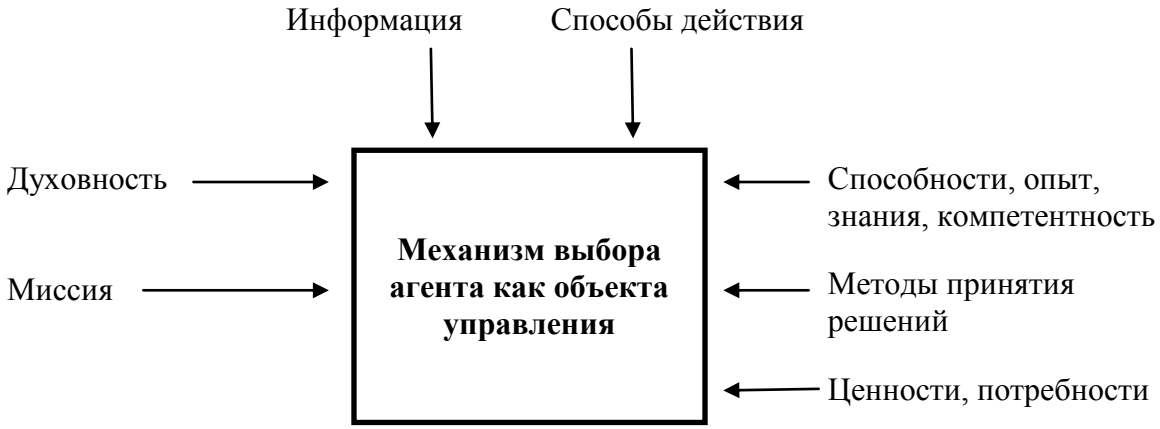


Рис. 1. Основные составляющие механизма принятия решения агентами

Рефлексивные процессы принятия решений в рамках постнеклассической рациональности

Поведение человека является результатом его когнитивной деятельности, которая придает ему целенаправленность. Характер поведения зависит от отношения человека к наблюдаемым процессам и явлениям, выражающийся в ценностных оценках различного рода. В психологии когнитивная деятельность рассматривается как *рефлексивный* процесс формирования мысленного образа (результата восприятия) и *рефлексивной* модели познаваемых и анализируемых объектов, процессов, явлений. В соответствии со сформированной моделью, исходя из фиксированных в сознании установок, правил, обычаев, прошлого жизненного опыта, знаний вырабатывается отношение к *рефлексии*. Затем в зависимости от этого отношения и *рефлексивных* оценок степени адекватности объекту результата мысленного отображения и анализа субъект формирует свое поведение, вырабатывая программу действий своего участия (или различной степени участия вплоть до полного неучастия) в событиях, процессах, явлениях, которые он считает важными для себя. Следовательно, один из возможных вариантов преодоления недостатков традиционных способов описания поведения агентов является модификация моделей рационального поведения путем включения в них *рефлексивных* переменных, которые являются характеристиками поведения человека, используемыми в психологии, социологии и т.п.

Рефлексивные процессы принятие интуитивных решений в рамках постнеклассической рациональности предполагает использование агентом позиции «наблюдателя», «исследователя» или «контролера» по отношению к своему телу, своим действиям, своим мыслям. Они основаны на способности каждого агента занять позицию исследователя по отношению к другому «персонажу», его действиям и мыслям. Технология рефлексии использует интуицию, интуитивные идеи, оценки и решения, образное мышление [13]. Для построения рефлексивных процессов принятие интуитивных решений целесообразно использовать:

- модели поведения НЛП TOTE и SCORE [14];
- технологию обработки нечеткой информации в системах принятия решений [15];
- модель постоянного обновления и согласования знаний в интеллектуальных организациях [16];
- интерактивные навыки решения проблем в понятиях согласия группы;
- креативные процессы группы принятия решений;
- согласование представлений агентов в интеллектуальных многоагентных системах [17].

Теоретико-игровое моделирование рефлексивного моделирования переговорного процесса

Переговоры в сложных системах, включающих в себя подсистемы, обладающие свойствами автономности и активности [19], следует рассматривать как совокупность взаимодействующих участников, находящихся

под общим управлением, где руководитель выступает, как правило, и как участник и в роли арбитра.

В переговорном процессе участники при формировании согласованного решения обмениваются информационными сообщениями, поэтому ситуация принятия решения является *интерактивной*. При этом существенны не только представления (*beliefs*) агентов о параметрах ситуации выбора, но и их представления о представлениях других агентов и т.д. Совокупность этих представлений у агента образует иерархию представлений (*hierarchy beliefs*). Следовательно, цель обмена сообщениями связана с воздействием на иерархию представлений, которое следует рассматривать как *информационное управление*. В этом процессе формирование взаимодействующими сторонами линии своего поведения происходит на основе взаимного моделирования состояния и возможных вариантов поведения контрагентов. Формально это означает, что в целевую функцию каждого агента входят действия других агентов и эти действия являются частью внешней среды. В теории управления такой процесс называется рефлексией [9].

Трансрефлексия предполагает наличие у агента представлений о представлениях у оппонента и их представлений о нем и т.д. [18]. Это означает, что у каждого агента имеется не только представление о предметной области, но и представление о моделях-представлениях у других агентов, а также его представление об их представлениях о нем самом. Стремление к уточнению и выравниванию моделей-представлений является мотивацией к общению (переговорам). Оно направлено на лучшую предсказуемость поведения оппонентов и дано нам в инстинктах. Это выражение действия гипотезы детерминизма, когда агенты путем общения прилагают усилия для снятия неопределенности. Отсюда слова «*договорились*, *по рукам*» и т.п. в противном случае снятие неопределенности осуществляется силовым путем: «*нет человека, нет и проблем*».

В переговорном процессе в наукоемкой организации агенты стремятся подтвердить свою квалификацию и внести свой вклад в согласованное решение. Поэтому для агентов переговорного процесса характерна особая форма теоретической деятельности, направленная на осмысление:

1) свойств, процессов и законов протекания процессов предметной области;
2) способов своих собственных действий при различных ее состояниях.

В процессе этой деятельности раскрывается ценностная структура предпочтений и духовно-нравственный мир агентов. Такая форма рефлексии называется авторефлексией или *рефлексией первого рода* [18].

Авторефлексия является существенной тогда, когда агент действует в условиях риска и неопределенности, и стремится максимизировать свою целевую функцию, выбирая одно из этически допустимых действий. В этом случае *объективная реальность* входит в его модель выбора через ее *субъективное описание* доступными для агента средствами как некий параметр. Тогда результаты принятого решения будут определяться «качеством» субъективного описания действительности. Результат авторефлексии позволяет

изменить действия, выбираемые агентом тогда, когда им будет выявлено и осознано несовпадение его представлений о реальности с ее фактическим состоянием. Соответствующий ее алгоритм для интеллектуального агента в наукоемком производстве будет рассмотрен ниже.

Для формальной характеристики взаимной рефлексии участников переговорного процесса будем использовать понятие «ранг рефлексии» [18]. Для этого введем предположения:

1. Структура организации переговорного процесса в наукоемком производстве имеет два уровня: центр (агент-лидер) и n подчиненные ему агенты-участники.
2. Для агентов-участников выполняется гипотеза благожелательности их по отношению к центру. То есть они считают, что деятельность центра направлена на такое развитее организации, которое увеличивает их благополучие. Тогда можно считать, что агенты-участники ограничиваются первым рангом рефлексии, то есть они в своем поведении в переговорном процессе руководствуется гарантированными (минимаксными) стратегиями. Следовательно, агент-участник выбирает из всех возможных вариантов информационного управления центра наихудший для себя и применительно к нему ведет себя наилучшим образом.
3. Относительно друг друга у агентов имеет место *рефлексия второго рода* относительно представлений о реальности, принципах принятия решений, авторефлексия вследствие их взаимозависимости. То есть каждый агент A строит свое поведение, предполагая, что агент B имеет первый ранг рефлексии. При этом агенты-участники стремятся к ситуации общего знания путем взятия на себя обязательств, способствующих росту эффективности согласованного решения и созданием обстановки взаимного доверия за счет предъявления моделей поведения друг другу.
4. Поскольку деятельность агентов направлена на максимизацию своей целевой функции, что возможно только при условии максимизации суммарного эффекта всех, то предполагается, что рациональность игроков, то есть следование их гипотезе рационального поведения, является общим знанием.
5. Организационная система создается для достижения некоторой цели. У агентов, как элементов коллектива имеются собственные и общие интересы. Взаимозависимость агентов координирует интересы коллектива агентов и индивидуальные интересы каждого агента на основе принципом запрета эгоизма: каждый субъект, преследуя свои личные цели, не может наносить ущерб коллективу как целому не навредя самому себе.

Тогда при рефлексивном управлении переговорного процесса центр должен стремиться к тому, чтобы путем информационного воздействия заставить (принудить) агентов действовать так, как это выгодно организации в целом, учитывая их интересы. То есть путем передачи агентам-участникам

информации, которая принуждает их выбрать стратегию своего поведения (программу действий на некоторую перспективу), выгодную для него и для них. В этом смысле говорят: центр мотивирует поведение агентов. С этой целью центр должен:

а) уяснить потребности и интересы агентов, то есть понять мотивы, определяющие их решения и поступки;
б) узнать (обычно путем проведения комплекса предварительных мероприятий) возможные варианты действий агентов, их конкретные цели и намерения, способы их достижения, ресурсные и коммуникационные возможности, а также внешние ограничивающие факторы;
в) принять (опираясь на эти данные и данные маркетинговых исследований поведения агентов внешней среды) решение относительно собственного поведения и на этой основе рассчитать выгодную для себя нормативную стратегию поведения агентов-участников;
г) передать агентам-участникам данные о состоянии организации, внешней среды, своих намерениях, возможных выигрышах организации в целом и каждого агента в частности, которые побудят их выбрать стратегию поведения, выгодную для центра.

Для взаимной рефлексии характерна неопределенность результатов управления. Агент может не принять или не понять сигналы от центра или, что намного хуже, поняв их и их значение, реагировать на них в своих интересах. Для парирования неопределенности необходимо иметь возможность путем моделирования определять варианты поведения агентов, оценивать ранг их рефлексии агента и свой риск. Ниже рассматривается вариант такой модели, в которой отражено субъективное понимание агентом своих интересов и его понимание ситуации выбора.

Выбор стратегии агентов зависит от индивидуальной оценки ситуации и последствий конфликта, ресурсных ограничений и цены риска; статуса оппонента и значимости того или иного исхода противоречия для субъекта конфликта. Ход переговоров в производственных системах определяется соотношением факторов силы и отношениями зависимости между вовлеченными в переговоры сторонами. Стороны могут быть взаимозависимы не в равной степени, но в процессе переговоров может быть достигнуто некоторое силовое равновесие. Когда различия в силе слишком очевидны, то и поведение сторон отличает манипуляции и эксплуатация с одной стороны, и покорность и недовольство с другой. Определенный баланс сил и осознание того, что стороны нуждаются друг в друге, так как удовлетворить свои потребности субъект производства на желаемом уровне может только при эффективной работе всех. Этот факт можно рассматривать как необходимое условие для конструктивных переговоров.

Теоретико-игровая модель переговорного процесса [9]. Переговорный процесс задается набором параметров, описывающих:

1) *множество агентов* – участников переговорного процесса;

2) *предпочтения агентов* (зависимостей выигрышей от действий): при этом предполагается (и этим отражается целенаправленность поведения), что каждый агент заинтересован в максимизации своего выигрыша (правило индивидуального рационального выбора);
3) *множества допустимых действий агентов*;
4) *информированность агентов* (той информации, которой они обладают на момент принятия решений о выбираемых действиях);
5) *порядок функционирования* (последовательность выбора действий).

Множество агентов определяет участников игры. Предпочтения отражают, что хотят агенты, множества допустимых действий – что они могут, информированность – что они знают, а порядок функционирования – как и когда они выбирают действия.

Для описания коллективного поведения агентов в переговорном процессе необходимо учитывать их взаимное влияние: в этом случае возникает *игра* – взаимодействие, в котором выигрыш каждого агента зависит как от его собственного действия, так и от действий других агентов. Отметим, что переговоры должны привести к разумному соглашению.

Разумным соглашением считается такое, которое максимально отвечает интересам каждой из сторон, справедливо регулирует сталкивающиеся интересы, является долговременным, принимает во внимание интересы производственного персонала и центра.

Для моделирования взаимодействия между n агентами в процессе переговоров предположим, что каждый агент осуществляет выбор *действия* x_i, принадлежащего *допустимому множеству*

$$X_i,\ i \in N = \{1, 2, \ldots, n\}.$$

Выигрыш i-го агента зависит от его собственного действия $x_i \in X_i$, от вектора действий

$$x_{-i} = (x_1, x_2, \ldots, x_{i-1}, x_{i+1}, \ldots, x_n) \in X_{-i} \in \prod_{j \in N/\{i\}} X_j,$$

оппонентов $j \in N/\{i\}$ и от состояния природы $\theta \in \Omega$, и описывается функцией выигрыша

$$f_i = f_i(\theta, x), \text{ где } x = (x_i, x_{-i}) = (x_1, x_2, \ldots, x_n) \in X' = \prod_{j \in N} X_j$$

– вектор действий всех агентов.

Решением игры (*равновесием*) называется множество устойчивых в том или ином смысле векторов действий агентов, удовлетворяющему условию разумности.

В силу гипотезы рационального поведения каждый агент будет стремиться выбрать наилучшие для него (с точки зрения значения его целевой функции) действия при заданной обстановке. *Обстановкой* для него будет совокупность обстановки игры $x_{-i} \in X_{-i}$ и состояния природы $\theta \in \Omega$. Следовательно, принцип принятия им решения о выбираемом действии можно записать следующим образом (*BR* обозначает наилучший ответ – *best response*):

$$BR_i(\theta, x_{-i}) = \arg\max f_i(\theta, x_i, x_{-i}),\ i \in N,\ x_i \in X_i. \quad (1)$$

Так как для агентов переговорного процесса множество (1) зависит от обстановки, то можно определить многозначное отображение

$$BR(\theta, x) = (BR_1(\theta, x_{-1}); BR_2(\theta, x_{-2}), \ldots, BR_n(\theta, x_{-n})).$$

Если при состоянии природы θ существует точка $x^*(\theta) \in X'$, удовлетворяющая условию:

$$x^*(\theta) \in BR(\theta, x^*(\theta)), \quad (2)$$

то исход игры является равновесием Нэша.

Выражение (2) можно также записать в виде:

$$\forall i \in N, \forall y_i \in X_i, f_i(\theta, x^*(\theta)) \geq f_i(\theta, y_i, x_{-i}^*(\theta)).$$

Множество $EN(\theta)$ всех точек вида (2) можно также описать следующим образом:

$$EN(\theta) = \{x \in X' \mid x_i \in BR_i(\theta, x_{-i}), i \in N\}.$$

Поскольку вектор действий агентов, каждая компонента которого является наилучшим ответом соответствующего агента на ту обстановку игры, которая может реализоваться с его субъективной точки зрения, то рассмотрим возможные случаи.

Предположим, что i-й агент формирует субъективное представление об обстановки игры $\hat{x}_{-i}^B$ ("B" обозначает *beliefs*; аналоги – это термины «предположение», «догадка» – *conjecture*) и состоянии природы $\hat{\theta}_i$, тогда он выберет

$$x^B \in BR_i(\hat{\theta}_i, \hat{x}_{-i}^B), i \in N.$$

Вектор x^B является *точечным субъективным равновесием*.

Отметим, что при таком определении «равновесия» отсутствует *обоснованность* предположений агентов о действиях оппонентов, и может оказаться, что $\exists i \in N: \hat{x}_{-i}^B \neq x_{-i}^B$. Обоснованное субъективное равновесие будет в том случае, когда выполняется $\hat{x}_{-i}^B = x_{-i}^B, i \in N$. Тогда оно является равновесием Нэша (для этого, в частности, достаточно, чтобы все параметры игры были общим знанием, и чтобы каждый агент при построении $\hat{x}_{-i}^B$ моделировал рациональное поведение оппонентов).

В более общем случае i-й агент может рассчитывать на выбор оппонентами действий из множества $X_{-i}^B \subseteq X_{-i}$ и реализацию состояния природы из множества $\hat{\Omega}_i \subseteq \Omega, i \in N$. Тогда наилучшим ответом будет *гарантирующее субъективное равновесие*:

$$x_i(X_{-i}^B, \hat{\Omega}_i) \in Arg \max_{x_{-i} \in X_{-i}^B} \min_{\theta \in \hat{\Omega}_i} f_i(\theta, x_i, x_{-i}), i \in N.$$

Если $X_{-i}^B = X_{-i}$ и $\hat{\Omega}_i = \Omega, i \in N$, то $x_i(X_{-i}^B, \hat{\Omega}_i) = x_i^\Gamma, i \in N$, то гарантирующее субъективное равновесие становится «классическим» гарантирующим равновесием. Таким образом, для реализации субъективного равновесия требуется минимальная информированность агентов – каждый из них должен знать свою целевую функцию $f_i(\bullet)$ и допустимые множества Ω и X'. Однако при такой информированности совокупность предположений агентов о

состоянии природы и о поведении оппонентов могут быть *несогласованными*. Для достижения согласованности, необходимо дополнительное предположение о взаимной информированности агентов. Наиболее сильным является предположение об общем знании, которое превращает субъективное точечное равновесие в равновесие Нэша. Ниже будет показано, что выполнение этого условия предполагает использования интерактивного взаимодействия участников переговорного процесса по специальным итерационным схемам. Они должны быть построены так, чтобы на каждом шаге игры взаимная информированность участников переговоров возрастала. При этом представления агента о неопределенных факторах соответствует информационной рефлексии, а представления о принципах принятия решений – стратегической рефлексии. В терминах субъективного равновесия стратегической рефлексии соответствуют предположения агента о том, как оппонент будет вычислять субъективное гарантирующее равновесие, а информационной рефлексии – какие конкретные предположения об обстановке будет использовать его оппонент.

Различают два подхода к описанию информированности – *синтаксический* и *семантический* («синтактика – синтаксис знаковых систем – это структура сочетания знаков, правил их образования и преобразования безотносительно к значениям и функциям знаковых систем», «семантика – изучает знаковые систем как средства выражения смысла, основной ее предмет представляют интерпретации знаков и знакосочетаний»). Основы этих подходов были заложены в математической логике.

При синтаксическом подходе иерархия представлений описывается в явном виде путем использования «формул» (в логическом смысле), то есть правил преобразования элементов исходного множества на основе применения логических операций и операторов. При этом знание моделируется предложениями (формулами), конструируемыми в соответствии с определенными синтаксическими правилами.

В рамках семантического подхода представления агентов задаются распределениями вероятностей на множестве состояний природы. Иерархия представлений при этом порождается исходя только из этих распределений. В простейшем детерминированном случае знание представляется множеством Ω возможных значений неопределенного параметра и разбиениями $\{P_i\}_{i\in N}$ этого множества. Элемент разбиения P_i, включающий $\theta\in\Omega$, представляет собой знание i-го агента – множество значений неопределенного параметра, неразличимых с его точки зрения при известном факте θ. Следовательно, информационные воздействия должны быть направлены на изменение информационной и стратегической рефлексии.

Феноменологическая модель. При моделировании процесса рефлексивного управления будем исходить из того, что исследователю, предпринимающему попытку такого описания, доступны (пусть и не в полном объеме) характеристики рефлексирующих сторон и управляемого процесса (рис. 2). В ее основу положено представление центра, осуществляющего

рефлексивное управление, в виде трех функциональных подсистем. Одна подсистема моделирует себя, другая – моделирует механизм принятия решения агентами, третья – контролирует весь процесс и принимает решения. При таком представлении процесс рефлексивного управления, протекающий на некотором интервале времени $[t_0, t_4]$, расчленяется на этапы: $[t_0, t_1]$ – рефлексивный маркетинг; $[t_1, t_2]$ – мотивирование поведения агент; $[t_2, t_3]$ – контрольный маркетинг; $[t_3, t_4]$ – корректировка рефлексии.

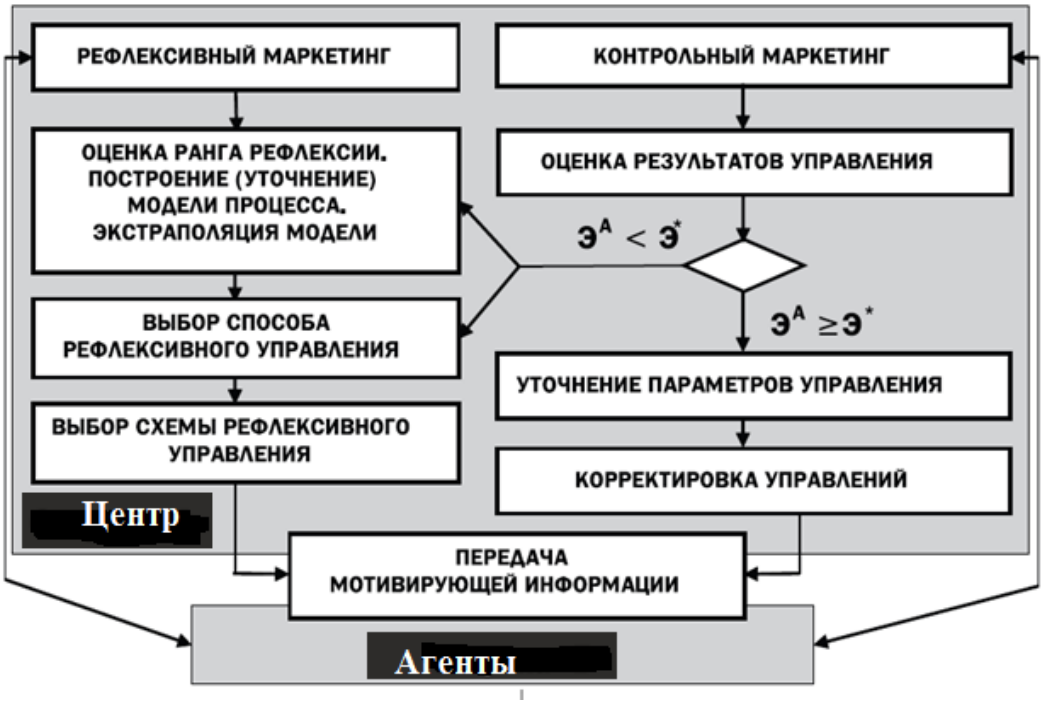


Рис. 2. Феноменологическая модель рефлексивного управления

На этапе рефлексивного маркетинга центр определяет состояние управляемого процесса и добывает информацию о параметрах модели принятия решений агентом, влияющих на эффективность его поведения – ЭА. Устанавливает закон изменения этих параметров во времени. Конечная цель состоит в построении прогнозных моделей поведения агентов, которые экстраполируются на период $[t_2, t_4]$. Они и используются для выбора стратегии рефлексивного управления.

После выбора стратегии на этапе $[t_1, t_2]$ центр передает агентам такую информацию, которая формирует у них модель ситуации выбора, выгодную центру. Если эта информация позволяет агентам определить выгодные для себя состояния, то они сами сформируют поведение, нужное центру. Результаты своего выбора они сообщают центру. Центр на основе этой информации определяет состояние системы в целом и отклонение этого состояния от желаемого. Если это отклонение невелико и прогнозируемые оценки эффективности ЭА не выходят за допустимый предел (ЭА≥Э*), то на интервале $[t_3, t_4]$ реализуется стратегия, сформированная ранее с незначительными оперативными корректировками. Если же оценка ЭА выходит за допустимый предел (ЭА<Э*), то на основе полученных и дополнительных данных центр

корректирует прогнозную модель поведения агентов и выбранные ранее управления (или выбирает новую стратегию).

В данной модели предполагается, что ранг рефлексии центра равен 2, а агентов – 1, и выполняется гипотеза благожелательности для агентов.

Если агенты также ведут рефлексивное управление, то для модельной имитации такого процесса поведения другой стороны описывается аналогичным алгоритмом, работа которого совмещается с алгоритмом функционирования центра.

В итоге получается процесс параллельного (совместного) функционирования двух алгоритмов, мысленная или компьютерная реализация которого позволяет «проиграть» различные варианты поведения сторон во всевозможных ситуациях взаимного управления и для различных соотношений рангов рефлексии.

На основе феноменологической модели разработана общая блок-схема алгоритма переговорного процесса (рис. 3). Она включает последовательность возможных операций, которые каждый i-й агент может выполнить в текущий момент переговорного процесса.

Процесс начинается с передачи ag_i предложения $pr_{i\,km}$ всем другим участникам переговоров ag_j; $j=1,n$; $j \neq i$, каждый из которых либо принимает его, либо отклоняет, либо анализирует и дает контрпредложение, либо выходит из переговоров. Если предложение $pr_{i\,km}$ принято всеми агентами, процесс переговоров завершается с достижением согласия. В случае отклонения своего предложения агент ag_i имеет возможность: изменить отклоненное предложение pr_{ikm} или подготовить новое предложение $pr_{i\,km+1}$ с направлением его агенту-лидеру и повторением описанных действий. Очередной раунд переговорного процесса заканчивается, если: достигается согласие; исчерпаны возможности выбора новых реальных предложений; принимается волевое решение.

Для принятия решения о согласии или отказе от очередного предложения i-го агента предлагается *критерий согласия* Ps_i в виде некоторого функционала, отражающего степень приближения характеристик и параметров z_k текущего предложения к желаемому положительному исходу в допустимой области гибких ограничений:

$$P_{s_i} = \prod_{g=1}^{m_g} (1 - z_{ig}^2) \cdot \left[1 - \sqrt{\sum_{k=1}^{m} w_{ik} z_{ik}^2} \right], \; i = 1, n; \; k = 1,m, \qquad (3)$$

где z_{ig} – отклонение g-го фактора группы жестких ограничений, определяющих неприемлемость предложения; $z_{ik} = \frac{x_{ik} - x_{ik}^0}{\Delta x_{ik}^0}$ – относительное отклонение k-го фактора в области гибких ограничений в оценке i-го агента; x_{ik}, x_{ik}^0 – предлагаемое и желаемое значения k-го фактора; Δx_{ik} – допустимое отклонение k-го фактора гибких ограничений от желаемого значения; w_{jk} – весовые коэффициенты отклонения k-го фактора задаваемые таблицей экспертных оценок.

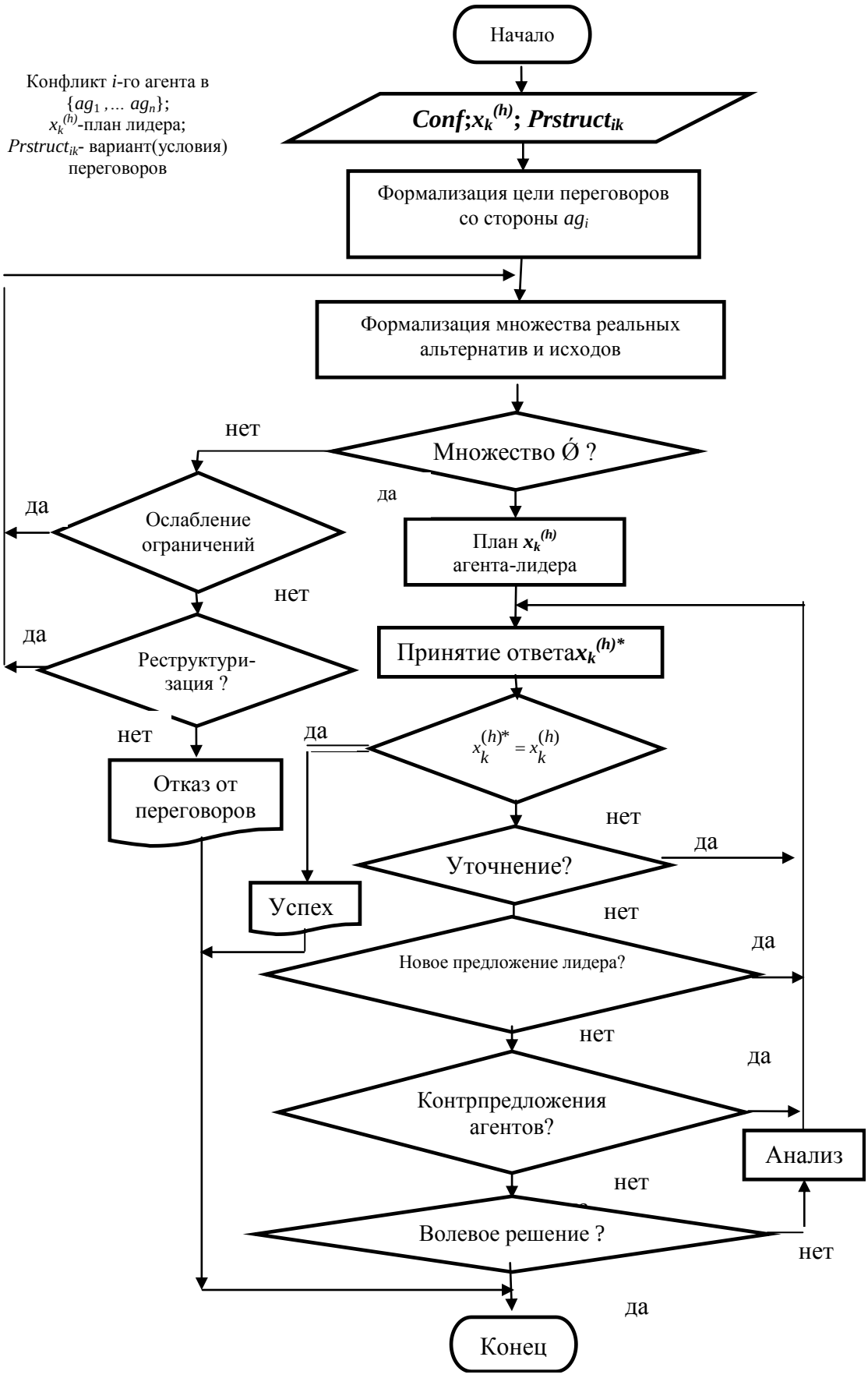


Рис. 3. Общий алгоритм переговорного процесса

При условии $\sum_{k=1}^{m_i} w_{ik} = 1$ функционал (3) изменяется от 1 до 0, соответственно от полного совпадения предлагаемого предложения с желаемым до полной неприемлемости и обращается в нуль при нарушении какого-либо жесткого ограничения, например, обмана при расчете.

Принятие предложения определяется пороговым значением функционала согласия в зависимости от принятой стратегии.

Модель принятия решений интеллектуальным агентом

Выработка стратегии переговорного процесса должно быть основано на понимании модели поведения контрагентов. Исходные посылки и рефлексивные модели поведения агента, которое определяется его субъективной рефлексией окружения в ситуации целеустремленного состояния, были сформулированы в [20]. Используемая в работе модель поведения агента может быть пояснена схемой, приведенной на рис. 4.

Целеустремленное поведение агента всегда связано с выбором, который происходит в ситуации целеустремленного состояния [21]. Агент с индексом k управляет предметной областью, в которой протекают процессы, подчиняющиеся объективным законам, по правилу $W: X \times \Omega \times Z \to Y$, здесь X множество возможных значений воздействий x_k, имеющих регулярную природу и $x \in X$. Ω – множество значений случайных возмущений ξ и $\xi \in \Omega$. Агент испытывает на себе управление u_k со стороны центра.

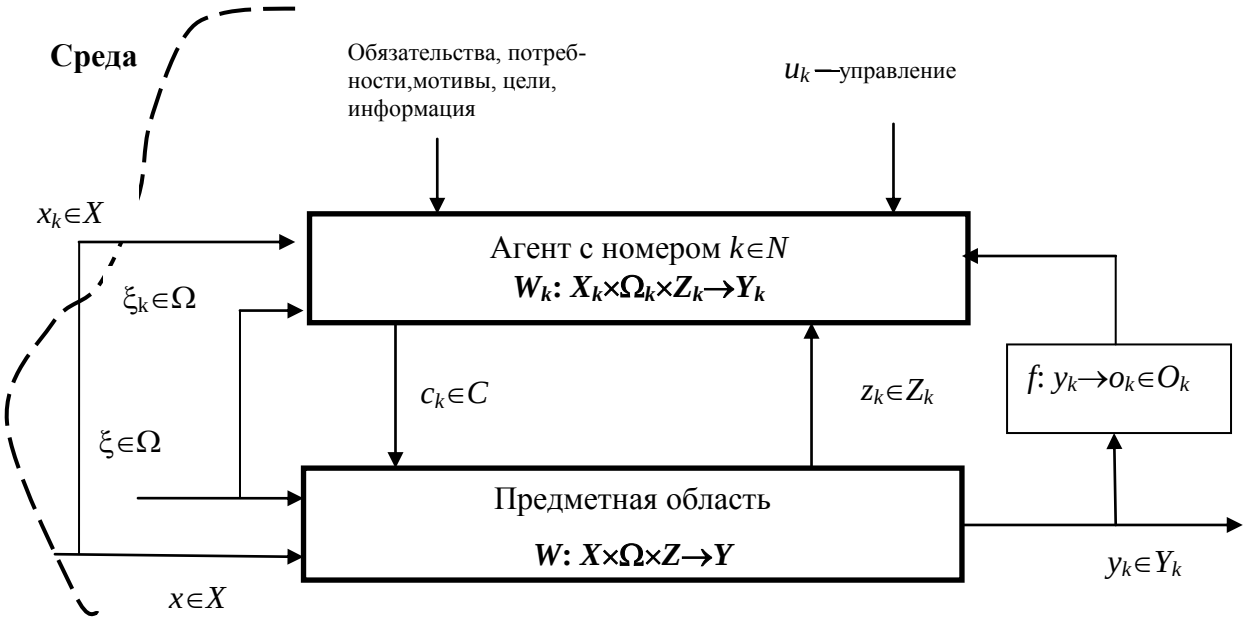


Рис 4. Модель принятия решений интеллектуальным агентом

Каждый агент рефлексирует среду, себя и других агентов индивидуально, интерпретируя все это по-своему, переводя их в *субъективную реальность*, которую следует рассматривать как форму представления бытия субъектом.

Рефлексия моделирует реальность, превращая ее в воображаемую реальность. Только у интеллектуальных агентов возникают реальности как субъективные формы представления бытия.

Субъективный образ целеустремленного состояния у агента складывается из следующих компонент:

- Рефлексивный образ самого себя, как субъекта, осуществляющего выбор (агент), $k \in K$.
- Образ окружения выбора (S), под которым понимается образы множества элементов и их существенных свойств, изменение в любом из которых может стать причиной или продуцировать изменение состояния целеустремленного выбора. Первый тип элементов называется параметрами $x_k \in X_k$, а второй – возмущениями $\xi_k \in \Omega_k$. Индекс k показывает, что k-й агент выделяет из всего множества входных воздействий некоторое их подмножество, включая в него те параметры, которые он считает существенными.
- Образ возможных при окружении S результатов (существенных для агента) – $o_i^k \in O_i^k$, $i = \overline{1,m}$. Рефлексивные оценки результатов производятся с помощью образа параметров, которые называются выходными параметрами ситуации целеустремленного состояния. Параметры результатов o_i^k рассматриваемых агентом являются производными от формальных оценок его вклада в результаты организации y_k.
- Рефлексивные оценки свойств получаемых результатов в результате выбора способа действия (альтернативы). Рефлексивные оценки результата должны отражать интенсивность переживаемой агентом ценности результата тем самым отражать его индивидуальность.
- Образ доступных способов действий $c_{ij}^k \in C_{ij}^k$, $j = \overline{1,n}$ k-го агента, которые могут быть использованы им для достижения i-го результата (их еще называют альтернативами). Каждый образ этого множества характеризуется набором параметров, которые называются управляющими воздействиями.
- Образ ограничений, отражающих представления агента требований, накладываемых ситуацией целеустремленного выбора на выходные переменные и управляющие воздействия.
- Образ ситуации принятия решения, который представляет собой множество соотношений, описывающих представляемую агентом зависимость управляющих воздействий, параметров и возмущений с выходными переменными. Модель представлений агента о ситуации целеустремленного выбора в общем виде описывается отображением W_k вида:

$$W_k: X_k \times C_k \times \Omega_k \rightarrow O_k. \quad (4)$$

Типы моделей в зависимости от вида отображения (4) рассматривались в работе [22].

Введем для описанных компонент меры, которые будут использоваться для оценки целеустремленного состояния.

1. Будем считать, что агент способен выделять факторы – характеристики окружения $X^k = \{ x_i^k, i = \overline{1,N} \}$, существенные с его точки зрения. Множество $X_k \times \Omega_k$ агент разбивает на подмножества $X_k^j \times \Omega_k^j$, $j = \overline{1,n_k}$, которые им рассматриваются как ситуации с схожими свойствами. Вклад каждого фактора в j-ю ситуацию агент оценивает с помощью лингвистической переменой *степень влияния фактора* $\mu_j^k(x_{ij}^k): x_{ij}^k \to [0,1]$.

Будем предполагать, что для описания влияния выделенных факторов на результаты $o_i^k, i = \overline{1,m}$ агент использует аппроксимацию в виде продукционных правил, которые имеют вид:

Если x_1 *есть* A_{r1}^k *и если* x_2 *есть* A_{r2}^k *и ... и если* x_N *есть* A_{rN}^k, *то*

$$o_r^k = f_r^k(x_1, x_2, ..., x_N),\ r = \overline{1,R},\ , \qquad (5)$$

где R – количество продукционных правил, r – номер текущего продукционного правила, $o_r^k = f_r^k(x_1, x_2, ..., x_N)$ – четкая функция, отражающая представление агента о функциональной связи входных факторов с возможными результатами для r-го правила (r-ая частная модель); A_{r1}^k – нечеткие переменные, определенные на $X^k = \{ x_i^k, i = \overline{1,N} \}$.

Будем считать, что агент способен оценивать степень адекватности своих представлений о модели ситуации целеустремленного выбора и характеризует ее посредством таких выражений, как "очень верно", "совершенно верно", "более или менее верно", "ложно", "абсолютно ложно" и т.д.

2. Известные (доступные) агенту способы действий. Агент обладает способностью представлять ситуацию, если он обладает следующими способностями:

а) воспринимать и представлять внешние воздействия и формировать адекватный или неадекватный образ среды;
б) обладать априорной информацией о среде (“вложенной” при создании и накопленной), хранимой в виде образов среды;
в) обладать информацией о самом себе: своих свойствах и возможностях.

В результате сопоставления, распознавания и преобразования информационных образов осуществляется формирование образов стратегий (способов действий), которые образуют образ поведения агента: воздействие на среду (функциональная деятельность) и воздействие на себя (функциональная морфологическая деятельность).

Назовем набор предположений об их возможных значениях сценарием возможного состояния внешней среды, функциональных возможностей системы и возможности морфологического изменения. Реализация сценариев, например, с помощью правил (5) позволяет сформировать представление о возможных результатах o_{ij}^k, $j = \overline{1,m^k}$, а значит, определяет неравнозначность при

выборе способа действия, которую можно описать как степень уверенности необходимости применения (или привычность, понимаемую как степень владения данным способом получения результата o_{ij}^k) способа действия. Эту оценку можно описать лингвистической переменной $\psi_{ij}^k(o_{ij}^k,\ c_j^k) \in [0,1]$. Данная мера является индивидуальной характеристикой агента, которая может меняться в результате обучения и приобретения опыта. Более того, она будет меняться в результате коммуникационного взаимодействия целеустремленных агентов между собой и с центром. Поэтому $\psi_{ij}^k = \psi_{ij}^k(c_j^k,\ I_{ij}^k \mid A) \in [0,1]$, где I^k – информация (знание), которой располагает агент на момент времени t_k.

3. Образы возможных результатов при данном окружении выбора. Выбор образа способа действий c_{ij}^k при принятии решения агентом в ситуации целеустремленного состояния для достижения результата o_i^k связан, как показано в [23-27], с построением количественной оценки интенсивности свойств выбираемого решения. Выбор перечня свойств, параметров их характеризующих целиком и шкал зависит от агента (его индивидуальности).

Представим возможные результаты при заданном окружении выбора агента в виде $o_i^k \in \left\{ O_{ij}^k, j = \overline{1,J} \right\}$, где O_{ij}^k – образ множества возможных результатов при выборе j-го способа действия $i \in I$ – образ множества результатов, принимаемых во внимание k-м агентом. Очевидно, что $o_{ij}^k = o_{ij}^k(s_i), s_i \in S$.

4. Интенсивность переживаемой агентом ценности результатов o_i^k. Измерение этого показателя следует из качественного предположения о том, что агент наделен способностью сравнивать блага, которые он приобретает при получении различных видов стимулирования результатов, с затратами труда, которые он должен для этого приложить. Поскольку $o_{ij}^k = o_{ij}^k(s_i)$, а $s_i = s_i(c_i)$, то интенсивность ценности j-го вида результата можно оценить следующей лингвистической переменной $\phi_i^k(o_i^k(o_j)) \in [0,1]$.

5. Представление об эффективности действия с точки зрения результата – это субъективная оценка затрат усилий агентом на получение результата способом действия при известных (или предполагаемых) затратах на его реализацию. Оценка затрат усилий E_{ij}^k в том, что некоторый способ действия c_j^k будет приводить к результату o_i^k в окружении S, если агент выберет именно его будет $E_{ij}^k = E_{ij}^k(o_i^k \mid A$ выберет c_j^k в $S) \in [0,1]$. Она является лингвистической переменной и выражает индивидуальную оценку агента последствий выбора с точки зрения затрат: финансовых, материальных, труда, интенсивности труда.

Модель выбора агента в контексте постнеклассической рациональности

Введенные три лингвистические переменные $\mu_i^k(x_i^k)$, ψ_{ijl}^k, E_{ij}^k образуют модель представлений агента (знаний) о ситуации целеустремленного выбора.

Поскольку C_j^k можно описать в терминах X_i^k, то для агента существует база правил, которая связывает c_{ij}^k и ценность i-го результата o_i^k. Это позволяет определить интенсивность ценности целеустремленного состояния по i-му результату o_i^k для k-го агента в соответствии с правилом Сугэно [15]:

$$E\phi_i^k = \frac{\sum_{j\in J} \phi_{ij}^k(o_{ij}^k(c_i^k)) \bullet \psi_{ij}^k(o_{ij}^k, s_{ij}^k)}{\sum_{j\in J} \phi_{ij}^k(o_{ij}^k(c_i^k))}$$

По аналогии можно оценить интенсивность ценности целеустремленного состояния для k-го агента по эффективности для i-го вида результата:

$$EE_i^k = \frac{\sum_{j\in J} EE_{ij}^k(o_i^k(c_i^k)) \bullet \psi_i^k(c_i^k)}{\sum_{j\in J} \psi_i^k(c_i^k)}$$

Представление агента желательности целеустремленного состояния по i-му результату и эффективности его достижения в ситуации выбора задается в виде лингвистической переменной

$$\chi_{i1}^k = \chi_1^k(E\phi_i^k) \in [0,1], \quad \chi_{i2}^k = \chi_2^k(EE_i^k) \in [0,1].$$

В основе процесса взаимодействия личности и организации находятся психологический и экономический контракты. Они отражают существенные ожидания личности (интересная работа, достойная оплата, хороший психологический климат, уважение личности, удовлетворенность работой, возможность использования своего творческого потенциала) и соответствующие ожидания организации (высокие результаты деятельности агента, преданность организации, добросовестный труд, организационная культура). Следовательно, можно определить следующие ограничения:

$$\sum_i \chi_{i1}^k(E\phi_i^k) \geq \chi_1^0 \ \ и \ \ \sum_i \chi_{i2}^k(EE_i^k) \geq \chi_2^0,$$

где χ_1^0 и χ_2^0 - ожидания агента от организации, которые отражают баланс между затратами и вознаграждением за достигнутые результаты o_i^k.

Образ ситуации выбора для агента представляет множество структурных и функциональных свойств, которыми по его убеждению обладает ситуация выбора и которые по его убеждению влияют на его удовлетворенность или неудовлетворенность ситуацией.

Теперь можно определить целеустремленное состояние для агента или системы.

Образ целеустремленного состояния у целеустремленного агента характеризуется тем, что он осознает, что:

- находится в состоянии выбора: $P(\bullet)>0$;
- существует, по крайней мере, один потенциальный результат o_i^k, если существуют другие потенциальные результаты, то их ценности по целеустремленному состоянию по результату не равны;

– существуют, по крайней мере, два потенциальных способа действий c_1^k и c_2^k такие, что $\psi_1^k > 0$ и $\psi_2^k > 0$;
– эффективности способов действий c_1^k и c_2^k таковы, что сумма оценок ценностей целеустремленного состояния по эффективностям получения результатов o_i^k этими двумя способами не равны $\sum_i EE_{i1}^k(o_i^k(c_1^k)) \neq \sum_i EE_{i2}^k(o_i^k(c_2^k))$;
– существует, по крайней мере, один потенциальный результат o_i^k, ценность которого для агента больше некоторой пороговой величины ϕ_i^{k0}, и степень уверенности получения которого у агента также превышает некоторое пороговое значение ζ_i^{k0}.

Это означает, что существует агент, который представляет, что находится в состоянии, когда он хочет получить какой-либо результат. Он располагает для этого несколькими альтернативными способами достижения с разной эффективностью, которыми он может попытаться достичь желаемого результата, и его уверенность в получении желаемого результата значительна.

Показатели – ценность целеустремленного состояния по результату $E\phi_i^k$ и ценность целеустремленного состояния по эффективности EE_i^k – позволяют определить интегральный показатель ценности целеустремленного состояния для *k*-го индивида как $\sum_i E\phi_i^k \bullet EE_i^k$, а, учитывая степень уверенности *k*-го агента в получении результата ζ_i^k, получить показатель ожидаемой удельной ценности для субъекта возможных результатов

$$\pi(\bullet) = EV_k = \frac{\sum_i (E\phi_i^k \bullet EE_i^k) \bullet \zeta_i^k}{\sum_i \zeta_i^k}.$$

Это означает, что если два субъекта находятся в одной и той же ситуации выбора, то разница в их поведении должна проявляться в значениях оценок удельной ценности по результату и эффективности и в степени уверенности достижения цели.

Личность (индивидуальность) агента: математическая функция $\pi(\bullet)$, связывающая ожидаемую удельную ценность в любой ситуации выбора со свойствами возможных способов действий, их возможными результатами и принимаемыми во внимание как существенные переменными окружения.

Смысл введенного определения состоит в том, что, наблюдая поведение агента в различных ситуациях выбора, можно построить некоторое приближение к функции $\pi(\bullet)$. Один из возможных вариантов принятия решений агентом в ситуации целеустремленного состояния (когда он что-то хочет) с учетом приведенных выше рассуждений может иметь вид:

$$P_k(\bullet) = Arg\ \max \mathrm{E}V_k(o_k, u_k);$$

$$o_k = o_k(y_k) \in O_k^o,\ \ y_k = f_{I_t}(z_k, x_k, \xi_k) \in Y_k,\ z_k \in Z_k(I_t^k),\ x_k \in X_k,\ \xi_k \in \Omega_k,$$

$$I_t^k \subseteq M,$$

$$u_k \in U_k,$$

$$\phi_i^k : o_i^k \to [0,1],\ \psi_i^k : c_i^k \to [0,1],$$

$$E\phi_i^k = \frac{\sum_{j\in J} \phi_{ij}^k(o_{ij}^k(c_i^k)) \bullet \psi_{ij}^k(o_{ij}^k, s_{ij}^k)}{\sum_{j\in J} \phi_{ij}^k(o_{ij}^k(c_i^k))},\ EE_i^k = \frac{\sum_{j\in J} EE_{ij}^k(o_i^k(c_i^k)) \bullet \psi_i^k(c_j^k)}{\sum_{j\in J} \psi_i^k(c_j^k)}$$

$$\chi_{i1}^k(E\phi_i^k) \ge \chi_{i1}^{ko},\ \chi_{i2}^k(EE_i^k) \ge \chi_{i2}^{ko},$$

$$EV_k = \frac{\sum_i (E\phi_i^k \bullet EE_i^k) \bullet \zeta_i^k}{\sum_i \zeta_i^k},\ \zeta_i^k : E\phi_i^k \bullet EE_i^k \to [0,1],\ \zeta_i^k \ge \zeta_{i0}^k, \qquad (6)$$

где I_t – информированность агента, определяемая его знаниями, M – известный на данный момент уровень знаний о предметной области, χ_{il}^{k0}, $l = \overline{1,2}$ – оценки, отражающие эмоциональное отношение агента к ситуации выбора.

Отметим, что модель (6) использует как объективную информацию (ее еще иначе называют количественной), так и оценки, и суждения агента (субъективная или качественная информация). Это отличает предложенный подход от известных, и делает выводы на его основе более реалистичными, обладающими большими прогностическими свойствами.

Данная модель сохраняет *гипотезу рационального поведения*, заключающуюся в том, что агент с учетом субъективных представлений о ситуации выбора выбирает действия, которые наиболее предпочтительны с точки зрения значений своей целевой функции и позволяет объяснить примеры так называемого иррационального поведения.

Предложенная модель использована для параметрического описания интеллектуального агента Ag_k в мультиагентной системе $Agents = \{Ag_1, Ag_2, \ldots Ag_n\}$. Она представлена кортежем параметров и переменных его интеллектуального I_k, эмоционального Em_k и социального So_k состояний, параметрами целей, определяемых внешней средой (их будем рассматривать как внешнее управление $Z_k \subset U_k$), локальных целей k-го агента – O^k, стратегий и планов их достижения C_kи параметрами внешних связей [28].

$$Ag_k = <U_k, I_k, Em_k, So_k, C_k, Ev_k>;\ k = 1,n,$$

где $Z_k = \{z_{k1}, z_{k2}, \ldots\}$– множество целей z_{ki} (i-я цель k- го агента);

$I_k = \{I_{k1}, I_{k2}, \ldots\}$ – база знаний k-го агента в j-х областях знаний I_{kj};

$Em_k = \{\ \chi_{il}^{k0},\ l = \overline{1,2},\ i = \overline{1,m}\ \}$ – характеристики эмоционального состояния и эмоциональной реакции агента;

$C_k = \{\ c_{ij}^k, i = \overline{1,m}, j = \overline{1,n_k}\ \}$ – банк моделей стратегий и планов для получения i-го результата (цели) j-м способом;

$Ev_k = \{Ev_k(ag_1),\ Ev_i(ag_2),\ \ldots,\ Ev_k(ag_j),\ \ldots\}$ – описание внешних связей ($k \neq j$).

Моделирование поведения агентов в переговорном процессе при решении задачи согласованного планирования

Математическая постановка задачи оптимального согласованного планирования (ОСП) имеет вид:

$$f(x)\to\max;\ G(x)\le b;\ x\in X;\ x\in S\ .$$

Здесь $S=\prod_{k=1}^{m}s_k$ – множество согласованных планов, таких что

$$s_k=\{x_k\,|\max\ E\phi_k(x_k^*,x_k)\le E\phi_k(x_k,x_k)\},$$

где $E\phi_k\left(x_k^*,x_k\right)=E\phi_k\left(x_k^*\right)+\begin{cases}c_k, \text{ при } x_k^*=x_k;\\ 0, \text{ при } x_k^*\ne x_k\end{cases}$ – целевая функция k-го агента с учетом фонда материального поощренияc_k, планируемого центром за выполнение предлагаемого им плана x_k; x_k^* – план производственной программы, выбираемый k-м агентом с учетом своих интересов и технологических возможностей.

Необходимым и достаточным условием принадлежности выбранного плана к согласованным ($x\in S$) является соотношение:

$$\forall k\colon E\phi_k(x_k)\ge\max_{x_k^*\in X_k}E\phi_k(x_k^*).$$

Следовательно, условия согласованного планирования будут иметь вид:

$$E\phi_k(x_k)+c_k\ge\max_{x_k^*\in X_k}E\phi_k(x_k^*),\ \ c(x)-\sum_{k=1}^{m}c_k\ge 0\,.$$

Описанная задача представляет конфликтную ситуацию между агентом-лидером и другими агентами с переговорными процессами достижения согласия в достижении общей цели с максимальным эффектом.

Алгоритм переговорной стратегии агентов сводится к следующему.

1. Агент-лидер по исходной и дополнительной информации, поступающей на h-м шаге от каждого k-го агента, рассчитывает и сообщает агентам предлагаемый вариант общего плана $x^{(h)}=\{x_k^{(h)}\}$ и соответствующий размер фонда материального поощрения $c^{(h)}=\{c_k^{(h)}\}$ за его исполнение, в виде $\{x_k^{(h)}\}$ и $\{c_k^{(h)}\}$;

2. Подчиненный агент на h-м шаге, исходя из гипотезы о локально-оптимальном поведении, выбирает и сообщает лидеру наилучший для себя план $x_k^{(h)*}$;

3. При несовпадении, т.е. $x_k^{(h)*}\ne x_k^{(h)}$, подчиненный агент сообщает агенту-лидеру дополнительную информацию и следует переход к первому шагу алгоритма. В случае совпадения $x_k^{(h)*}=x_k^{(h)}$, переговорная процедура заканчивается согласием.

Алгоритм составления предлагаемого плана агента-лидера зависит от степени его информированности о возможном поведении других агентов:

- полная информация о целевых функциях агентов и их локальных ограничениях, т.е. при исходной информации

$$f(x), G(x), b, X, X_k, \max_{x_k^* \in X_k} Ef_k\left(x_k^*\right);$$

- неполная информация о локальных ограничениях агентов при известных целевых функциях $f(x), G(x), b, \max_{x_k^* \in X_k} E\phi_k\left(x_k^*\right)$;

- неполная информация о целевых функциях агентов $f(x), E\phi_k\left(x_k\right)$ при известных ограничениях $G(x), b, X, X_k$.

В первом случае на основании исходной информации на *h*-м шаге агент-лидер определяет план действий подчиненным агентом и размер поощрения с учетом показателей выбранных ими планов на предыдущем (*h*-1) шаге по рекурсивным формулам:

$$x_k^{(h)} = x_k^{(h-1)} + \beta\left(x_k^{(h-1)} - x_k^{*(h-1)}\right),$$

$$c_k^{(h)} = c_k^{(h-1)} + \alpha\left(\max_{x_k^* \in X_k} E\phi_k(x_k^{(h)*}) - E\phi_k(x_k^{(h\text{-}1)})\right),$$

где α и β – коэффициенты акселерации, выбираемые из соображений, имеющих, как правило, неформальный характер, хотя можно определить правило их изменения.

Агент-лидер принимает лучшую стратегию из предлагаемого им плана $x_k^{(h)}$ и предлагаемых планов подчиненными агентами $x_k^{(h)*}$ как:

$$\max\left\{\max_{x_k^* \in X_k} E\phi_k(\mathrm{x}_k^{(h)*}), E\phi_k(\mathrm{x}_k^{(h)})\right\}$$

и, если $E\phi_k(x_k^{(h)}) < \max_{x_k^* \in X_k} E\phi_k(\mathrm{x}_k^{(h)*})$, то $x_k^{(h)*} \neq x_k^{(h)}$, и процедура повторяется до получения $x_k^{(h)*} = x_k^{(h)}$.

В задаче ОП при $x_k^{(h)} \notin S_k$ (т.е. план лидера не является элементом множества согласованных планов) и $X \bigcap S \neq \varnothing$, *сходимость процедуры* к согласию обеспечивается путем корректировки размера фонда материального поощрения $c^{(h)}$ по правилу:

$$c^{(h)}(x) = c^{(h-1)}(x) + \gamma(c^{(h-1)}(x^{(h)*})) - c^{(h-1)}(x^{(h)}),$$

где $\gamma > 0$, что означает уступку выигрыша лидера в пользу агента нижестоящего уровня для обеспечения $x \in S$.

Если в случае $x_k^{(h)} \in S_k$, $X \bigcap S = \varnothing$ и $E\phi_k(x_k^{(h)}) \leq \max_{x_k^* \in X_i} E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right)$, лидер не учитывает интересы агентов, оставляя свой план, то $x_k^{(h)*} \neq x_k^{(h)}$, и для сходимости к $x_k^{(h)*} = x_k^{(h)}$ требуется определенное количество шагов $h > 1$ переговоров.

Если $E\phi_k(x_k^{(h)}) \geq \max_{x_k^* \in X_i} E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right)$ при $x_k^{(h)} \in S_k$ и $X \bigcap S \neq \varnothing$, то при выполнении гипотезы доброжелательности агентами принимается максимально эффективный план:

$$\max\left\{\max_{x_k^*\in X_k} E\phi_k(x_k^{(h)*}),\ E\phi_k(x_k^{(h)})\right\} = \max_{x_k^*\in X_k} E\phi_k(x_k^{(h)*}).$$

Тогда $x_k^{(h)*} = x_k^{(h)}$ и процедура согласования сходится за один шаг, т.е. $h = 1$.

В случае неполной информированности лидера о локальных ограничениях агентов, т.е. о множествах X_k, на каждом шаге задача ОП решается при дополнительных ограничениях с переменными x_k, и c_k,; $k = \overline{1,m}$ с введением дополнительного фонда материального поощрения $\delta_k^{(j)}$, назначаемого центром агентам на j-м шаге вместе с планом $x_k^{(j)}$:

$$\begin{aligned} &E\phi_k\left(x_k^{(h)}\right) + c_k^{(h)} \ge \max_{x_k^*\in X_k} E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right), \\ &c(x) - \sum_{k=1}^{m} c_i - \sum_{j=2}^{h}\sum_{k=1}^{n} \delta_k^{(j)} \ge 0. \end{aligned} \qquad (6)$$

Величина $\delta_k^{(j)}$ определяется методом множителей Лагранжа как $\delta_k^{(j)} = \langle p_k^{(j-1)}, x_k^{(j-1)}\rangle$, где $p_k^{(j-1)} = \alpha_k^{(j-1)} \operatorname{grad} F_x(x_k^{(j-1)}, y_k^{(j-1)}), k = \overline{1,m}$, $\operatorname{grad} F_x(\bullet)$ – градиент функции Лагранжа, объединяющей в задаче ОСП функцию цели $f(x)$ агента, ресурсные ограничения $g_i(x)$:

$$\begin{aligned} F(x,y) = f(x) - \sum_{l=1}^{n} y_l\left[g_l(x) - b_l\right] + \sum_{k=1}^{m} y_{n+k}\left[c_i - \max_{x_k^*\in X_k} E\phi_k\left(x_k^*\right)\right] + \\ + y_{n+m+1}\left[c(x) - \sum_{k=1}^{m} c_i - \sum_{j=2}^{h}\sum_{k=1}^{m} \delta_k^{(j)}\right]. \end{aligned}$$

Путем решения этой задачи центр получает значения $x^{(h)}, c^{(h)}, \delta^{(h)}$ и $p^{(h)} = \operatorname{grad} F_x(x^{(h)}, y^{(h)})$, где $(x^{(h)}, y^{(h)})$ – седловая точка функции Лагранжа на множестве $X^{(h)}.\alpha^{(h)} > 0$, подбирается из условия обеспечения расходов центра на стимулирование агентов за счет роста величины $c(x)$.

Предполагается, что $\langle \operatorname{grad} c_x(x^{(h)}), x^{(h)} - x^{(h-1)}\rangle - (c^{(h)} - c^{(h-1)}) > 0$, т.е. на каждом шаге фонда поощрения должно хватать для стимулирования агентов за выбор напряженного плана и $\langle\bullet\rangle$ – операция скалярного произведения векторов.

Так как

$$\begin{aligned} &\langle \alpha^{(h)} \operatorname{grad}_x F\left(x^{(h)}, y^{(h)}\right), x^{(h)} - x^{(h-1)}\rangle + \left(c^{(h)} - c^{(h-1)}\right) \le \\ &\le \langle \operatorname{grad}_x c\left(x^{(h)}\right), x^{(h)} - x^{(h-1)}\rangle, \end{aligned},$$

то

$$\alpha^{(h)} \le \frac{\langle \operatorname{grad}_x F(x^{(h)}, y^{(h)}), x^{(h)} - x^{(h-1)}\rangle}{\langle \operatorname{grad}_x c(x^{(h)}), x^{(h)} - x^{(h-1)}\rangle - (c^{(h)} - c^{(h-1)})}.$$

Значения $x^{(h)}, c^{(h)}, \delta^{(h)}, p^{(h)}$ центр сообщает активным элементам.

1. По своей целевой функции

$$E\phi_i\left(x_k^{(h)*}\right)+\begin{cases}c_k^{(h)}\left(x_k^{(h)}\right)+\sum_{j=2}^{h-1}\delta_k^{(j)}, & x_k^{(h)*}=x_k^{(h)} \text{ и } x_k^{(h)*}\in L^k\\ 0, & x_k^{(h)*}\neq x_k^{(h)} \text{ и } x_k^{(h)*}\in X_k^{(h)}\end{cases}+\begin{cases}\delta_k^{(h)}>0\\ \delta_k^{(h)}<0\end{cases}$$

агенты в соответствии с гипотезой о локально-оптимальном поведении выбирают наилучшую для себя ситуацию:

$$\max\{\max_{x_k\in X_k}E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right); E\phi_i\left(x_k^{(h)*}\right)+c_k^{(h)}+\sum_{j=2}^{h}\delta_k^{(j)}; E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right)+c_k^{(h)}+$$

$$+\sum_{j=1}^{h}\delta_k^{(j)}+\langle p_k^{(h)}, x_k^{(h)*}-x_k^{(h)}\rangle\}.$$

Для задачи ОП $L^{(h)}=\{x|\ G(x^{(h)})\geq b,\ \ f(x^{(h)})>f(x^{(h)*})\}$, а для задачи ОСП

$$L^{(h)}=\Bigg\{x|G(x^{(h)})\geq b, E\phi_k\left(x_k\right)+c_k\geq\max_{x_k\in X_k}E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right),$$

$$\left(c(x^{(h)})-\sum_{i=1}^{n}c_k^{(h)}-\sum_{j=2}^{h}\sum_{k=1}^{m}\delta_k^{(h)}\right)\geq 0,\ f(x^{(h)})>f(x^{(h)*})\Bigg\},$$

здесь $x^{(h)*}$ – план, выбираемый агентом на h-м шаге, $x^{(h)*}\in L^{(h)}$ – напряженный план, предлагаемый агентом центру на h шаге; $\begin{cases}\delta_k^{(h)}>0, \text{при } x_k^{(h)*}\in L^{(h)};\\ \delta_k^{(h)}<0, \text{при } x_k^{(h)*}\in X^{(h)}.\end{cases}$

2. Агенты сообщают центру свои наилучшие стратегии. Если $x_k^{(h)*}\neq x_k^{(h)}$, $x_k^{(h)}\in X_k^{(h)}$, то центр корректирует свое решение по схеме, описанной в п.2. Если $x_k^{(h)}\in L_k^{(h)}$, то центр обновляет информацию, расширяет множество $X^{(h)}\subset X^{(h+1)}$ и вычисляет $x^{(h+1)}, c^{(h+1)}, \delta^{(h+1)}, p^{(h+1)}$. Если $x_k^{(h)*}=x_k^{(h)}$, то это означает, что

$$E\phi_k\left(x_k^{(h)}\right)+c_k^{(h)}+\sum_{j=2}^{h}\delta_k^{(h)}\geq E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right)+c_i^{(h+1)}+\sum_{j=1}^{h}\delta_k^{(h)}+\langle p_k^{(h)}, x_k^{(h)*}-x_k^{(h)}\rangle.$$

Так как

$$E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right)+c_k^{(h+1)}\geq E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right)+c_k^{(h)}\geq\max_{x_k^*\in X_k}E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right),$$

то

$$\langle p_k^{(h)}, x_k^{(h)*}-x_k^{(h)}\rangle\leq 0$$

для всех k-х агентов, т.е.

$$x_k^{(h)}\neq x_k^{(h+1)}, \text{grad}_x c\left(x_k^{(h)}\right)\neq 0, \text{grad}_x F\left(x_k^{(h)}, y_k^{(h)}\right)\neq 0.$$

Поэтому $\alpha_k^{(h)}\neq 0$ и $\langle\text{grad}_x F\left(x_k^{(h)}, y_k^{(h)}\right), x_k^{(h)*}-x_k^{(h)}\rangle\leq 0$. Следовательно, точка $(x_k^{(h)}, y_k^{(h)})$ оказывается седловой точкой Лагранжа в задаче ОП или ОСП, и значение $x_k^{(h)*}=x_k^{(h)}$ является соответственно оптимальным планом или оптимальным согласованным планом. Интерактивная процедура заканчивается.

Предположим, что условия образования фонда материального стимулирования таковы, что для любого $x\in X$ выполняется неравенство

$|\text{grad}_x c(x)| > 0$, где $|\bullet|$ – длина вектора. Тогда рост фондов материального поощрения больше расходов на расширение множества $X^{(h)}$, поэтому в этом случае допустимое множество

$$\{x | G\left(x^{(h)}\right) \geq b; c\left(x^{(h)}\right) - \sum_{k=1}^{m} c_k^{(h)} - \sum_{j=2}^{h}\sum_{k=1}^{m} \delta_k^{(j)\,j}{}_i \geq 0; \quad E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right) + c_k^{(h)} \geq \max_{x_k^{(h)*} \in X_k^{(h)}} E\phi_i\left(x_k^{(h)*}\right)\} \bigcap X^{(h)} \tag{7}$$

с ростом множества $X^{(h)}$ монотонно не сужается.

Выполнение условия (6) является *достаточным условием сходимости* описанного итеративного процесса.

Поскольку $x_k^{(h)} \in S_k$, то $E\phi_k(x_k^{(h)}) + c_k^{(h)} \geq \max\limits_{x_k^* \in X_k} E\phi_k(x_k^{(h)*})$.

Из соотношения $c_k^{(h+1)} = c_k^{(h)} + \langle \text{grad}_x c(x_k^{(h+1)}), x_k^{(h+1)} - x_k^{(h)} \rangle$ следует неравенство $E\phi_k(x_k^{(h)*}) + c_k^{(h+1)} \geq E\phi_k(x_k^{(h)}) + c_k^{(h)} \geq \max\limits_{x_k^* \in X_k} f_i(x_k^{(h)*})$ для $x^{(h)*} \in L^{(h)}$.

Согласно условию алгоритма блочного программирования $\langle p_k^{(h)}, x_k^{(h)*} - x_k^{(h)} \rangle > 0$ для всех $x^{(h)*} \in L^{(h)}$. Отсюда следует, что

$$E\phi_k\left(x_k^{(h)*}\right) + c_k^{(h+1)} + \sum_{j=2}^{h} \delta_k^{(j)} + \langle \mathrm{p}_k^{(h)}, x_k^{(h)*} - x_k^{(h)} \rangle > E\phi_k\left(x_k^{(h)}\right) + c_k^{(h)} + \sum_{j=2}^{h} \delta_k^{(j)}.$$

Поэтому при решении задачи ОСП агент всегда будет выбирать $x^{(h)*} \in L^{(h)}$.

Следовательно, на каждом h-м шаге агенты формируют предложения для $(h+1)$-го шага в виде значения напряженного плана $x^{(h)*} \in L^{(h)}$, который они могли бы реализовать.

В силу условий (6) и (7) новое множество $X^{(h+1)}$ будет расширяться по сравнению с множеством $X^{(h)}$. При этом будут выполняться ограничения по фонду материального поощрения и условия *совершенного согласования*.

Поскольку $X^{(1)} \subset X^{(2)} \subset \ldots \subset X^{(\mathrm{h})} \subset \ldots \subset X$, то допустимые множества в задаче ОСП не убывают. За счет расширения допустимого множества значений $f(x^{(h)})$ для каждой задачи ОСП будет только возрастать. Поэтому последовательность $f(x^{(1)}), f(x^{(2)}), \ldots, f(x^{(h)}), \ldots$ монотонно не убывает и в силу компактности множества X имеет предел f^*, т.е. $\lim\limits_{h\to\infty} f(x^{(h)}) = f^*$ и $f^* = f\left(x^{\text{oc}}\right)$.

Можно показать, что если решается задача ОП и нарушено условие совершенного согласования, то $x_k^{(h)*} \neq x_k^{(h)}$ и $x^{(h)*} \notin L^{(h)}$. Следовательно, $x_k^{(h)*} = x_k^{(h+1)}$ и множество $X^{(h)}$ не расширяется в силу отсутствия у агентов стимулов отыскивать резервы для принятия напряженных планов, и процедура итеративного планирования закончится не достигнув x^o.

В случае полной информированности центра об ограничениях и неполной информации о целевых функциях агентов $f(x), E\phi_k(x_k)$ центр имеет исходную информацию: $G(x), b, X, X_k$. То есть центр имеет полную математическую модель системы и ему не надо затрачивать усилия на идентификацию технологического множества системы, но ему не известны мотивы и поведение агентов при выборе ими плановых заданий. В этом случае можно рассмотреть любой итерационный алгоритм, например, использующий релаксационную схему условного градиента.

1. Центр на каждом шаге получает дополнительную информацию:

$$\text{grad}_{x_k} E\phi_k(x_k^{(h-1)*}), \text{grad}_{x_k} f(x^{(h-1)*}), x^{(h-1)*} \text{ и } c^{(h-1)*}$$

2. Центр на каждом h-м шаге в точке $x^{(h+1)*}$ выбирает направление поиска на основе решения задачи ОП

$$\langle \text{grad}_x f\left(x^{(h-1)*}\right), x - x^{(h-1)*} \rangle \to \max, G(x) \geq b, x \in X^{(h-1)}$$

или задачи ОСП с учетом условий согласования и ограничения по фонду материального поощрения $\sum_{k=1}^{m} c_k \leq c(x)$. В последнем случае в задачу оптимизации вводится новая переменная $c_k > 0$. Центр сообщает агентам значение плана $x_k^{(h)}$ и размер планируемого поощрения $c_k^{(h)}$.

3. Агент по направлению поиска на каждом шаге выбирает наилучший для себя шаг $\beta_k^{(h)}$, решая в соответствии с гипотезой о локально-оптимальном поведении задачи:

$$E\phi_k\left[x_k^{(h)*} + \beta_k\left(x_k^{(h)*} - x_k^{(h-1)*}\right)\right] + \left[c_k^{(h)*} + \beta_k\left(c_k^{(h)*} - c_k^{(h-1)*}\right)\right] \to \max_{\beta_k \in [0,1]}.$$

4. По величине шага агент определяет план $x_k^{(h)*}$

$$x_k^{(h)*} = x_k^{(h-1)*} + \beta_k^{(h)}\left(x_k^{(h)} - x_k^{(h-1)*}\right), c_i^{*k} = c_i^{*(k-1)} + \beta_i^k\left(c_k^{(h)} - c_k^{(h-1)*}\right),$$

который он обязан выполнить за поощрение $c_k^{(h)*}$, и сообщает его величину центру.

5. Если $x_k^{(h)*} \approx x_k^{(h)}$, то центр заканчивает процесс планирования, в противном случае центр запрашивает у агентов дополнительную информацию, т.е. осуществляет переход к п.1 данной схемы.

Алгоритм формирования агентом предложений в процессе переговоров

В производственных системах участники переговоров должны быть уверены в справедливости окончательного решения. В соответствии с определением согласованных состояний будем считать, что переговоры должны быть равноправными и приводить к решению, свободному от дискриминации и от зависти, чтобы его нельзя было улучшить в ущерб кому-то из участников. Принципом *удовлетворенности* будем называть процедуру, при которой для всех участников выполняется условие равновесия по Нэшу

$$c_k(\xi_k, x_k, o_{-k}) = Arg \max_{c_k \in C_k} EV_k(\xi_k, x_k, o_k, o_{-k}), k \in \overline{1,n}.$$

Это означает, достигнутые в результате переговоров результаты соответствуют их ожиданиям, и каждый участник наблюдает и оценивает выигрыши контрагентов.

Переговоры можно считать также успешными, если выполнено условие

$$EV_k(\xi_k, x_k, o_k, o_{-k}) \geq EV_k^0,\ k \in \overline{1,n}.$$

Это условие назовем условием близости приемлемых результатов, которые удовлетворяют ожиданиям агентов.

Следовательно, если предполагают итеративный обмен информационными сообщениями, то на каждом шаге h должно выполняться условие $EV_{h-1}^k \leq EV_h^k \leq ... \leq EV_1^k$, что означает для агента появление привлекательных состояний.

Агент, обладая более детализированной информацией, может при создании центром более привлекательных условий u_k путем решения задачи (6) определять для себя такой вектор $x_k^{(h)}$, который позволяет расширить множество $X_k^{(h)}$ представлений центра о его возможностях, h – шаг итерационного процесса.

Обозначим через $\omega_k = \{\omega_k^{(h)},\ h = \overline{1,H}\} \in A_k$ – вектор параметров состояния, определяющий значения вектора действий $x_k^{(h)} = \left\{ x_{kj}^{(h)},\ j \in [\overline{1,m_k}] \right\} \in X_k^{(h)}$. Можно считать, что этот вектор описывает знание агента возможностей контролируемого им объекта управления. Здесь A_k – множество возможных значений вектора состояния. Будем считать, что агент обладает способностями, знаниями, которые гарантируют существование $\Psi_k : A_k \to X_k^{(h)}$.

Доступный агенту уровень знаний о конструктивных особенностях потребляемой продукции и услуг делают справедливым предположение о существовании для k-го агента предельного множества параметров состояния. Обозначим через $O_k^* = \{o_k^* | o_k(x_k),\ x_k \in X_k^{(h)}(\omega_k^{(h)}),\ \omega_k^{(h)} \in A_k\}$ – множество достижимости или множество предельных возможностей.

Будем предполагать, что агент за счет своих креативных способностей, способности к самообучению и поиску новой информации при соответствующем стимулирующем воздействии центра способен определять такие состояния $\omega_k^{(1)} \in A_k$ и $\omega_k^{(2)} \in A_k$, что возможно $\omega_k^{(2)} \succ \omega_k^{(1)}$, где символ $\succ$ означает «более значимо» и при этом $X_k^{(1)}(\omega_k^{(1)}) \subseteq X_k^{(2)}(\omega_k^{(2)})$. Следовательно, существует такая последовательность $\omega_k^{(1)}, \omega_k^{(2)}, \omega_k^{(3)}, ...$, что $\lim\limits_{h \to \infty} o_k^{(h)}(x_k^{(h)}(\omega_k^{(h)})) = O_k^*$. То есть агент путем изучения объекта управления способен определить его предельные возможности для достижения желаемого состояния. Последовательность $\omega_k^{(1)}, \omega_k^{(2)}, \omega_k^{(3)}, ...$ будем называть последовательностью вскрытия резервов от потенциальных конструктивных решений за счет их доработки и упрощения в обслуживании.

Такая способность агента формировать расширяющееся множество способов действия позволяет определить следующие свойства целевой функции агента и областей достижимости:

$$\forall \omega_k^{(1)}, \omega_k^{(2)} \in A_k, \omega_k^{(2)} \succ \omega_k^{(1)}, X_k^{(1)}(\omega_k^{(1)}) \subseteq$$
$$\subseteq X_k^{(2)}(\omega_k^{(2)}) \mapsto E\phi_k(x_k^{(2)}) > E\phi_k(x_k^{(1)}).$$

Это условие означает, что поведение агента при выполнении принципа рациональности соответствует закону повышающихся потребностей, который в литературе по психологии поведения определяет мотивированность и целеустремленность агента.

В реальных условиях агент при превышении некоторого порога значимости $\Delta = E\phi_k(x_k^{(2)}) - E\phi_k(x_k^{(1)})$ изменения ценности ситуации целеустремленного состояния по результату способен идентифицировать предпочтительные способы действия и видит открывающиеся возможности при изменении структуры своей информированности (знания).

Выработка решения при таком подходе заключается в реализации совокупности последовательных процедур, предназначенных для поиска промежуточных решений, на основании которых агент уточняет свои возможности и формирует окончательное решение. Полный цикл его формирования *k*-м агентом состоит в выполнении следующих шагов на этапе *h*:

1. Формирование множеств A_k и $X_k^{(h)}$ на основе знаний, опыта, интуиции и располагаемой информацией о параметрах состояния $\omega_k^{(h)}$. Просмотр множества A_k и формирование точки $O_k^{(h)*} = \left\{ o_k^{(h)*} | o_k^{(h)*}(x_k^{(h)}), x_k^{(h)} \in X_k^{(h)}(\omega_k^{(h)}), \omega_k^{(h)} \in A_k \right\}$. Проверка, существует ли $x_k^{(h)*}$ такое, что $o_k^{(h)}(x_k^{(h)*}) = o_k^{(h)*}$. Если – да, то $x_k^{(h)*}$ – это компромиссное решение, а $o_k^{(h)*}$ – прогнозируемая ситуация, в противном случае переход к п.2.

2. Решение задачи поиска потенциально-предпочтительного набора действий $x_k^{(h)*} \in X_k^{(h)}(\omega_k^{(h)})$, позволяющего сформировать вектор $\bar{o}_k^{(h)}$ предельных значений критериев при использовании имеющегося на данный момент знания о правиле $\Psi_k^{(h)}$ и структуре множества A_k. Так как компоненты $\bar{o}_{ki}^{(h)}$, $i = \overline{1,N}$ порознь достижимы, а вместе – нет, то делается попытка найти компромиссное решение. Если агент не согласен попытаться найти компромиссное решение за счет компенсаторных уступок по каждому критерию, которые несколько хуже решения $\bar{o}_k^{(h)}$, то переход к п. 3, иначе к п. 5.

3. Исследование направлений возможного расширения множества A, организация процедур поиска новой информации (знания) о $\omega_k^{(h)} \in A_k$ и правиле $\Psi_k : A_k \to X_k^{(h)}$.

4. Если расширение множества A_k возможно, то переход к п. 1, иначе фиксация ситуации, что компромиссное решение не может быть найдено при выбранном векторе $o_k^{(h)*}$.

5. Получение сведений от агента достаточных для определения вектора $\underline{o}_k^{(h)} \prec o_k^{(h)*}$, где $\underline{o}_k^{(h)}$ минимальные требования агента к принимаемым им во внимание результатам.

6. Выполнение процедуры поиска минимально-предпочтительной точки в пространстве критериев по направлению предпочтения $\underline{o}_k^{(h)}, o_k^{(h)*}$, определение вектора $\omega_k^{(h)*} \in A_k$ и $\underline{x}_k^{(h)*} \in X_k^{(h)}(\omega_k^{(h)*})$ – минимального значения плановых показателей, соответствующих значениям компонент вектора $\underline{o}_k^{(h)}$.

7. Если полученные значения для $\underline{x}_k^{(h)*}, \underline{o}_k^{(h)*}$ принимаются как компромиссное решение, то процедура останавливается, в противном случае переход к п. 8.

8. Для ограничений на $\underline{o}_k^{(h)}$ определяется приоритетная координата $i \in [\overline{1, N_k}]$, по которой делается расширение множеств A_k и $X_k^{(h)}$, так чтобы $o_{k^i}^{(h)}(x_k^{(h)}) = o_{k^i}^{(h)} + \Delta_{k^i}^{(h)}$, где $\Delta_{k^i}^{(h)}$ минимально возможное улучшение, которое является значимым для агента и определяется по его высказываниям о "гибкости" ограничения на основе выполнения процедур поиска дополнительной информации. Переход к п. 1.

Описанный алгоритм использует три типа механизмов, применение которых порождает интерактивный процесс для построения компромиссного решения.

Механизм анализа – это механизм, с помощью которого агент в момент *r* обрабатывает сведения, полученные на шаге *r*-1 для построения множеств P_k и X_k с целью определения x_k, y^{o^*}, c^*, z^*. Здесь сопоставляются результаты, полученные на момент *r* с результатами на шаге *r*-1. формируется представление о значениях вектора o^{o^*} и значений уступок по его компонентам. Строится предварительное представление о желательных значениях показателей $E\phi_k(o(y^{o^*}))$ и $EE_k(o(y^{o^*}))$.

Механизм целеполагания – это механизм, который по результатам анализа определяет условия возможности достижения желательных значений x_k, y^{o^*}, c^*, z^*, $E\phi_k(o(y^{o^*}))$, $EE_k(o(y^{o^*}))$. Рассчитывается идеальная точка в пространстве оценок *o*, связанная с множествами P_k и X_k – это точка $\overline{o}^*$, имеющая координаты $\overline{o}_i^* = \max\limits_{p \in P_k,\, x \in X_k} o_i(x(p)),\ i=\overline{1,L}$. То есть $\overline{o}^*$ – наибольшее значение оценки по координате *i*, которое может быть получено с помощью намеченных действий. Эта точка образует центр области поиска предпочтительных состояний. Если при найденном значении координат точки $\overline{o}^*$ ограничения не выполняются, то агент рассматривает возможность расширения множеств P_k, X_k и C_k за счет включения дополнительных переменных, осуществления структурных изменений и т.п. для ослабления наиболее жестких ограничений так, чтобы выполнялось включение

$P_k(r) \subseteq P_k(r+1)$ и $X_k(r) \subseteq X_k(r+1)$. Если это невозможно, то формируется сведения о координатах $\underline{o}_i < \overline{o}_i^*$ точки $\underline{o}_i \neq \overline{o}_i^*$, которая была бы достижимой и лучшим компромиссом в окрестности точки $\overline{o}^*$. Путем минимизации потерь $\sum_{i=1}^{L} \left| o_i - o_i^{o*} \right|$ определяются величины $p_i = o_i - o_i^{o*} \neq 0$ примерно эквивалентные, небольшие и значащие для агента.

Механизм самоорганизации – это механизм, который приводит к получению знаний о правилах Δ и Ψ для расширения множеств P_k, X_k и C_k. Он может иметь различные формы:

1) проведение экспериментальных исследований на объекте с целью улучшения своего представления о его функционировании;
2) анализ обстановки ν_{-k};
3) привлечение экспертов для подготовки рекомендаций по улучшению режимов ведения процесса;
4) процедуры опроса персонала;
5) процедуры голосования и т.п.

Агентно-ориентированное моделирование переговорного процесса

Реализация описанного подхода предполагает наличие в организационной системе корпоративной сети, которую следует рассматривать как распределенный информационный ресурс с выделенными сетевыми узлами и отдельными приложениями, разрабатываемыми и реализуемыми различными подсистемами организации и пользователями, и основана на результатах, полученных в [32, 33].

Функциональные возможности такой компьютерной системы, имеющей выход в Интернет, создают основу для реализации активного целенаправленного поведения агентов организации при условии их автономности путем использования методов, основанных на переговорах и кооперации, которые лежат в основе агентно-ориентированных систем [29–32]. Это утверждение основано на трех наиболее важные свойствах агентских приложения [29]: 1) данные, механизмы управления, знания и ресурсы распределены; 2) система естественным образом представляется как сообщество автономных сотрудничающих компонентов; 3) система содержит унаследованные компоненты, которые должны взаимодействовать с другими, возможно новыми программными компонентами.

Технологии агентно-ориентированного моделирования, предоставляют возможность исследовать и создавать приложения, разработать которые с использованием традиционных подходов, было практически невозможно. Они обеспечивают и более развитые средства для концептуализации и понимания процессов, происходящих при проведении переговоров, в частности, связанных с моделированием поведения участников, поиском информации для

аргументации позиции, определением и обоснованием стратегий переговоров, защитой от сложных сетевых атак и др.

Использование основанного на многоагентных технологиях моделирования процессов поведения сложных систем (в том числе и переговорного процесса) предполагает, что формализуемые процессы представляются в виде взаимодействия различных команд программных агентов в динамической среде, задаваемой посредством модели сети [32, 33]. Агрегированное поведение системы проявляется посредством локальных взаимодействий отдельных агентов. Предполагается, что агенты осуществляют сбор информации из различных источников, оперируют нечеткими знаниями, прогнозируют намерения и действия других агентов, оценивают возможные риски, пытаются обмануть агентов соперничающих команд, реагируют на действия других агентов.

Агентное моделирование используется для исследования автономных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами, а тогда, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель агентных моделей – получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе. Под агентом понимается некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменяться.

Концептуальная модель противоборства и кооперации команд агентов включает в себя [32]: 1) онтологию приложения, содержащую множество понятий приложения и отношений между ними; 2) протоколы командной работы агентов различных команд; 3) модели сценарного индивидуального, группового и общекомандного поведения агентов; 4) коммуникационный компонент, предназначенный для обмена сообщениями между агентами; 5) модели среды функционирования – компьютерной сети, включающие топологический и функциональные компоненты.

Предлагаемый подход к организации командной работы агентов базируется на совместном использовании элементов теории общих намерений, теории разделяемых планов и комбинированных подходов [34] и учитывает опыт программной реализации многоагентных систем (GRATE, OAA, CAST, RETSINA-MAS, COGNET/BATON и др. [35]).

Для формирования команд агентов и координации действий между командами и отдельными агентами в зависимости от задачи моделирования предполагается использовать комбинации следующих методов и моделей [33, 36]: 1) традиционные BDI-модели, определяемые схемами функционирования агентов, обуславливаемыми зависимостями предметной области; 2) методы распределенной оптимизации на основе ограничений, использующие локальные взаимодействия при поиске локального или глобального оптимума; 3) методы распределенного принятия решений на основе частично-

наблюдаемых марковских сетей, позволяющих реализовать координацию командной работы при наличии неопределенности в действиях и наблюдениях; 4) теоретико-игровые модели и модели аукциона, фокусирующиеся на координации среди различных команд агентов, использующих описанные выше механизмы принятия решений.

Специализация каждого агента отражается подмножеством узлов онтологии. Некоторые узлы онтологии могут быть общими для пары или большего количества агентов. Обычно только один из этих агентов обладает детально структурированным описанием этого узла. Именно этот агент является обладателем соответствующего фрагмента базы знаний. В то же время, некоторая часть онтологических баз знаний является общей для всех агентов, и именно эта часть знаний является тем фрагментом, который должен играть роль общего контекста (общих знаний). Структура команды агентов описывается в терминах иерархии групповых и индивидуальных ролей. Механизмы взаимодействия и координации агентов базируются на процедурах обеспечения согласованности действий, мониторинга и восстановление функциональности агентов, обеспечение селективности коммуникаций. Спецификация иерархии планов действий осуществляется для каждой из ролей. Для каждого плана описываются: начальные условия, когда план предлагается для исполнения; условия, при которых план прекращает исполняться; действия, выполняемые на уровне команды, как часть общего плана. Для групповых планов явно выражается совместная деятельность. Предполагается, что агенты могут реализовать механизмы само адаптации и эволюционировать в процессе функционирования.

Для реализации представленного подхода предполагается разработка многоуровневой инструментальной среды, отличающейся от известных средств агентно-ориентированного моделирования (например, CORMAS, Repast, Swarm, MadKit, MASON, NetLogo и др.) [30, 37], в первую очередь, использованием в качестве базиса средств (пакетов) имитационного моделирования, позволяющих адекватно имитировать переговорные процессы. Для реализации подхода используется архитектура среды моделирования (рис. 5), включающая базовую систему имитационного моделирования (Simulation Framework), модуль имитации переговорного процесса, подсистему агентно-ориентированного моделирования (Agent-based Framework) и модуль (библиотеку) имитации процессов предметной области (Subject Domain Library).

Компонент Simulation Framework представляет систему моделирования на основе дискретных событий. Остальные компоненты являются надстройками или моделями для *Simulation* Framework.

Компонент имитации переговорного процесса – комплект модулей, позволяющих реалистично моделировать процессы интерактивного взаимодействия агентов. Он включает в себя модули обработки результатов рефлексивного маркетинга агентов, модули выбора способа рефлексивного управления и схем рефлексивного управления.

Рис. 5. Архитектура среды моделирования переговорного процесса

Многоагентное моделирование реализуется посредством *компонента Agent-based Framework*, который использует модуль имитации процессов предметной области. Данный компонент представляет собой библиотеку модулей, задающих интеллектуальных агентов, реализованных в виде приложений.

При проектировании и реализации модулей агентов подразумевается использование элементов абстрактной архитектуры FIPA. Для взаимодействия агентов необходим язык коммуникаций. Передача сообщений между ними происходит поверх TCP-протокола, реализованного в компоненте Internet Simulation Framework. Каталог агентов является обязательным только для

агента, координирующего действия других. Агенты могут управлять другими модулями с помощью сообщений.

Компонент Subject Domain Library – это библиотека, служащая для имитации процессов предметной области, а также модули, дополняющие функциональность IP-узла: таблица фильтрации и анализатор пакетов.

Выводы

1. Предложены алгоритмы переговорной стратегии агента-лидера (центра) и m подчиненных агентов в двухуровневой мультиагентной системе.
2. Рассмотрены три варианта процесса в зависимости от полноты информации агента-лидера о поведении подчиненных с ним агентов.
3. Определены условия сходимости переговорной стратегии агентов в зависимости от исходной базы знаний лидера и интересов других агентов. Показано, что при их выполнении допустимое множество с ростом шага итерации расширяется, и выигрыш центра возрастает. Платой за это является рост фондов материального поощрения.
4. Предложен подход к моделированию поведения агентов в интерактивном переговорном процессе. Он может быть использован в задачах информационной борьбы, конкуренции в сфере электронного бизнеса и др. Рассмотрена архитектура среды моделирования, использующая предложенный подход.
5. Дальнейшее развитие работы связано с разработкой формальных моделей поведения сложных систем, совершенствованием среды моделирования (в том числе на основе реализации других задач поведения сложных систем), исследованием эффективности механизмов внутри командного взаимодействия агентов, реализацией механизмов адаптации и самообучения агентов.

Литература

1. Светлов В. А., Семенов В. А. Конфликтология. – СПб.: Питер, 2011. – 352 с.
2. Ларичев О. И., Мовшович Е. М. Качественные методы принятия решений. – М.: Наука, 1996. – 208 с.
3. Конов А. А., Косаченко С. А., Кульба В. В. Модели и методы анализа сценариев развития социально-экономических систем в АСУ // Автоматика и телемеханика. 1999. № 9. С. 122-136.
4. Трахтенгерц Э. А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений. – М.: СИНТЕГ, 2001. – 256 с.
5. Фишер Р., Юрии У. Путь к согласию или Переговоры без поражения. – М., 1990. – 144 с. – URL: http://www.f-kotler.narod.ru/download/fisher_rodzher_-_put_k_soglasiyu_ili_peregovory.pdf (дата обращения 10.07.2016).
6. Лебедева М. М. Политическое урегулирование конфликтов. Учебное пособие. – М.: Аспект Пресс, 1999. – 271 с.
7. Селлих К., Джейн С. Переговоры в международном бизнесе. – М.: Добрая книга, 2004. – 336 с.

8. Белланже Л. Переговоры. – СПб.: Издательский дом «Нева», 2002. – 140 с.

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

10. Виноградов Г. П., Шматов Г. П., Борзов Д. А. Формирование представлений агента о предметной области в ситуации выбора // Программные продукты и системы. 2015. № 2 (110). С. 83-94.

11. Зенгер Ч. Фон. Стратегемы: О китайском искусстве жить и выживать: в 2-х томах. – М.: Эксмо, 2004. – 512 с.+1024 с.

12. Латфуллин Г. Р., Громова О. Г. Организационное поведение: Учебник для вызов. – СПб.: Питер, 2007. – 432 с.

13. Бендлер Р. Руководство по изменению личности / Пер. с англ. – М.: Эксмо, 2010. – 208 с.

14. Дилтс Р. Моделирование с помощью НЛП. – СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

15. Борисов А. Н., Алексеев А. В., Меркурьева Г. В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

16. Рубинштейн М. Ф., Фирстенберг А. Р. Интеллектуальная организация. Перенеси будущее в настоящее и преврати творческие идеи в бизнес-решения / Пер. с анг. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 192 с.

17. Виноградов Г. П., Кузнецов В. Н., Семенов Н. А. Согласование представлений агентов в интеллектуальной многоагентной системе // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS – IT'09». – М.: Физматлит, 2009 – С. 135-141.

18. Лефевр В. А. Конфликтующие структуры. 3-е изд. – М.: Институт психологии РАН, 2000. – 158 с.

19. Новиков Д. А. Современные проблемы теории управления организационными системами // Сб. трудов: Человеческий фактор в управлении. – М.: КомКнига, 2006. – С. 391-407.

20. Виноградов Г. П., Кузнецов В. Н. Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. № 3. С. 58-72.

21. Виноградов Г. П. Моделирование принятия решений интеллектуальным агентом // Программные продукты и системы. 2010. № 3. С. 35-43.

22. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 286 с.

23. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. – М.: Сов. радио, 1974. – 272 с.

24. Миркин Б. Г. Проблема группового выбора. – М.: Наука, 1974. – 256 с.

25. Статистическое измерение качественных характеристик / Под ред. Е.М. Четыркина. – М.: Статистика, 1972. – 173 с.

26. Стивенс С. С. Математика, измерение и психофизика // Сб.: Экспериментальная психология. Том 1. – М.: ИЛ, 1960. – С. 19-89.

27. Суппес П., Зинес Дж. Основы теории измерений // В кн.: Психологические измерения. – М.: Мир, 1967. – С. 9-110.

28. Ивашкин Ю. А. Агентные технологии и мультиагентные системы. Учебное пособие. – М.: МФТИ, 2013. – 265 с.

29. Bond A. H., Gasser L. (Eds.). Readings in Distributed Artificial Intelligence. – Morgan Kaufmann, 1988. – 649 p.

30. Macal C. M., North M. J. Tutorial on Agent-based Modeling and Simulation // Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. WSC'05. 2005. – pp. 151-162.

31. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: УРСС, 2002. – 352 с.

32. Городецкий В. И., Котенко И. В. Концептуальные основы стохастического моделирования в среде Интернет // Труды института системного анализа РАН. 2005. Том 9. С. 20-35.

33. Kotenko I. V., Ulanov A. V. Agent-based simulation of DDOS attacks and defense mechanisms // Journal of Computing. 2005. Vol. 4. No. 2. Pp. 49-61.

34. Tambe M. Towards flexible teamwork // Journal of AI Research. 1997. Vol. 7. Pp. 83-124.

35. Fan X., Yen J. Modeling and Simulating Human Teamwork Behaviors Using Intelligent Agents // Journal of Physics of Life Reviews. 2004. Vol. 1. No. 3. Pp. 33-51.

36. Paruchuri P., Bowring E., Nair R., Pearce J. P., Schurr N., Tambe M., Varakantham P. Mutiagent Teamwork: Hybrid Approaches // Computer society of India Communications. 2006. No. 3. Pp. 55-69.

37. Marietto M., David N., Sichman J. S., Coelho H. Requirements Analysis of Agent-Based Simulaton Platforms: State of the Art and New Prospects // Multi-Agent-Based Simulation II, Vol. 2581 of LNAI series, Springer-Verlag. 2002. – Pp. 2132-2141.

38. Белянин А. Канеман Д., Смит В. Экономический анализ человеческого поведения // Вопросы экономики. 2003. № 1. С. 4-23.

References

1. Svetlov V. A., Semenov V. A. *Konfliktologiia* [Conflictology]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2011. 352 p. (in Russian).

2. Larichev O. I., Movshovich E. M. *Kachestvennye metody priniatiia reshenii* [Qualitative methods of decision making]. Moscow, Nauka Publ., 1996. 208 p. (in Russian).

3. Kononov D. A., Kosyachenko S. A., Kul'ba V. V. Analysis of scenarios of development of socioeconomic systems in emergency control systems: models and methods. *Automation and remote control*, 1999, no. 9, part 2, pp. 1315-1325.

4. Trakhtengerts E. A. *Sub''ektivnost' v komp'iuternoi podderzhke upravlencheskikh reshenii* [Subjectivity in a computer support of managerial decisions]. Moscow, Sinteg Publ., 2001. 256 p. (in Russian).

5. Fisher R., Iurii U. *Put' k soglasiiu ili Peregovory bez porazheniia* [The way to an agreement or Negotiations without defeat]. Moscow, 1990. 144 p. Available at: http://www.f-kotler.narod.ru/download/fisher_rodzher_-_put_k_soglasiyu_ili_peregovory.pdf (accessed 10 June 2016) (in Russian).

6. Lebedeva M. M. *Politicheskoe uregulirovanie konfliktov* [A political settlement of the conflict]. Moscow, Aspekt Press Publ., 1999. 271 p. (in Russian).

7. Sellikh K., Dzhein S. *Peregovory v mezhdunarodnom biznese* [Negotiations in international business]. Moscow, Dobraia kniga Publ., 2004. 336 p. (in Russian).

8. Bellanzhe L. *Peregovory* [Negotiations]. Saint-Petersburg, Neva Publ., 2002. 140 p. (in Russian).

9. Novikov D. A., Chkhartishvili A. G. *Refleksivnye igry* [Reflexive games]. Moscow, Sinteg Publ., 2003. 160 p. (in Russian).

10. Vinogradov G. P., Shmatov G. P., Borzov D. A. Formation of agent's representations of the domain in a situation of choice. *Software & Systems*, 2015, vol. 10, no. 2, pp. 83-94 (in Russian).

11. Zenger Ch. Fon. Strategemy: *O kitaiskom iskusstve zhit' i vyzhivat'* [Stratagems: the Chinese art to live and survive]. 2 volumes. Moscow, Eksmo Publ., 2004. (in Russian).

12. Latfullin G. R., Gromova O. G. *Organizatsionnoe povedenie* [Organizational behavior]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2007. 432 p. (in Russian).

13. Bendler R. *Rukovodstvo po izmeneniiu lichnosti* [Guide to personality change]. Moscow, Eksmo Publ., 2010. 208 p. (in Russian).

14. Dilts R. *Modelirovanie s pomoshch'iu NLP* [Modeling using neuro-linguistic programming]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2008. 288 p. (in Russian).

15. Borisov A. N., Alekseev A. V., Merkur'eva G. V. *Obrabotka nechetkoi informatsii v sistemakh priniatiia reshenii* [Processing fuzzy information in decision-making systems]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1989. 304 p. (in Russian).

16. Rubinshtein M. F., Firstenberg A. R. *Intellektual'naia organizatsiia. Perenesi budushchee v nastoiashchee i prevrati tvorcheskie idei v biznes-resheniia* [Intellectual organization. Bring the future into the present and turn creative ideas into business solutions]. Moscow, INFRA-M Publ., 2003. 192 p. (in Russian).

17. Vinogradov G. P., Kuznetsov V. N., Semenov N. A. Soglasovanie predstavlenii agentov v intellektual'noi mnogoagentnoi sisteme [Approval of the beliefs of agents in an intelligent multi-agent system]. *Trudy Kongressa po intellektual'nym sistemam i informatsionnym tekhnologiiam «AIS – IT'09»* [Congress on intellectual systems and information technologies "AIS – IT'09"]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009 pp. 135-141 (in Russian).

18. Lefevr V. A. *Konfliktuiushchie struktury* [Conflicting structures]. Moscow, Institute of Psychology of RAS, 2000. 158 p. (in Russian).

19. Novikov D. A. Sovremzennye problemy teorii upravleniia organizatsionnymi sistemami [Modern problems of the theory of control of organizational systems]. *Proc. "Chelovecheskii faktor v upravlenii",* Moscow, KomKniga Publ., 2006. pp. 391-407 (in Russian).

20. Vinogradov G. P., Kuznetsov V. N. Modeling agent's behavior based subjective perceptions on the situation of choice. *Artificial intelligence and decision making*, 2011, no. 3, pp. 58-72 (in Russian).

21. Vinogradov G. P. Modelirovanie priniatiia reshenii intellektual'nym agentom [Modeling decision making intelligent agent]. *Software & Systems*, 2010, no. 3, pp. 35-43 (in Russian).

22. Mikhalevich V. S., Volkovich V. L. *Vychislitel'nye metody issledovaniia i proektirovaniia slozhnykh system* [Computational methods for research and design of complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 286 p. (in Russian).

23. Akoff R., Emeri F. *O tseleustremlennykh sistemakh* [On purposeful systems]. Moscow, Sov. Radio Publ., 1974. 272 p. (in Russian).

24. Mirkin B. G. *Problema gruppovogo vybora* [The problem of group selection]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 256 p. (in Russian).

25. Chetyrkin E. M. (at edit.) *Statisticheskoe izmerenie kachestvennykh kharakteristik* [Statistical measurement of quality characteristics]. Moscow, Statistika Publ., 1972. 173 p. (in Russian).

26. Stivens S. S. Matematika, izmerenie i psikhofizika [Mathematics, Measurement and Psychophysics]. *Proc. "Eksperimental'naia psikhologiia"*, Moscow, Vol. 1, 1960. pp. 19-89 (in Russian).

27. Suppes P., Zines Dj. Osnovy teorii izmerenii [Fundamentals of measurement theory]. *Proc. "Psikhologicheskie izmereniia"*, Moscow, Mir Publ., 1967. pp. 9-110 (in Russian).

28. Ivashkin Iu. A. *Agentnye tekhnologii i mul'tiagentnye sistemy* [Agent technologies and multiagent systems]. Moscow, MIPT Publ., 2013. 265 p. (in Russian).

29. Bond A. H., Gasser L. (Eds.). *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, 1988. 649 p.

30. Macal C. M., North M. J. Tutorial on Agent-based Modeling and Simulation. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. WSC'05*, 2005, pp. 151-162

31. Tarasov V. B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiiam: filosofiia, psikhologiia, informatika* [From multiagent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, computer science]. Moscow, Editorial URSS, 2002. 352 p. (in Russian).

32. Gorodetskiy V. I., Kotenko I. V. Kontseptual'nye osnovy stokhasticheskogo modelirovaniia v srede Internet [The conceptual framework of stochastic modelling in the Internet environment]. *Trudy instituta sistemnogo analiza RAN*, 2005, vol. 9, pp. 20-35 (in Russian).

33. Kotenko I. V., Ulanov A. V. Agent-based simulation of DDOS attacks and defense mechanisms. *Journal of Computing*, 2005, vol. 4, no. 2, pp. 49-61.

34. Tambe M. Towards flexible teamwork. *Journal of AI Research*, 1997, vol. 7, pp. 83-124.

35. Fan X., Yen J. Modeling and Simulating Human Teamwork Behaviors Using Intelligent Agents. *Journal of Physics of Life Reviews*, 2004, vol. 1, no. 3, pp. 33-51.

36. Paruchuri P., Bowring E., Nair R., Pearce J. P., Schurr N., Tambe M., Varakantham P. Mutiagent Teamwork: Hybrid Approaches. *Computer society of India Communications*, 2006, no. 3, pp. 55-69.

37. Marietto M., David N., Sichman J. S., Coelho H. Requirements Analysis of Agent-Based Simulaton Platforms: State of the Art and New Prospects. *Multi-Agent-Based Simulation II, Vol. 2581 of LNAI series*, Springer-Verlag, 2002, pp. 2132-2141.

38. Belianin A. Kaneman D., Smit V. Ekonomicheskii analiz chelovecheskogo povedeniia [Economic analysis of human behavior]. *Voprosy Ekonomiki*, 2003, no. 1, pp. 4-23 (in Russian).

Статья поступила 6 июля 2016 г.

Информация об авторах

Виноградов Геннадий Павлович – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры информатики и прикладной математики. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет». Область научных интересов: теория принятия решений; теория нечетких множеств; мультиагентные системы. E-mail: wgp272ng@mail.ru

Адрес: Россия, 170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22.

Ивашкин Юрий Алексеевич – доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник научно-методического центра. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств». Область научных интересов: Мультиагентные системы; искусственный интеллект. E-mail: ivashkin@nextmail.ru

Адрес: Россия, 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11.

Modeling Negotiation Processes in High-tech Production Systems

G. P. Vinogradov, Y. A. Ivashkin

Problem statement: *increasing the level of autonomy of the divisions in knowledge-intensive industries has led to the allocation of decision-making centers. It made the actual problem of research of process of interaction of divisions in the intellectual organizations in solving semi-structured complex problems in conditions of uncertainty of external environment. Known methods and approaches do not take into account the interdependence of actors in making coordinated decisions, their subjective assessment of the situation of choice, goals, needs, motivation, what makes the formal model is not feasible in practice. The aim of this work is development of the mechanism of interaction of divisions of production in the form of the negotiation process, when due to the complexity of the technological process, requiring specialist knowledge at a higher level of control can be known of the ability of subordinate levels or no opportunity to determine their behavior by force.* ***The aim of this work*** *is development of the mechanism of interaction of divisions of production in the form of the negotiation process, when due to the complexity of the technological process, requiring specialist knowledge at a higher level of control can be known of*

the ability of subordinate levels or no opportunity to determine their behavior by force. ***Methodology:*** *the solution to the problem of constructing the mechanism of the negotiation process based on the original approach of modeling subjectively rational choice that takes into account individual perceptions of the decision maker properties of a situation of choice. Development of a selection model based on the theory of fuzzy sets. A model of the mechanism of the negotiation process is based on the results of the theory of active systems.* ***Novelty:*** *the elements of novelty of the presented solution are the development of the model subjectively rational choice and building on its basis a game-theoretic model of the mechanism of the negotiation process that takes into account the interdependence of participants, justification of the convergence of the negotiation process with different variants of awareness of an arbitrator on the possibilities of the participants.* ***Result:*** *the proposed approach of coordination of interests of participants of the negotiation process allows you to combine the estimates obtained formal methods with subjective estimates based on experience and knowledge. Using the results obtained allows to increase the objectivity of the solutions is the basis for creation of information technologies for the integration of "natural" intelligence in the solution of creative tasks that require non-trivial approaches to develop an ideal model of negotiation.* ***Practical significance:*** *the decision to implement usage-based agent technologies. This enables the study of the negotiation process as a system whose dynamics is determined not by global rules and laws, and when these global rules and laws are the result of individual activity of group members. The purpose of modeling is to gain insight into these global rules, the General behavior of system, proceeding from assumptions of individual, private behavior of its separate active objects and the interaction of these objects in the system.*

Key words: *negotiations, conflicts, decision-making, multi-agent system model, consistent management, a compromise.*

Information about Authors

Gennady Pavlovich Vinogradov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor. Professor at the Department of Informatics and applied mathematics. Federal State budgetary educational institution of the higher Education. Field of research: theory of decision making; theory of fuzzy sets; multiagentny systems. E–mail: wgp272ng@mail.ru

Address: Russia, 170026, Tver, A. Nikitin Emb., 22.

Yury Alekseevich Ivashkin – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor. Chief researcher of the MSU scientific and methodical center. Federal State budgetary educational institution of the higher education "Moscow State University of food productions". Field of research: information security; multiagentny systems; artificial intelligence. E–mail: ivashkin@nextmail.ru

Address: Russia, 125080, Moscow, Volokolamskoye Highway, 11.

УДК 004.89

Агентоцентрическое моделирование организационно-технологических систем

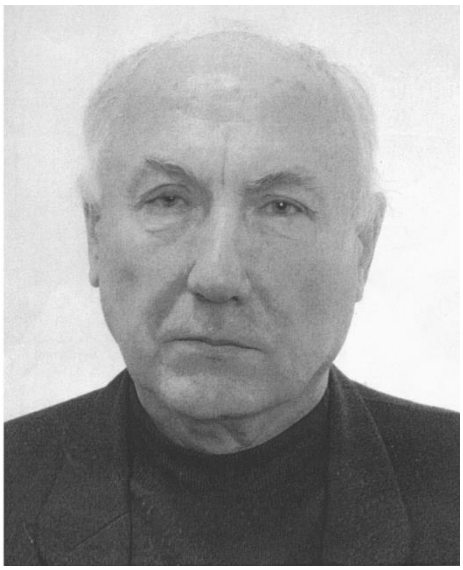
Игнатенко В. А., Бажанов А. Г., Юдин Д. А.,
Чуев А. В., Юдицкий С. А.

Постановка задачи: *разработка эффективных систем управления организационными и технологическими системами (ОТС) требует проведения их моделирования и программно-аппаратной реализации, которые обеспечивают повышение качества продукции того или иного технологического процесса, снижение затрат на производство, улучшение производительности или условий труда персонала. Для ряда объектов, например, вращающихся цементных печей мокрого способа производства, установок по выращиванию кристаллов сапфира, сложно построить аналитическую модель системы управления. В связи с этим предлагается исследование интеллектуальных методов и сетевых подходов для реализации этой задачи.* ***Целью работы*** *является развитие, расширение и формализация методологии моделирования ОТС в рамках работ, проведенных в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова под научным руководством проф. В.З. Магергута. Для достижения поставленной цели использовалось несколько концептуальных путей: применение сетевой модели при обработке аналоговой информации, применение нечетких диаграмм поведения узлов для построения моделей и синтеза управляющих автоматов для сложных технологических объектов, применение технического зрения в системе управления сложным технологическим объектом, формализация и анализ дискретных организационно-технологических систем со структурированными агентами на индикаторных сетях.* ***Используемые методы****: в качестве методов решения задачи агентоцентрического моделирования использовались методы сетей Петри, в том числе их модификаций – информационных и бинарных индикаторных, методы нечетких диаграмм поведения узлов, методы нейронных сетей, в частности карт Кохонена, методы классификации данных, в том числе, метод опорных векторов и метод экстремального обучения.* ***Новизна:*** *элементами новизны представленного решения являются: предложенная информационная сеть Петри для обработки аналоговой информации; методика построения моделей и синтеза управляющих автоматов для сложных технологических объектов на основе нечетких диаграмм поведения узлов; способ оценки состояния зоны спекания и параметров процесса обжига вращающейся печи на основе распознавания изображений; структура советующей системы управления вращающейся цементной печью с применением технического зрения; сетевые модели ОТС на основе бинарных индикаторных сетей и концепции «Обеспечение-Обслуживание-Отчетность».* ***Результат****: описанные в настоящей статье подходы показали свою эффективность при решении практических задач. С помощью информационной сети Петри успешно осуществлено моделирование динамики замкнутой системы управления. Применение нечетких диаграмм поведения узлов позволили адекватно формировать советы по управлению вращающейся печью. Применение системы технического зрения позволило осуществить оценку состояния зоны спекания с точностью в среднем выше 94%, а также использовать визуальные данные в системе управления печью, тем самым повысив оперативность принятия решений операторами на 12%. С применением бинарных индикаторных сетей получена адекватная модель установки по выращиванию искусственных сапфиров, разработана бинарная сетевая дорожная карта обеспечения информационной безопасности регионального многофункционального центра.* ***Практическая значимость:*** *полученные результаты внедрены на цементном заводе ЗАО «Осколцемент» (г. Старый Оскол), а также в Многофункциональном центре предоставления государственных и муниципальных услуг Белгородской области.*

Ключевые слова: *агентный подход, информационная сеть Петри, бинарная индикаторная сеть Петри, нечеткая диаграмма поведения, нечеткое управление, система технического зрения, оценка состояния, метод экстремального обучения, вращающаяся цементная печь.*

Памяти профессора Валерия Залмановича Магергута

11 мая 2016 года ушел из жизни организатор и активный участник работ по современной прикладной информатике, замдиректора по научной работе Института информационных технологий и управляющих систем при Белгородском государственном технологическом университете (*БГТУ*) *им. В.Г. Шухова, доктор технических наук, профессор Валерий Залманович Магергут.*



Валерий Залманович Магергут (*1941 - 2016*)

Валерий Залманович родился 11 ноября 1941 года в городе Чапаевск Самарской области. После окончания школы в 1958 г. поступил в Новочеркаский политехнический институт, который закончил с отличием в 1963 г. Далее по распределению 3 года работал инженером на предприятиях министерства общего машиностроения, а в 1966 г. был принят в аспирантуру Днепропетровского химико-технологического института. В 1969 г. по завершении аспирантуры был направлен в Новомосковский филиал Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, где проработал 37 лет, вплоть до 2006 г., последовательно занимая должности ассистента, ст. преподавателя, доцента, профессора кафедры «Автоматизация производственных процессов» и параллельно декана факультета. В 1990 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 2001 г. – докторскую. В «новомосковский» период проявилась широта научных интересов Валерия Залмановича. Он развил модели и методы управления роботизированными комплексами, используемыми в гибких автоматизированных производствах машиностроительного типа, применительно к условиям химико-технологических производств, разработал принципы построения, методы анализа, синтеза и применения адаптивных регуляторов в химической промышленности (*тема докторской диссертации*). *В.З. Магергут участвовал в разработке гибридных моделей управления на основе взаимодействия ее дискретной и непрерывной частей. А также занимался другими новыми интересными вещами, он автор нескольких изобретений.*

В 2006 г. Валерий Залманович перешел работать в Белгород в БГТУ им. В.Г. Шухова, где он как продолжил выполненные в Новомосковске работы, так и инициировал новые направления, ставшие предметом успешно защищенных 4-х кандидатских диссертаций аспирантами В.З. Магергута. Читатели могут оценить широту научных взглядов и глубину научного поиска В.З. Магергута по предлагаемой статье, состоящей из 4-х разделов, написанных его учениками. Первый раздел «Применение сетевой модели при обработке аналоговой информации» написан В.А. Игнатенко. Второй раздел «Применение нечетких диаграмм поведения узлов для построения моделей и синтеза управляющих автоматов для сложных технологических объектов» написан А.Г. Бажановым. Третий раздел «Применение технического зрения в системе управления сложным технологическим объектом» написана Д.А Юдиным. Четвертый раздел «Формализация и анализ дискретных организационно-технологических систем со структурированными агентами на индикаторных сетях» написан А.В. Чуевым (научный консультант по этой работе проф. С.А. Юдицкий). Необходимо отметить, что еще несколько аспирантов продолжают работать над своими исследованиями, которые развивают идеи, родоначальником которых являлся В.З. Магергут. Несомненно, его идеи и дальше будут жить и развиваться в трудах учеников.

В.З. Магергут был не только известным ученым, создавшим в БГТУ им. В.Г. Шухова школу агентоцентрического моделирования, но и необыкновенно светлым, скромным, добрым, отзывчивым, надежным человеком, готовым всегда прийти на помощь. Его отличали чувство ответственности, требовательность к себе, высокая работоспособность и самоотдача.

Пусть земля ему будет пухом.

С.А. Юдицкий

Введение

Известно широкое применение при автоматизации организационно-технологических систем (ОТС) различного назначения структур на базе автономных «интеллектуальных» единиц – агентов, образующих многоагентные сети. Такой подход был назван агентоцентрическим (агентоориентированным). Инициатором работ по развитию и совершенствованию агентоцентрических методов моделирования функционирования и управления ОТС в БГТУ им. В.Г. Шухова был зам. директора по науке Института информационных технологий и систем управления при БГТУ, доктор технических наук, профессор В.З. Магергут. Начиная с 2012 г. под его научным руководством выполнены и успешно защищены 4 кандидатские диссертации, в которых исследовались как внутренние структуры агентов, так и сети связи между агентами. Разработанные методы внедряются, и частично уже внедрены, на ряде Белгородских предприятий. Результаты внедрения, в первую очередь программное обеспечение, представлены в диссертациях в виде реальных примеров, подтверждающих принятые теоретические решения.

Целью данной статьи является развитие, расширение и формализация методологии моделирования ОТС в рамках работ, проведенных в БГТУ им. В.Г. Шухова под научным руководством В.З. Магергута. Для достижения поставленных целей использовалось несколько концептуальных путей, частично совместимых между собой, которые подробно описаны ниже.

1. Применение сетевой модели при обработке аналоговой информации[1]

1.1. Актуальность. При решении задач анализа и синтеза систем автоматического управления в первую очередь необходимо выбрать способ математического описания исследуемой системы. Результат выбора зависит от множества факторов, таких как проработанность математического аппарата, характер поведения системы, полнота информации об объекте, способ физической реализации закона управления и многое другое.

При реализации задач промышленной автоматизации зачастую решающими факторами становятся скорость реализации системы управления и простота ее дальнейшего обслуживания и модификации. Учитывая эти требования, предпочтение обычно отдается комплексу лингвистических средств, полностью или частично оперирующих графическими средствами описания систем [1].

Учитывая, что большинство современных систем управления физически реализуются на базе цифровых вычислительных устройств (промышленные контроллеры, специализированные цифровые устройства на базе микроконтроллеров, промышленные компьютеры и т.д.), то в конечном итоге разрабатываемый закон управления должен быть представлен в виде исполняемого алгоритма.

Одним из способов представления алгоритма управления в графической форме является применение сетей Петри. Существует множество разновидностей этого математического аппарата, отличающихся различным способом описания состояния системы и целевой функции. Так, например, помеченные сети Петри предусматривают описание последовательности состояний рассматриваемой системы и пути перехода между этими состояниями, выбираемыми в зависимости от внешних условий. Однако для этого способа необходимо, чтобы множество условий и множество состояний могли быть описаны логическими функциями, что подразумевает работу только с дискретными переменными.

1.2. Постановка задачи. Вследствие описанных требований к средствам проектирования возникает задача дискретизации сигналов, характеризующих состояние объекта управления. Процесс дискретизации изначально непрерывной модели системы является нетривиальной задачей, требующей выполнения таких требований как сохранение устойчивости, отсутствие потери

[1] Эта часть статьи написана В.А. Игнатенко по результатам его диссертационных исследований, выполненных под руководством проф. В.З. Магергута.

информации вследствие дискретизации по времени, учет таких особенностей дискретных законов управления как гистерезис и т.д.

Альтернативным решением этой задачи является применение математического инструмента изначально обладающего преимуществами простоты представления алгоритма в виде сети Петри и возможности оперирования аналоговой информацией.

1.3. Описание принципов функционирования информационной сети Петри. В качестве инструмента, удовлетворяющего описанным выше требованиям, предлагается использовать информационную сеть Петри (ИСП) [2], в которой, подобно графу операций [3] присутствует два типа вершин: позиции и переходы. Позиции, обозначаемые нумерованными кружками, соответствуют выполняемым технологическим или внутренним математическим операциям. Переходы в отличие от классической сети Петри дополнены двумя информационными входами (повышающий информационный вход помечается символом «+», а понижающий информационный вход – символом «-»). В ИСП вводится особый тип дуги – информационная дуга. В отличие от обычной дуги она не переносит фишку, а лишь передает информацию о наличии фишки в соответствующей позиции. Начало информационной дуги может находиться только в позиции и для отличия от обычной дуги помечается «крестиком». Конец информационной дуги, обозначаемый «стрелкой» должен быть соединен только с информационным входом перехода. Информационная дуга характеризуется коэффициентом передачи. Для его обозначения в разрыв дуги вставляется треугольник с вписанным в него значением. Отсутствие треугольника эквивалентно единичному коэффициенту передачи. В случае, когда информационная дуга заканчивается стрелкой на боковой грани треугольника, коэффициент передачи задается этой информационной дугой.

Для упрощения описания взаимодействия сети внешними системами допускается начинать и заканчивать информационную дугу не на вершинах графа (позициях и переходах соответственно), а на отметках входа (обозначаемых InX) и выхода (обозначаемых OutY). Фактически они будут являться точками поступления входных сигналов для сети и выходных воздействий, генерируемых сетью.

Фишка, предназначенная для того, чтобы определить к какому из множества возможных состояний в данный момент принадлежит система, в отличие от помеченной сети Петри, перестала быть неделимым элементом. Вводится понятие «массы» фишки, являющееся численным значением степени принадлежности системы к некоторому состоянию. Масса фишки выражается числом, лежащим в диапазоне [0; 1].

Пример использования основных элементов информационной сети Петри представлен на рис. 1.1.

Основным элементом, обеспечивающим перенос массы фишки из одной позиции в другую, является переход. Можно выделить две функции перехода: передающую и информационную. Передающая функция реализует непосредственно перенос фишки (точнее массы фишки, то есть фишка может

быть перенесена не полностью) из одной позиции в другую. Информационная функция заключается в управлении условием переноса фишки.

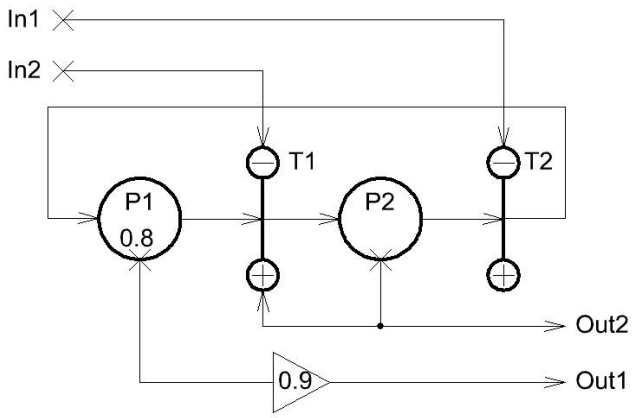


Рис. 1.1. Пример графического изображения ИСП

В отличие от сети Петри, условие срабатывания перехода не является стационарным и может зависеть как от состояния самой сети, так и от внешних входных сигналов. Условие переноса массы может быть описано функцией передачи перехода, изображенной на рис. 1.2.

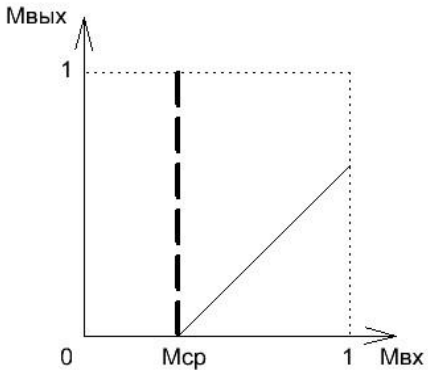


Рис. 1.2. Функция передачи перехода

В соответствие с графиком, переход срабатывает, то есть начинает осуществлять перенос массы только после того, как разница между массой фишек в позициях связанных с данным переходом входящими (M_{BX}) и исходящими ($M_{ВЫХ}$) дугами превысит некоторое пороговое значение (M_{CP}). Кроме того, предаваемая переходом масса пропорциональна этой разнице.

Так как количество дуг, связанных с переходом неограниченно, а входом функции передачи является суммарное значение $Mвх = \sum_{i=1..n} Pi$, где n – общее количество входных дуг, $Mвх$ – масса фишек во всех позициях, связанных со входом перехода, Pi – масса фишки в одном переходе, связанном входной дугой.

Переход может быть в открытом (сработавшем) и закрытом (неактивном) состоянии. Согласно функции передачи перехода он считается сработавшим,

если $Mвх > Mcp$, где Mcp – порог срабатывания перехода. В случае выполнения этого условия выполняются следующие действия: уменьшение массы в позициях, связанных входящими дугами и увеличение массы в позициях, связанных исходящими дугами. Для обработки всей сети необходимо выполнить эти действия для всех переходов:

$$P_i = P_i - \left(\sum_{i=1,n} (1 - P_j) - Pos\left(\sum_{i=1,n} (1 - P_j) - \sum_{i=1,n} (P_i) \right) \right) \cdot \frac{P_i}{\sum_{i=1,n} P_i} \cdot \left(\sum_{i=1,n} P_i - Mcp \right), \quad (1)$$

$$P_j = P_j + \left(\sum_{i=1,n} (1 - P_j) - Pos\left(\sum_{i=1,n} (1 - P_j) - \sum_{i=1,n} (P_i) \right) \right) \cdot \frac{(1 - P_j)}{\sum_{j=1,m} (1 - P_j)} \cdot \left(\sum_{i=1,n} P_i - Mcp \right), \quad (2)$$

где P_i – позиция, связанная входящей дугой; n – количество входящих передающих дуг; P_j – позиция, связанная с переходом, исходящей дугой; m – количество исходящих передающих дуг; $Pos(x)$ – кусочно-линейная функция вида:

$$\begin{cases} Pos(x) = x, \ / \ при \ / \ x \geq 0, \\ Pos(x) = 0, \ / \ при \ / \ x < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Информационная функция перехода, заключающаяся в управлении порогом срабатывания, заключается и может быть описана в виде функциональной зависимости порога срабатывания (M_{CP}) от состояния информационных входов перехода (повышающего и понижающего).

При отсутствии у перехода связанных с ним информационных дуг порог срабатывания принимается равным 0, в противном случае определяется как

$$M_{cp} = \sum_{x=1..n} P_x \cdot k_x - \sum_{y=1..m} P_y \cdot k_y, \quad (4)$$

где k_x – коэффициент передачи дуги, связывающей переход P_x с повышающим информационным входом, k_y – коэффициент передачи дуги P_y, связывающей переход P_y с понижающим информационным входом.

Вся информация, поступающая в систему, хранится и обрабатывается в сети в виде распределения масс по позициям. Вследствие этого входные и выходные сигналы должны быть нормированы в диапазоне [0; 1].

Разработку структуры системы автоматического управления с использованием ИСП можно разделить на два этапа: структурный синтез и параметрический синтез.

На этапе структурного синтеза задается множество возможных состояний системы и условий переходов, то есть формируется граф, в котором позиции должны быть связаны с переходами таким образом, чтобы стало возможным выполнение сетью заданного алгоритма поведения.

Параметрический синтез заключается в выборе коэффициентов передачи информационных дуг. Изменение этих параметров качественно влияет на поведение системы. По аналогии с нейронными сетями этот процесс будем называть «обучением» сети.

1.4. Пример применения ИСП для моделирования динамических объектов. В качестве примера применения ИСП можно привести моделирование объекта, чья динамика может быть описана апериодическим звеном.

Для моделирования апериодического звена формируется сеть, состоящая из позиций *P*1, *P*2 и переходов *T*1, *T*2 в соответствие с рис. 1.3.

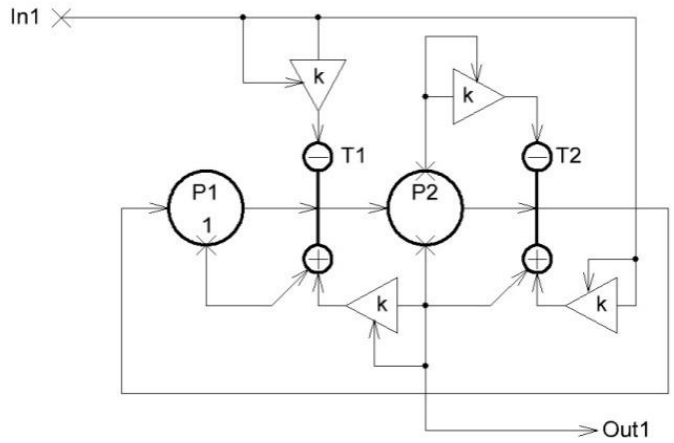


Рис. 1.3. Модель апериодического процесса

Так как данная структура моделирует динамическое поведение объекта, то для ее работы необходим циклический пересчет сети на протяжении заданного времени, при этом каждый проход множества переходов занимает фиксированное время, называемое тактом.

Применяя итеративные функции (1, 2, 4) и принимая величину такта за единицу, получаем переходную характеристику модели. Результатом моделирования является ступенчатая функция (рис. 1.4), которая в точках разрыва приближается к непрерывной экспоненциальной функции:

$$\mathrm{Out1}(t) = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \cdot \mathrm{In1}(t). \qquad (5)$$

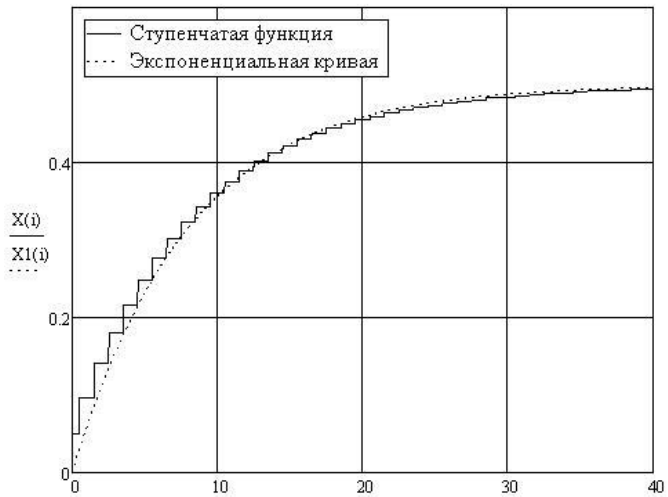


Рис. 1.4. Динамика реакции сети ИСП на ступенчатое воздействие

Для практического применения данной модели при построении более сложных систем необходимо решить задачу параметрического синтеза. В частном случае, для приведенной структуры апериодического звена была найдена зависимость:

$$K = \frac{1}{3 \cdot \sqrt{\tau}} + \frac{1}{\tau}, \quad (6)$$

где K – коэффициент передачи информационных дуг, τ – постоянная времени апериодического процесса, согласно (5). Учитывая реальную длительность такта обработки сети, равную T_j, уравнение (6) принимает вид:

$$K = \frac{1}{3 \cdot \sqrt{\tau \cdot T_j}} + \frac{1}{\tau \cdot T_j}. \quad (7)$$

Помимо модели апериодического звена разработано множество других простейших составных блоков (дифференциальные звенья, позиционные блоки, запаздывание и др.) [4], из которых может быть построена более сложная структура.

Рассмотрим этот подход на примере синтеза простейшего замкнутого контура регулирования, структурная схема которого приведена на рис. 1.5.

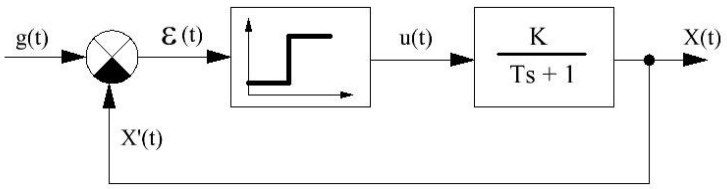


Рис. 1.5. Структурная схема замкнутой системы управления

Используя типовые блоки, такие как апериодическое звено и двухпозиционный регулятор можно сформировать структуру сети (рис. 1.6):

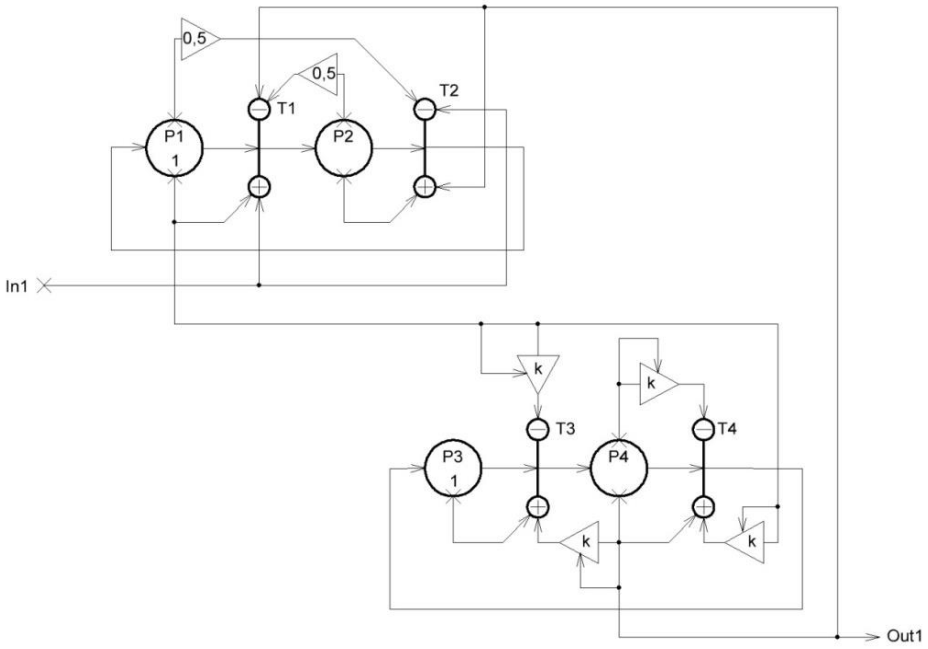


Рис. 1.6. ИСП, реализующая динамику замкнутой системы управления

Применяя итеративный пересчет сети можно получить следующую динамическую характеристику моделируемой системы (см. рис. 1.7). Как видно система приходит в установившийся автоколебательный режим.

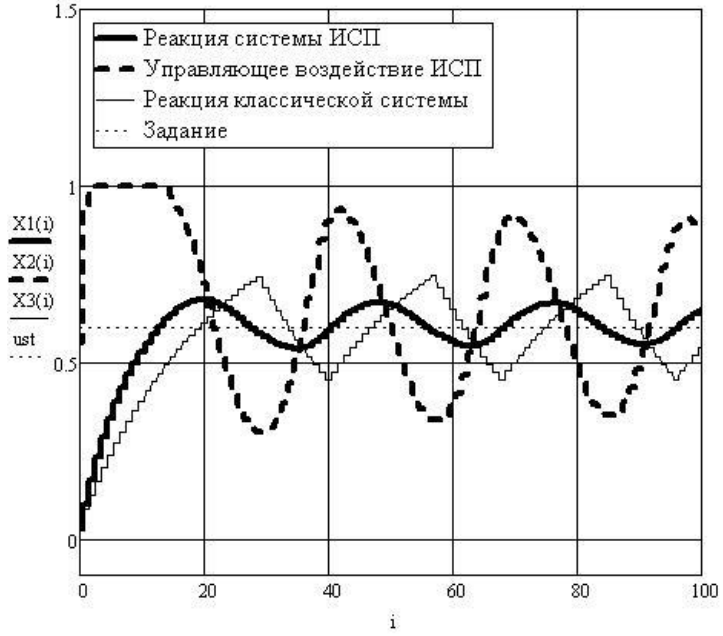


Рис. 1.7. Реакция модели на ступенчатое воздействие

1.5. Выводы. Таким образом, моделирование динамики систем автоматического управления с их последующей реализацией в виде цифровых устройств автоматики при помощи ИСП является наглядным процессом. Изначальный учет требования обработки аналоговых сигналов численными средствами позволяет исключить дополнительную стадию проектирования, заключающуюся в дискретизации разработанных аналоговых моделей.

2. Применение нечетких диаграмм поведения узлов для построения моделей и синтеза управляющих автоматов для сложных технологических объектов[2]

2.1. Актуальность. Современное состояние промышленности и технологических процессов можно описать как увеличивающее свою сложность для производства с учетом новых запросов с точки зрения качества продукции, скорости ее получения и специфических характеристик. Наряду с этим продолжают существовать сложные технологические процессы, которые на данный момент управляются исключительно человеком или не могут работать без корректировки им управляющих воздействий. Постоянная зависимость от эмоционального, психологического и физического состояния

[2] Эта часть статьи написана А.Г. Бажановым по результатам его диссертационных исследований, выполненных под руководством проф. В.З. Магергута.

оператора придает работе таких процессов возможности выхода из устойчивого состояния, формирования ошибочных или катастрофических для объекта управления воздействий и несогласованности работы аппаратов. И если для некоторых систем управления можно сформировать отдельный вектор блокировок, который не позволит развиться подобным событиям, то для большинства таких объектов блокировки будут достаточно сильно связаны с режимами работы, внутренними процессами и вычленить их оттуда практически невозможно. В качестве примеров таких объектов можно привести вращающиеся печи для «мокрого способа» производства цемента, керамзитовые печи, печи металлургической промышленности, некоторые химические реакторы и так далее. Главной проблемой при создании модели и системы управления здесь будет огромное количество связей между технологическими величинами и параметрами объекта. При этом сами связи в основном являются нелинейными и нестационарными.

На данный момент уже достаточно сильно развиты методы и подходы искусственного интеллекта, которые могут помочь в создании управляющих алгоритмов. Так работают системы управления, например, для вращающихся печей «сухого способа» производства цемента. Но здесь необходимо учитывать, что принцип такого производства существенно отличается от указанного «мокрого способа», что не дает возможности применить подобные решения для него.

2.2. Постановка цели и задач. В качестве основной цели данного раздела публикации представляется описание подходов к созданию моделей и управляющих устройств, которые позволяют решить задачу управления работой объекта и моделирования динамики процесса в нем, а также позволяют выделить на общих алгоритмах места выхода из штатного функционирования с описанием путей возврата в него.

Здесь необходимо отметить, что стратегию создания алгоритмической модели технологического объекта и синтеза управляющего устройства, которая будет описана ниже, была выдвинута Валерием Залмановичем Магергутом исходя из его большого научного и практического опыта работы, а данный описываемый подход был разработан и защищен 26 июня 2013 года в кандидатской диссертации Бажанова А.Г. [5]. Создав научную школу по управлению на основе агентных подходов на кафедре технической кибернетики в БГТУ им. В.Г. Шухова, он проверял свои гипотезы на различных технологических объектах и дал возможность своим ученикам развивать свои идеи для более широкого спектра задач и применений.

Описываемые агентные подходы подразумевают наличие некоторого агента, который позволяет путем приема входящей информации и на основе собственных представлений о протекающем процессе выдавать некоторую реакцию, которая в данной статье представляет собой управляющие воздействия или моделируемые характеристики технологического процесса. Данная публикация посвящена разработке диаграмм поведения узлов, которые и являются агентами, позволяющими перерабатывать технологическую информацию.

Совокупность взаимосвязанных диаграмм поведения образует модель работы технологического объекта или процесса на основе текущих режимов для имеющихся технологических величин. Таким образом, мы можем получить систему, решающую задачу моделирования.

В монографии [6] рассмотрена суть работы диаграмм поведения узлов четкого типа, где технологические величины, параметры объекта и их взаимосвязи являются детерминированными и выраженными четкими логическими связями, а их режимы определяются дифференциальными уравнениями. Однако для того, чтобы описать взаимодействие в таком сложном объекте, как, например, цементная печь, таких описаний и функций недостаточно, к тому же для такого объекта отсутствует возможность описать режимы работы технологической величины с использованием дифференциальных уравнений. Поэтому было решено модернизировать подход, включив нечеткие соотношения как в описания режимов каждой технологической величины, так и в логические функции [7, 8].

Опишем принципы создания нечеткой диаграммы поведения узла при таком подходе для цементной вращающейся печи «мокрого способа» производства.

2.3. Описание объекта управления. Дадим краткое пояснение, почему был выбран именно данный технологический объект. Попытки решить задачу автоматизации цементной печи «мокрого способа» предпринимались, начиная с 1960-х годов [9], однако применение традиционных методов теории автоматического управления к разработке системы управления не привели к сколько-нибудь устойчивому регулированию. Это говорит о сложности цементной печи, как объекта автоматизации, что обусловлено нестационарностью и сложностью протекающих в ней физико-химических процессов, их многостадийностью, причем стадии распределены по длине печи, большим количеством внешних возмущений, взаимным влиянием технологических величин и параметров друг на друга и другими причинами. В подтверждение этого можно отметить, что и в России, где работает порядка 45 заводов, и, например, в США, где насчитывалось к 2008 году 48 цементных печей, работающих по «мокрому способу», нет известных автоматизированных систем управления процессом обжига [10]. В то же время, по прогнозам экспертов, использование печей такого способа будет осуществляться несколько десятков лет (см. рис. 2.1 и табл. 1). Именно поэтому разработка автоматизированных систем управления такими печами является актуальной. Кроме того, печь работает полностью в ручном режиме за исключением нескольких локальных контуров регулирования, не связанных напрямую с процессом обжига. Это означает, что качество процесса определяется опытом оператора и зачастую, как показывает опыт, оставляет желать лучшего. В процессе работы по этой же причине возникают неполадки, выходы в нештатные ситуации вплоть до останова печи или перевода ее на минимальных ход, что влечет потерю больших финансовых средств на восстановление.

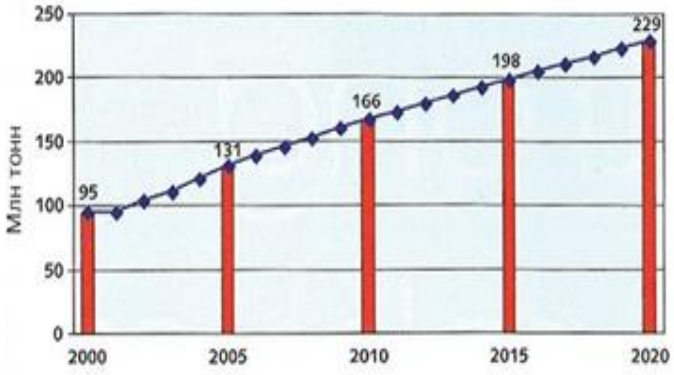


Рис. 2.1. Прогноз потребления цемента

Таблица 1 – Выпуск цемента по различным способам производства

Описание	2011	2012	2013	2014
Всего по энергосберегающим технологиям, тыс. тонн.	11741	15851	19691	26275
Всего мокрый способ, тыс. тонн.	44195	45662	46728	42149
Доля мокрого способа в общем производстве, %	79%	74%	70%	62%

Выходных технологических величин печи существенно больше управляющих воздействий, причем каналы управляющих воздействий по отношению к этим величинам характеризуются большой инерционностью и запаздыванием.

Нечеткость, которая характерна для процессов, протекающих в печи, делает нерациональным использование классических моделей статики, базирующихся на уравнениях баланса, и динамики, базирующихся на дифференциальных уравнениях. В этих случаях целесообразно перейти на алгоритмические подходы с использованием нечетких систем. Построенные на их основе модели являются полезными и дают необходимую адекватность.

Объединение двух видов подходов: создание нечетких моделей и алгоритмических диаграмм поведения узлов дает ту степень возможности построения модели, после изучения и построения которой становится возможным создание систем управления и тренажеров, учитывающих возможные ситуации, которые могут произойти на данном объекте.

Главной отличительной особенностью данного подхода является симбиоз различных областей научного знания, связанных с изучением технологии процессов, использованием для описания работы аппарата нечетких множеств и созданием моделей в виде нечетких диаграмм поведения узлов.

2.4. Предлагаемая методика. Суть методики заключается в выполнении следующих основных этапов:

1 этап – «Построение схемы внешних связей аппарата».

Любой аппарат характеризуется множеством входных и выходных технологических величин [6]. Входные – разбиваются на четыре группы:

1) управляющие технологические величины;

2) возмущающие (контролируемые и неконтролируемые);

3) постоянные;

4) управляющие технологические координаты.

Кроме того, аппарат характеризуется стационарными и нестационарными параметрами.

Между рассмотренными величинами и параметрами имеют место внутренние связи, а выходные величины являются внешними факторами для иных величин других аппаратов, а в частном случае, для своего. Управляющие технологические воздействия – величины, которыми производится управление с помощью исполнительных устройств, управляющие технологические координаты – величины, являющиеся возмущениями, которым могут подвергнуться управляющие технологические величины и которые самостоятельно при выполнении определенных условий, названных технологическими, изменяют их без задействования исполнительных устройств. Возмущающие величины являются количественной характеристикой внешних и внутренних возмущений, которым подвержен аппарат.

Схема внешних связей аппарата с учетом всех внутренних величин и связей между ними и внешними величинами образует структурную технологическую схему аппарата.

2 этап – «Декомпозиция аппарата на узлы».

Все аппараты, которые в данном случае являются объектами управления, декомпозируются на узлы.

Узел – это часть технологической структурной схемы аппарата, которая соответствует конкретной выходной технологической величине и включает все воздействующие на эту величину входные величины аппарата, направленные связи между ними с учетом всех промежуточных величин и параметров.

Таким образом, на данном этапе вычленяется нужный узел (рис. 2.2) из общей структуры объекта со всеми воздействиями и технологическими условиями. Данный этап завершается формированием технологической структуры узла (рис. 2.3).

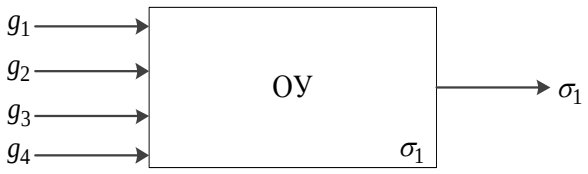


Рис. 2.2. Структура узла U_i

g_i – вектор входных управляющих технологических величин, σ_i – вектор выходных технологических величин

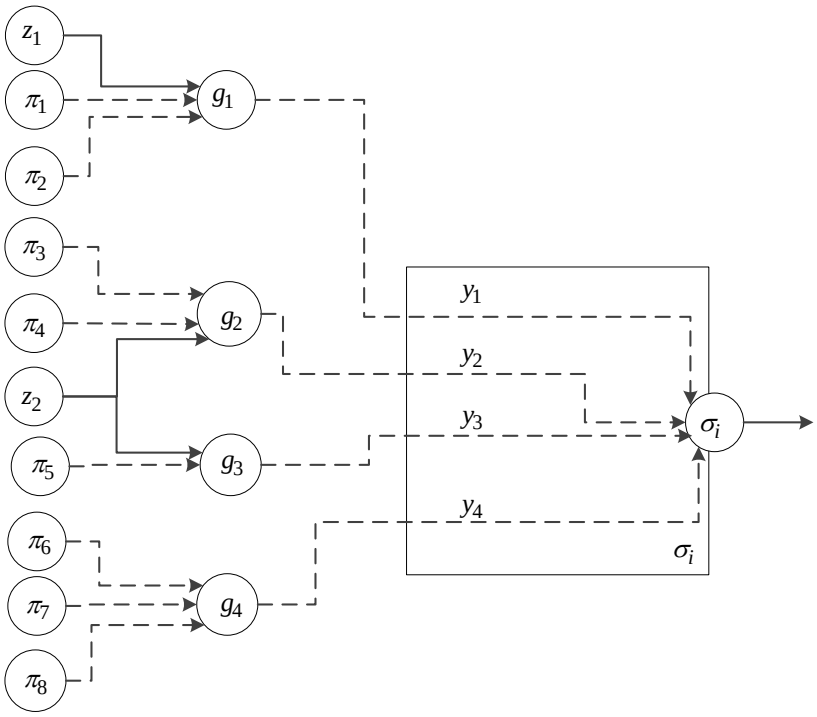


Рис. 2.3. Технологическая структура узла U_i

y_i – вектор входных возмущающих технологических величин, z_i – вектор управляющих воздействий, π_i – вектор управляющих технологических координат

Отметим, что первые два этапа ничем не отличаются от аналогичных этапов построения четких диаграмм поведения узлов.

3 этап – «Описание имеющихся технологических величин».

Каждый узел имеет входные и одну выходную величины. Для введения в модель их нужно описать математически. Детерминированный подход предполагал нахождение в изменениях выходной величины характерных точек, а затем, согласно этим точкам, составление уравнений динамики и статики для найденных интервалов из диапазона изменения выходной величины узла с нахождением их качественных решений в виде режимов. В предложенном подходе предлагается заменить эту процедуру процедурой с применением нечеткой логики. Прежде всего, на интервале изменения выходной технологической величины узла выделяются характерные стационарные области. Далее интервалы между областями и сами области описываются функциями принадлежности выходной величины узла к определенным выявленным термам. Аналогично поступаем и с входными величинами узла. На рис. 2.4 представлены примеры таких описаний.

4 этап – «Описание технологических условий (ТлУ)».

После приведения величин узла к нечетким градациям и выявления его полной структуры необходимым элементом в создании модели является описание наступления ТлУ для управляющих технологических координат. Для их описания используется скачкообразная функция с заданием булевого логического условия ее появления. Далее представлены примеры описания технологических условий.

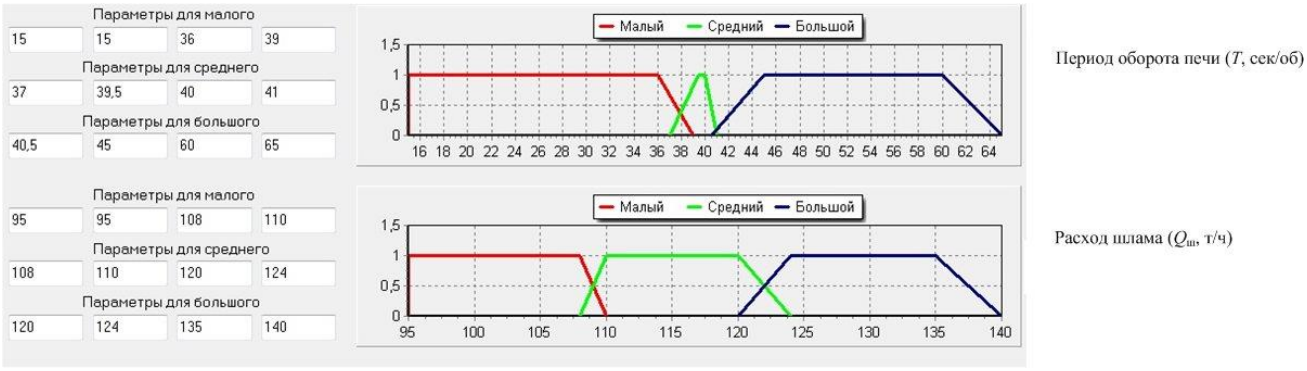


Рис. 2.4. Пример описание технологических величин на основе узла «Расход шлама»

$$\vartheta 1 = \begin{cases} 1 - \text{если привод печи исправен } (F_d), \\ 0 - \text{если иначе;} \end{cases} \quad \vartheta 2 = \begin{cases} 1 - \text{корпус в рабочих пределах } (G_{КП}), \\ 0 - \text{если иначе;} \end{cases}$$

$$\vartheta 3 = \begin{cases} 1 - \text{если есть шлам } (F_ш), \\ 0 - \text{если иначе;} \end{cases} \quad \vartheta 4 = \begin{cases} 1 - \text{если клапан открыт } (R_K), \\ 0 - \text{если иначе.} \end{cases}$$

Технологические условия, наряду со знанием физико-химических закономерностей свойств веществ и явлений, выявляются также при подробном изучении технологии и способов управления объектом, а также при опросе специалистов-экспертов.

5 этап – «Построение нечеткой диаграммы поведения».

Для перехода от нечетких градаций к описанию в виде графа поведения необходимо мнемонически описать нечеткие режимы, которыми мы обозначим вершины нечеткой диаграммы с сохранением для нее общей формы (мнемоники) четкой диаграммы поведения и изменением содержательной части вершин и дуг. Под режимами выходной технологической величины узла понимается качественный закон ее движения на заданном интервале, в том числе для стационарных областей, с учетом знака изменения производных на интервалах. Для нечетких диаграмм поведения описание режимов производится нечеткими функциями. Число учитываемых производных определяет ранг режима.

Функции принадлежности, описывающие режимы, используются следующим образом: если функция является трапециевидной – статическим вершинам будут соответствовать интервалы со стопроцентной вероятностью, динамическим – в зависимости от направления, интервалы между соседними функциями; если функция треугольная или имеет место гауссово распределение, то статической будет вершина соответствующая диапазону 95–100 % вероятности, динамической – по аналогии с предыдущим за вычетом 5 %, занятых статической позицией. При этом крайняя левая и крайняя правая функция, соответственно, рассматриваются как *S*-образная и *Z*-образная функции, которые своими левой и правой сторонами принадлежат статической позиции. Пример отношений функций принадлежности с позициями нечеткой диаграммы поведения представлена на рис. 2.5.

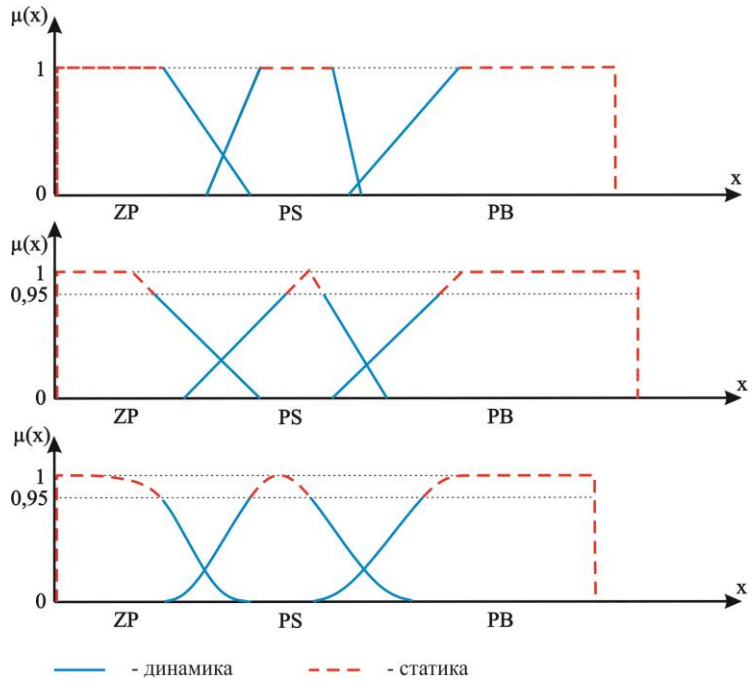


Рис. 2.5. Отношение функций принадлежности к позициям диаграммы

В динамических режимах происходят значительные изменения в контролируемом процессе, а в режимах статики (стационарных областях) – даже если изменения происходят, то они незначительны. На рис. 2.6 представлена диаграмма поведения узла второго ранга.

Режимом R_{ij} K-го ранга выходной величины σ_i называется пара (σ_{ij}, δ_i^k), определяющая закон движения σ_i на участке σ_{ij} из области изменения σ_{il} путем задания вектора K-го ранга $\delta^k = \left(S_1^1,...,S_i^k\right)$ изменения производных на этом участке, где S_i^k – характеристика производной K-го порядка величины σ_i как функции времени, принимающей три значения: $S_i^k = 0, S_i^k > 0, S_i^k < 0$.

Выделение в законе движения технологической величины режимов позволяет представить ее непрерывное во времени изменение в виде конечного набора режимов (рис. 2.7).

6 этап – «Описание пометок дуг».

На дугах записываются комбинационные и последовательностные логические функции, определяющие условия перехода от одного режима к другому. В качестве аргументов этих функций выступают управляющие воздействия (исполнительные устройства), технологические условия, внешние воздействия, определяющие поведение выходной технологической величины узла, и другое. На данном этапе производится интеграция знаний о переходах от режима к режиму, накопленных обслуживающим персоналом объекта, знаний технологов, теоретическими знаниями и исследованиями и прочее.

7 этап – «Составление разверток каждого из узлов».

Развертка узла представляет собой регламентное следование режимов (режим нормальной эксплуатации) печи для данного узла с учетом выходов в нештатные ситуации на основе (рис. 2.8). При этом для отображения работы такой развертки был выбран аппарат моделирования на основе помеченных

физических сетей Петри, которые позволяют увидеть параллельность при работе нескольких узлов, четко определить переходы по аналогии с диаграммой и выполнить анализ работы.

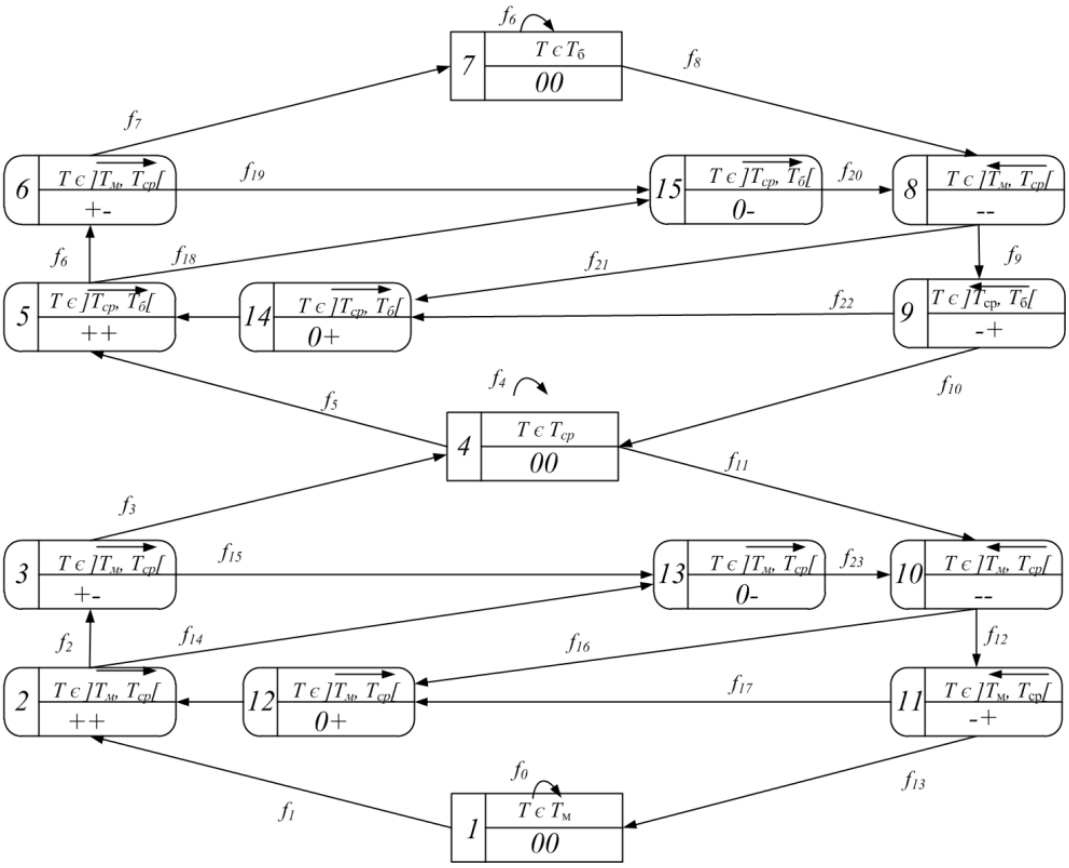


Рис. 2.6. Нечеткая диаграмма поведения узла второго ранга

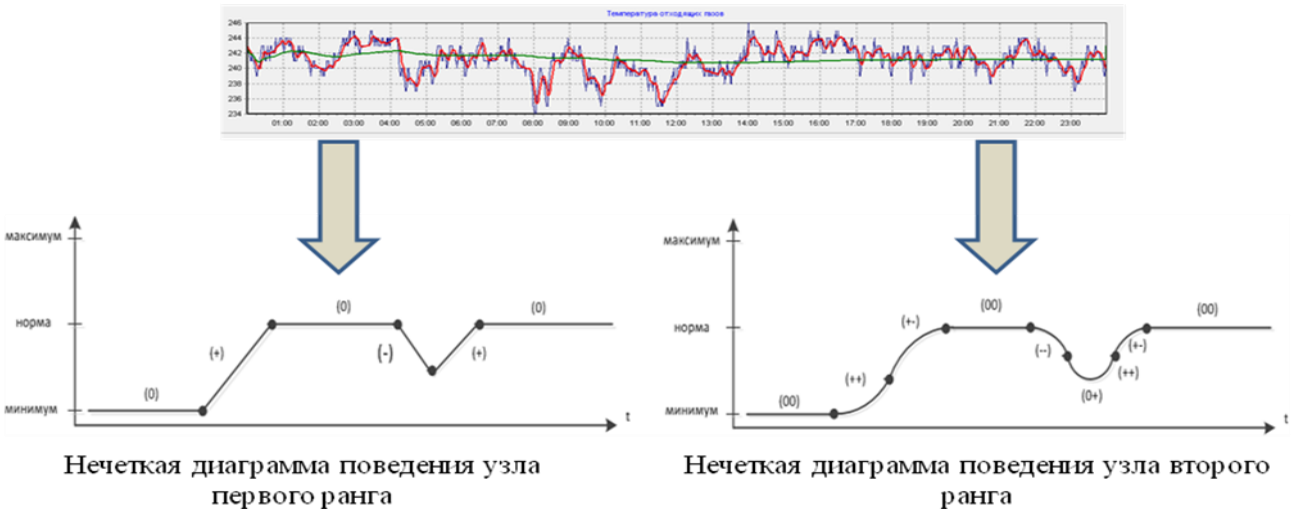


Рис. 2.7. Описание режимов технологической величины с учетом типов рангов

8 этап – «Совместное рассмотрение разверток узлов».

На данном этапе рассматривается совокупная работа узлов с выявлением их взаимодействия и нештатных и аварийных ситуаций с введением *TPT*-связей («переход-позиция-переход») между развертками узлов.

9 этап – «Программный синтез управляющего автомата».

Здесь по полученному алгоритму записываются продукционные правила, лежащие в основе советующей системы. При этом алгоритм управления отталкивается от имеющейся общей развертки технологического аппарата, так как, зная текущее расположение режимов по каждому из узлов на основе различных датчиков, мы можем выявить необходимое управление для работы в штатном режиме, а также составить необходимые блокировки для недопущения выхода в нештатные и аварийные ситуации.

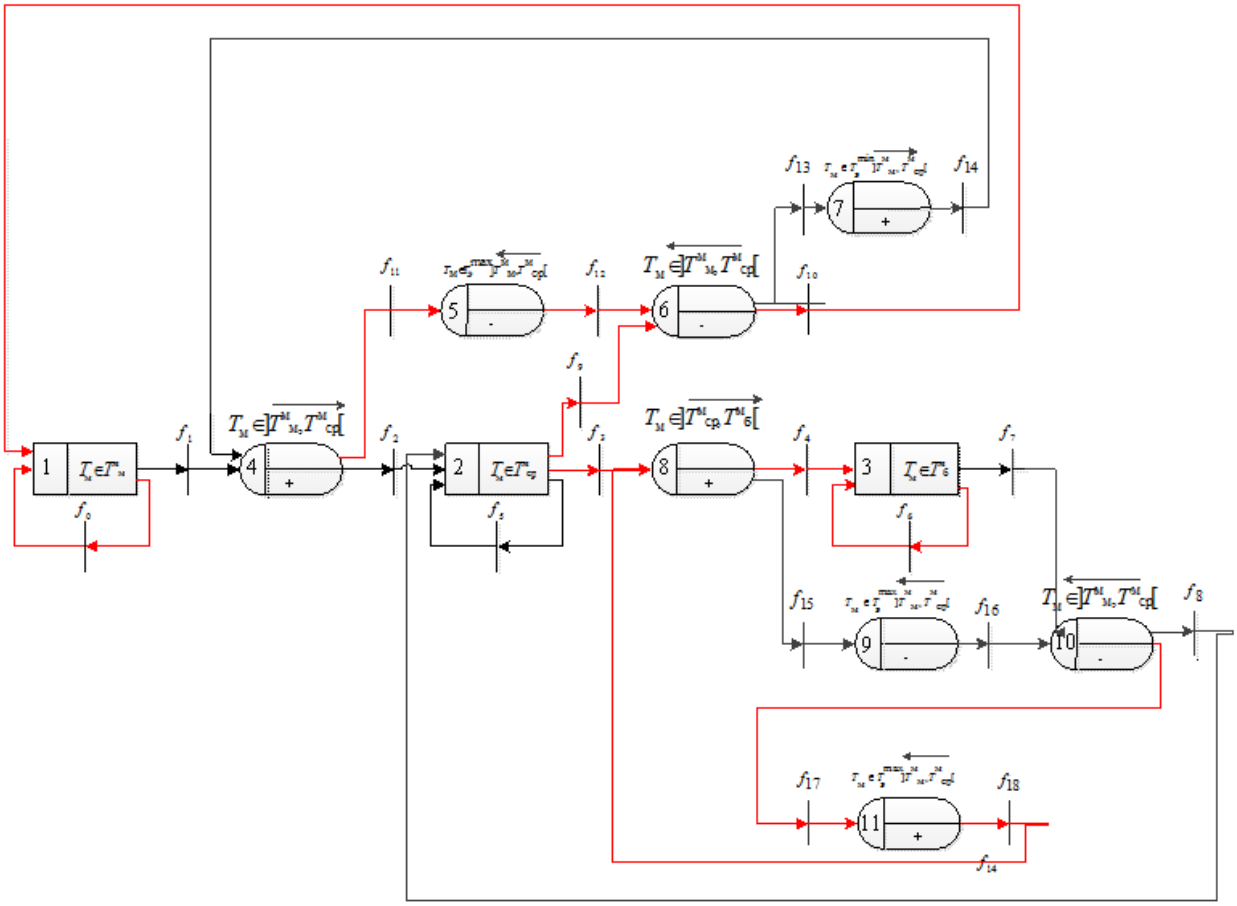


Рис. 2.8. Пример развертки узла
(красным выделены выходы в нештатную ситуацию)

2.5. Выводы. В данном разделе статьи описаны основные моменты, которые касаются разработки нечетких диаграмм поведения узлов для реализации модели объекта и последующего составления управляющего автомата для него. Однако данное направление исследований сейчас достаточно активно развивается. Так под руководством Магергута В.З. были начаты работы по интеграции в модели нейросетевых алгоритмов, которые позволяют на основе анализа промышленных баз данных для конкретного объекта выполнить идентификацию функций принадлежности по каждой из величин без участия человека, что снижает риск неверного восприятия инженером информации при автоматизации процесса.

Описаны методы, которые применялись ранее в попытках автоматизации вращающейся печи по «мокрому способу». Рассмотрены технические и программные средства, а также системы автоматизации на переделе обжига, используемые в настоящее время, в частности, на ЗАО «Осколцемент», относящиеся, как правило, к их использованию в локальных АСР, системах защиты и блокировок или информационных АСУ ТП. Сделан анализ методов интенсификации цементного производства и существующих моделей процесса обжига. Показана целесообразность перехода от классических подходов к автоматизации цементных печей, основанных на получении и исследовании дифференциальных уравнений, к алгоритмическим подходам [11, 12].

2.6. Развитие предлагаемого подхода. Еще одним направлением развития подхода нечетких диаграмм поведения является переход от классических продукционных правил к целеполагающим правилам, которые позволяют наиболее эффективно сформулировать управляющие условия и указывают на необходимое непосредственное движение по совокупности диаграмм поведения узлов объекта. Иными словами, вместо стандартных продукций вида «ЕСЛИ – ТО», Магергут В.З. предложил выполнить управление по конструкции «ЧТОБЫ – ПРИ – НУЖНО» [13]. Такая конструкция не меняет общих принципов формирования нечетких продукций, однако добавляет такие пункты как цель, описываемая в блоке «ЧТОБЫ», условия формирования правила в блоке «ПРИ» и непосредственно вывод о необходимом режиме по совокупности узлов в блоке «НУЖНО».

Показанные в данном разделе статьи подходы уже реализованы на ряде предприятий в виде программного продукта [14] для тестовой эксплуатации и сейчас проходят испытаний на реальных объектах. Такими объектами являются ЗАО «Осколцемет» (г. Ст. Оскол, Белгородская обл., Россия) и ОАО «Точик цемент» (г. Душанбе, Таджикистан).

3. Применение технического зрения в системе управления сложным технологическим объектом[3]

3.1. Актуальность. Агентоцентрическое моделирование сложных технологических систем с применением технического зрения проводилось Д.А. Юдиным под научным руководством В.З. Магергута. Диссертация по этой теме была защищена 22.05.14 [15]. В ней поднимается вопрос разработки и модернизации автоматизированной системы управления вращающейся печью с целью повышения стабильности работы печи и качества продукции, а также для улучшения условий труда операторов печей, повышения оперативности и качества принятия ими управляющих решений. Такие печи широко применяются в промышленности строительных материалов при производстве цемента, керамзита, извести, в цветной и черной металлургии.

[3] Эта часть статьи написана Д.А. Юдиным по результатам его диссертационных исследований, выполненных под руководством проф. В.З. Магергута.

Обслуживающий персонал печей, как правило, осуществляет субъективное визуальное наблюдение параметров процесса обжига в зонах спекания и охлаждения печи и использует их в дальнейшем для принятия решения по управлению печью. Например, для вращающихся печей мокрого способа производства цемента операторами используются такие параметры, как гранулометрический состав клинкера на выходе печи, температура клинкера в зоне спекания, запыленность, тип факела, общее состояние зоны спекания, которые в настоящее время не вычисляются в автоматическом режиме. Для вращающихся цементных печей мокрого способа производства существующие системы не позволяют в автоматическом режиме определять эти параметры процесса обжига, и, тем более, формировать на их основе советы по управлению печью.

Первые работы по применению систем машинного зрения для оценки параметров процесса обжига по видеоизображению появляются в зарубежной литературе в начале 1990-х годов. Проведенный анализ более 100 источников научной литературы за последние 25 лет позволил сделать вывод об отсутствии эффективных методов анализа параметров процесса обжига во вращающихся цементных печах мокрого способа производства, а также о слабой проработке вопроса применения методов технического зрения в цементной отрасли для анализа изображений внутреннего пространства печи (см. рис. 3.1). Например, в работах [16-19] исследованы подходы распознавания изображений и управления вращающейся печью глинозема, в исследовании [20] рассмотрено распознавание изображений во вращающейся печи обжига неообогащенной руды, в [21] – система управления вращающейся цементной печью сухого способа производства. Однако описанные в этих трудах решения не позволяют одновременно находить несколько важных визуальных параметров работы печи: оценки состояния зоны спекания, угла подъема, температуры и размера гранул клинкера на выходе печи, яркости факела и запыленности.

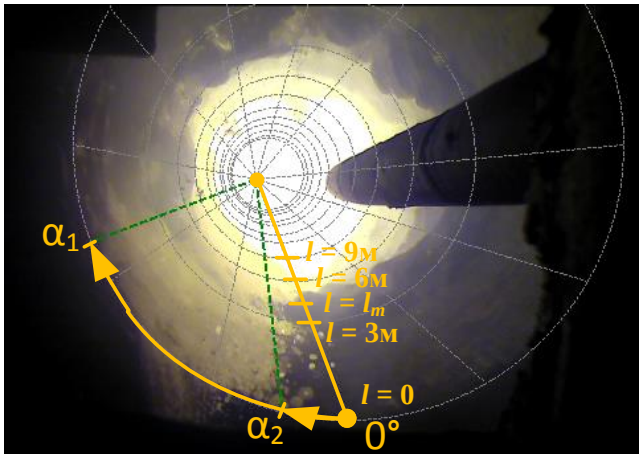


Рис. 3.1. Изображение внутреннего пространства печи обжига цементного клинкера: α_1 и α_2 – нижний и верхний угол подъема клинкера, l – расстояние до соответствующего поперечного сечения печи до «обреза» печи

В работах [5, 22] заложены основы создания интеллектуальной советующей системы управления вращающейся цементной печью мокрого способа производства цемента, структура которой содержит систему технического зрения для анализа изображений процесса обжига. Однако в них не формализовано использование найденных на изображениях процесса обжига параметров для управления печью, а также отсутствуют рекомендации по их определению.

Необходимо отметить научно-исследовательские и инженерные разработки ведущих компаний-производителей оборудования для цементной промышленности. Например, компьютерные симуляторы и тренажеры по управлению цементной вращающейся печью сухого способа производства цемента Simulex от компании KHD HumboldCement и ECS/CEMulator от компании FLSmidth. Для вращающихся печей сухого способа производства цемента разработаны интегрированные системы управления немецкой компании Siemens [23], датской компании FLSmidth [24]. Швейцарская компания ABB [25] разработала интегрированную систему управления вращающимися печами Expert Optimizer, которая объединяет базовую систему правил управления с современными математическими методами нейронных сетей и нечеткого управления, а также с моделями управления с упреждением. Данные системы позволяют использовать информацию, получаемую от системы технического зрения, для мониторинга и управления печью, однако они не предназначены для вращающихся печей мокрого способа производства цемента, для которых комплексные интеллектуальные решения по автоматизированному визуальному распознаванию состояния процесса обжига практически отсутствуют.

Для автоматизации сбора визуальной информации о процессе обжига во вращающихся печах могут применяться системы промышленного телевидения российской компании ООО «Телесен» [26], которые, однако, не позволяют автоматически оценивать процесс обжига. Оценку температурного поля внутри цементной печи и прогноз содержания свободной извести в клинкере на основе изображений от специальной инфракрасной камеры обеспечивает система технического зрения компании DURAG [27], имеющая возможность интеграции с системой Expert Optimizer. Однако данная система не имеет возможности оценки ключевых параметров процесса обжига во вращающейся цементной печи, таких как грануляция, высота подъема материала в печи и оценка состояния зоны спекания, кроме того не на всех цементных производствах технология производства цемента предполагает наличие в клинкере свободной извести. Эти факты, а также высокая стоимость и сильные погрешности измерения температур из-за пыли, требуют создания более надежных и дешевых систем.

3.2. Структура системы управления вращающейся печью с техническим зрением. С учетом недостатков существующих систем для решения задачи мониторинга и управления вращающейся цементной печью по мокрому способу Д.А. Юдин и В.З. Магергут разработали систему управления,

основанную на трех взаимодействующих агентах: агенте технического зрения, агенте нечеткого вывода и агенте-операторе (см. рис. 3.2).

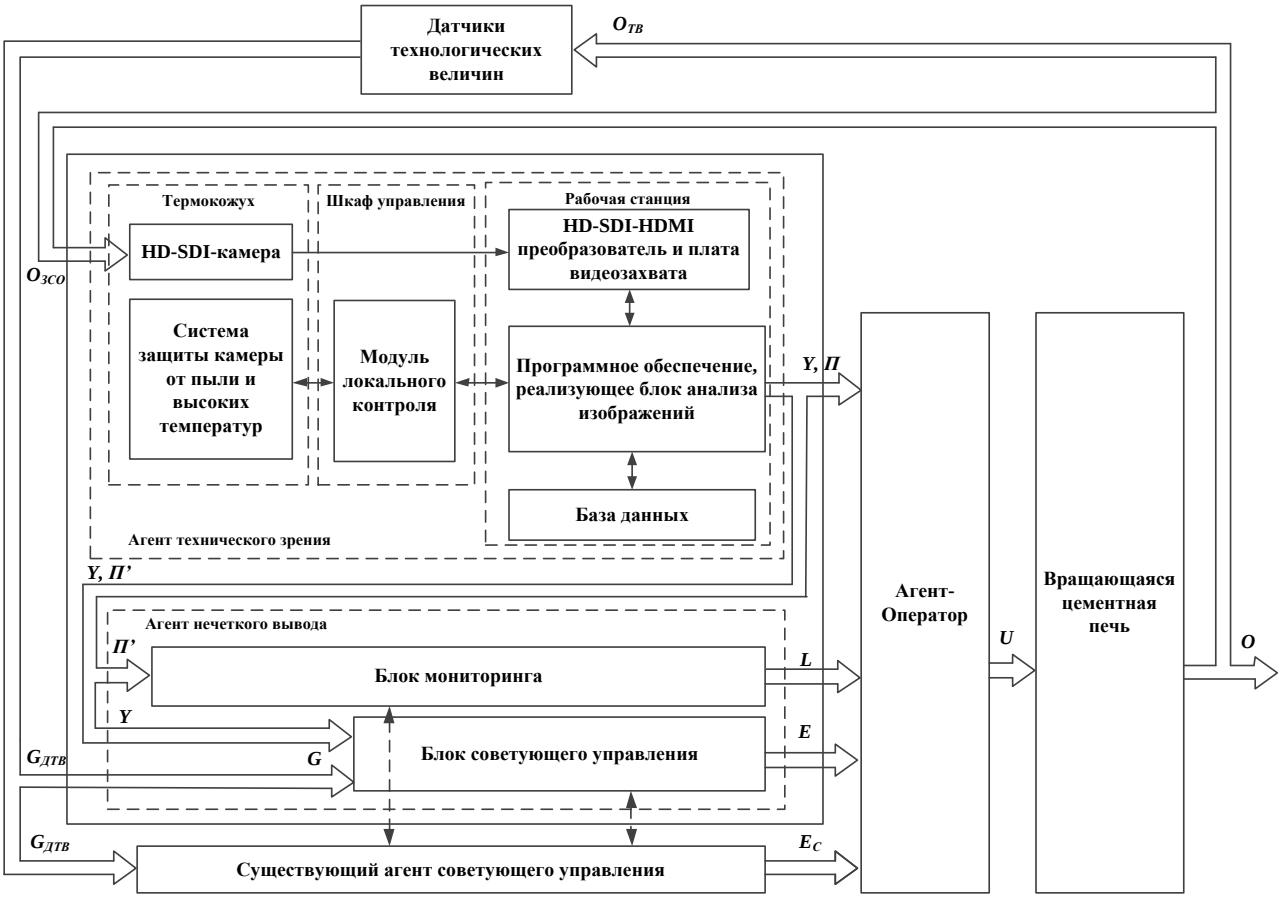


Рис. 3.2. Структура системы управления вращающимися печами с техническим зрением, основанной на трех агентах

На вход агента технического зрения поступает визуальная информация о состоянии зоны спекания и охлаждения печи $O_{ЗСО}$, которая преобразовывается HD-SDI-видеокамерой в последовательность изображений. На выходе агент технического зрения вырабатывает вектор 12 информативных признаков изображения $\boldsymbol{П}$ и оценку состояния зоны спекания вращающейся печи Y. Аппаратный комплекс этого агента состоит из 3-х основных элементов: термокожуха, шкафа управления и рабочей станции и позволяет защищать видеокамеру от высоких температур (до 300 °С) и пыли. Программное обеспечение подсистемы технического зрения реализует метод оценки параметров процесса обжига на основе анализа изображений, описанный в [15].

Разработанный агент нечеткого вывода включает в себя блок мониторинга, осуществляющий преобразование численных значений информативных признаков $\boldsymbol{П'}=[П^{(1)}, П^{(3)}, П^{(6)}, П^{(7)}, П^{(10)}]$ в качественные значения пяти оценок процесса обжига $\boldsymbol{L}=[L_1, L_2, L_3, L_4, L_5]$: угла подъема клинкера L_1; температуры клинкера L_2; размера гранул клинкера L_3; яркости факела L_4; запыленности L_5; а также блок советующего управления, построенный на основе базы из 72 правил. Входным вектором блока советующего управления является вектор $\boldsymbol{G}$, который содержит три

составляющие: оценку состояния зоны спекания вращающейся печи Y, полученную агентом технического зрения, а также составляющие вектора $\boldsymbol{G_{ДТВ}}$ – период одного оборота печи $T_{об}$, и относительное изменение температуры отходящих газов $D_{Tог}$. Выходным вектором блока мониторинга является вектор $\boldsymbol{E}$, имеющий шесть составляющих – советов по управлению печью – относительное изменение расхода топлива $D_{Qт}$, изменение режима вращения печи $D_{Tоб}$, расход подаваемого в печь шлама $Q_{Ш}$, изменение величины открытия шибера вентилятора общего дутья $\Delta Z_{од}$, изменение разрежения отходящих газов в пылеосадительной камере $\Delta P_{пк}$, режим подачи управляющего воздействия (расхода топлива и расхода шлама) M_C [15].

Разработанный агент нечеткого вывода дополняет существующий агент советующего управления для вращающейся печи [5], принимающий на вход информацию от датчиков технологических величин $\boldsymbol{G_{ДТВ}}$ и дающий на выходе советы по управлению вращающейся печью $\boldsymbol{E}_{\mathrm{C}}$. Дополнение осуществляется как в плане новых используемых входных и выходных переменных, так и в плане базы продукционных правил, основанной на полученной оценке состояния зоны спекания вращающейся печи.

Вектор информативных признаков $\boldsymbol{П}$, оценка состояния зоны спекания печи Y, формируемые агентом технического зрения, вектор оценок параметров процесса обжига $\boldsymbol{L}$ и вектор советов по управлению печью $\boldsymbol{E}$, вычисляемые в разработанном агенте нечеткого вывода, поступают агенту-оператору вращающейся печи, который задает управляющие воздействия (вектор $\boldsymbol{U}$) на вращающуюся цементную печь, имеющей вектор состояния $\boldsymbol{O}$.

Рассмотрим подробнее механизмы функционирования указанных агентов.

3.3. Агент технического зрения. В опубликованных авторами работах [15, 28-30] предложен метод качественной оценки состояния зоны спекания вращающейся печи Y, которая имеет 6 значений, соответствующих категориям: «сильно ослаблена (брак)» (Y=0), «ослаблена» (Y=1), «несколько ослаблена» (Y=2), «в норме» (Y=3), «немного перегрета» (Y=4), «сильно перегрета» (Y=5). Для оценки этих состояний зоны спекания применен метод экстремального обучения нейронной сети [30], который позволяет по вычисленному вектору информативных признаков $\boldsymbol{П}$ с точностью 96,7±1,9% на обучающей и 94,1±9,9% на тестовой выборках найти оценку состояния зоны спекания во вращающейся печи (см. рис. 3.3).

Предложенный классификатор, построенный на основе метода экстремального обучения [30] показал свое преимущество перед другими классификаторами: радиально-базисной нейронной сетью, методом опорных векторов, трехслойной нейронной сетью с одним скрытым слоем, обучаемой методом обратного распространения ошибки. Обучение классификатора производилось на основе выборки из 50 изображений, тестирование на основе 3-х выборок по 17 изображений. Вектор информативных признаков $\boldsymbol{П}$ вычислялся на основе распознавания изображения процесса обжига, для чего был разработан алгоритм сегментации изображения методом SOM с классификацией по эталону (для нахождения сегментов «факел», «материал»,

«футеровка», «корпус и горелка печи») [29] и предложен подход к построению на изображении процесса обжига вспомогательной сетки, которая показывает поперечные сечения по длине печи.

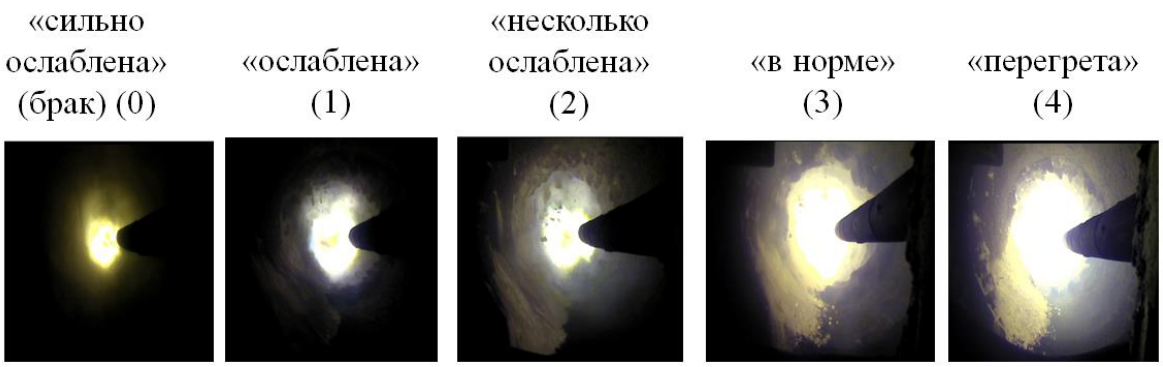


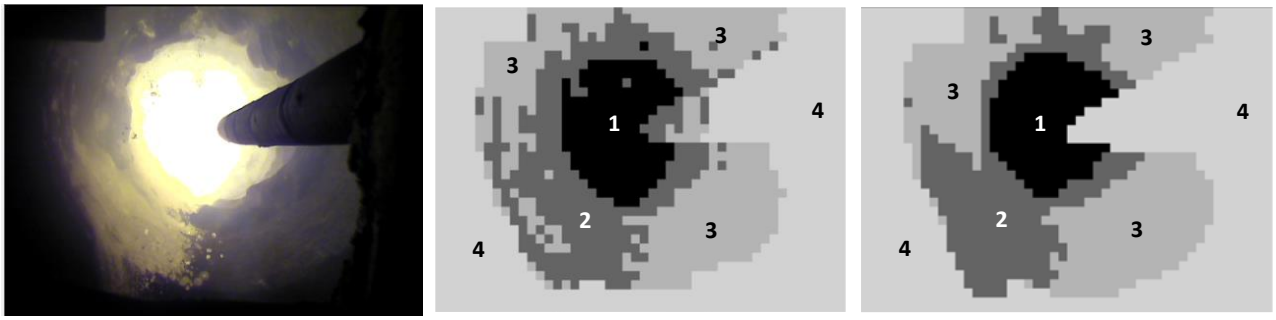
Рис. 3.3. Результат оценки состояния зоны спекания вращающейся цементной печи по изображениям процесса обжига

Изображение, получаемое с видеокамеры, является цветным и имеет размер 1920×1080 пикселей. Для дальнейшей обработки используется его информативная часть, представленная в оттенках серого с помощью цветовой модели YUV и имеющая размер 1200×900 пикселей, которая масштабируется с помощью операции усреднения яркости до размера 480×340 и разбивается на области размером 10×10 пикселей, что обеспечивает достаточное быстродействие при приемлемом качестве работы алгоритмов сегментации и классификации изображения процесса обжига, где не так значимы мелкие детали.

Алгоритм сегментации изображения процесса обжига позволяет со средней точностью 73±7,12% находить 4 типа областей: факел, материал, футеровка, горелка и корпус печи. Он построен на основе самоорганизующихся карт (SOM – Self-Organizing Map) Кохонена с классификацией по эталону и включает в себя предварительную оптимизацию набора текстурных характеристик с помощью генетического алгоритма [31]. При этом вычисленная матрица текстурных характеристик (автокорреляция, однородность, интенсивность, вариация) поступает на вход самоорганизующейся карты Кохонена, содержащей 64 нейрона. Пример сегментации изображения процесса обжига с помощью предлагаемого метода, приведена на рис. 3.4.

Агент технического зрения на найденных сегментах вычисляет вектор информативных признаков, который имеет двенадцать составляющих $\boldsymbol{П} = [П^{(1)}, П^{(2)}, ..., П^{(12)}]$: углы верхней и нижней границы сегмента «материал»; средняя, минимальная и максимальная яркости пикселей в области материала в печи, косвенно характеризующие качественное значение его температуры; признак размера гранул клинкера; среднеквадратическое отклонение яркости пикселей всего изображения от средней яркости; эквивалентный диаметр сегмента «факел», средняя яркость всего изображения, величины

среднеквадратического отклонения гистограммы яркости пикселей сегментов факела, материала и футеровки от среднего значения.



а) б) в)

Рис. 3.4. Результат сегментации изображения процесса обжига методом SOM с классификацией по эталону: а) исходное изображение, б) сегментация (1 – факел, 2 – материал, 3 – футеровка, 4 –корпус и горелка), в) эталон.

Время работы метода (около 360 мс) удовлетворяет требованию по распознаванию изображений процесса обжига в зонах спекания и охлаждения вращающейся цементной печи в режиме реального времени с выделением оценки состояния зоны спекания и информативных признаков на изображении.

3.4. Агент нечеткого вывода. Нечеткие термы информативных признаков блока мониторинга агента нечеткого вывода найдены методом построения функций принадлежности лингвистических термов на основании статистических данных (рис. 3.5), при этом использовалось 101 изображение процесса обжига.

При заданных значениях вектора информативных признаков $\boldsymbol{П'} = [П^{(1)}, П^{(3)}, П^{(6)}, П^{(7)}, П^{(10)}]$, для каждого из этих признаков вычисляются значения функций принадлежности нечетких термов L_{ij}, $i = 1, 2, \ldots, 5$. Среди них находится терм L_{ij} с наибольшей величиной функции принадлежности, соответствующее ему значение L_i и будет являться качественной оценкой i-го параметра процесса обжига.

Например, если для исследуемого изображения процесса обжига признак $П^{(1)}$ (угол верхней границы сегмента «материал» α_1) принял значение 74,625 градуса, то значения функций принадлежности оценки угла подъема составляют: $L_{13} = 0{,}91$ – для терма «норма», $L_{14} = 0{,}20$ – для терма «больше нормы», $L_{12} = 0{,}04$ – для терма «меньше нормы» и $L_{11} = 0$ – для терма «существенно меньше нормы» (для рассмотренного примера суммы значений всех функций принадлежности не равны единице, это вызвано особенностями рассмотренного набора экспериментальных данных). Таким образом, значение качественной оценки параметра «Угол подъема клинкера» будет составлять $L_1 = 2$ («норма»).

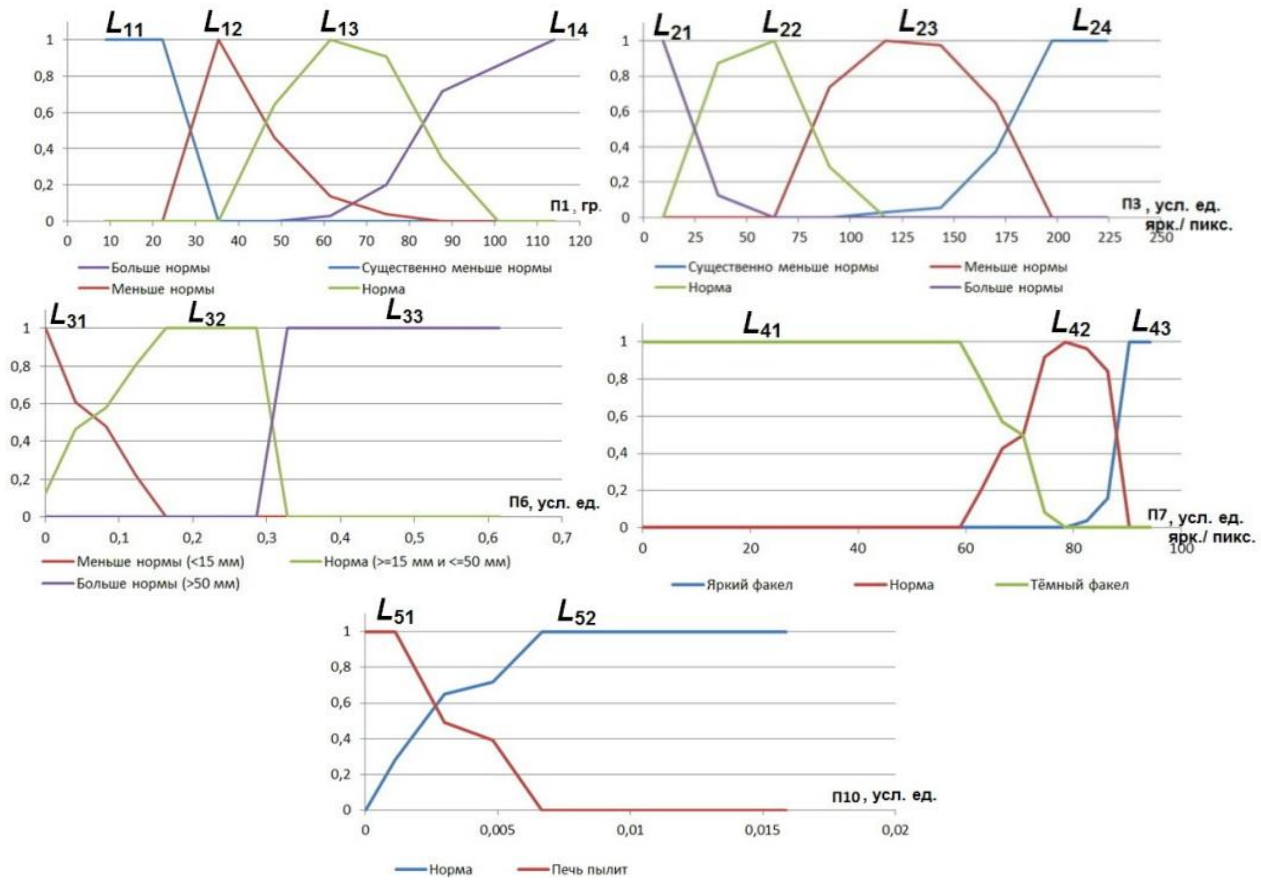


Рис. 3.5. Полученные функции принадлежности информативных признаков изображения

На основании трудов по теоретическим основам и практическим приложениям нечеткой логики В.И. Гостева, М.И. Дли, В.В. Круглова, А.В. Леоненкова, С.Д. Штовба, Л. Заде, А Пегата и др., а также формализации опыта операторов вращающихся печей ЗАО «Осколцемент» (г. Старый Оскол) разработан нечеткий блок советующего управления, содержащий базу правил, построенную на основе оценки состояния зоны спекания [32]. Он реализует управление вращающейся цементной печью мокрого способа производства, выведенной на регламентный (нормальный) режим работы.

При этом рассмотрены отклонения от нормы трех входных лингвистических переменных, образующих входной вектор $\boldsymbol{G} = [Y, T_{об}, D_{Tог}]$: оценки состояния зоны спекания Y (усл. ед.), полученной агентом технического зрения, периода одного оборота печи $T_{об}$ (с/об), относительного изменения температуры отходящих газов $D_{Tог}$ (%).

Выходные лингвистические переменные блока советующего управления записываются в виде вектора $\boldsymbol{E} = [D_{Qm}, D_{Tоб}, Q_{Ш}, D_{Zод}, D_{Pпк}, M_C]$, элементы которого представляют собой советы агенту-оператору по управлению печью: D_{Qm} – относительное изменение расхода топлива (%); $D_{Tоб}$ – изменение режима вращения печи (усл. ед.); $Q_{Ш}$ – расход подаваемого в печь шлама (сырья) ($м^3$/час); $\Delta Z_{од}$ – изменение величины открытия шибера вентилятора общего дутья (%); $\Delta P_{пк}$ – изменение разрежения отходящих газов в пылеосадительной камере (мм. вод. ст.), M_C – режим подачи (ступенчатый или импульсный)

управляющего воздействия (изменения расхода топлива и расхода шлама) (усл. ед.).

В качестве метода нечеткого вывода при работе с базой правил советующего управления применен алгоритм нечеткого вывода Мамдани, вид функций принадлежности нечетких лингвистических переменных принят в виде трапеций (в частном случае, треугольников). Такой выбор эффективен с точки зрения простоты и быстродействия при работе в составе системы автоматизированной советующей системы управления, функционирующей в реальном времени.

Для базы советующего управления совместно с операторами печей ЗАО «Осколцемент» составлены 72 продукционных правила управления печью с применением оценки состояния зоны спекания.

База правил представляет собой множество правил нечетких продукций, каждое i-е правило ($i = 1, 2,\ldots, 72$) в общем виде выражено следующим образом:

ЕСЛИ $G_1 = a_{1i}$ И $G_2 = a_{2i}$ И … И $G_m = a_{mi}$,
ТО $E_1 = d_{1i}$ И $E_2 = d_{2i}$» И … И $E_l = d_{li}$.

Здесь $m = 3$ – количество подусловий в правиле, $l = 6$ – количество заключений, a_{ji} – терм j-й входной нечеткой переменной для i-го правила, d_{ji} – терм j-й выходной нечеткой переменной для i-го правила. Все правила объединены операциями логического «ИЛИ» с единичными весовыми коэффициентами.

Приведем пример одного из правил советующего управления:

ЕСЛИ Y=NB И $T_{об}$=Z И $D_{Tог}$=Z,
ТО D_{Qm}= NM И $D_{Tоб}$=PB И $Q_{Ш}$=NB И $\Delta Z_{од}$=NB И $\Delta P_{пк}$=NB И M_C=Z.

Оно может быть интерпретировано на естественном языке следующим образом: Если оценка состояния зоны спекания Y – «сильно ослаблена (брак)» (NB – Negative Big) и период одного оборота печи $T_{об}$ – «норма (полный ход)» (Z – Zero) и относительное изменение температуры отходящих газов $D_{Tог}$ – «нет изменений (норма)» (Z), то относительное изменение расхода топлива D_{Qm} – «сильное уменьшение» (NM – Negative Medium) и изменение режима вращения печи $D_{Tоб}$ – «установить период оборота печи намного больше нормы (тихий ход)» (PB–Positive Big) и расход шлама $Q_{Ш}$ – «установить намного меньше нормы» (NB) и изменение величины открытия шибера вентилятора общего дутья $\Delta Z_{од}$ – «сильное уменьшение» (NB) и изменение разрежения отходящих газов в пылеосадительной камере $\Delta P_{пк}$ – «сильное уменьшение» (NB) и режим подачи управляющего воздействия (расхода топлива и шлама) M_C – «ступенчатое» (Z).

3.5. Программно-аппаратная реализация системы. Описанную структуру многоагентной системы управления реализует разработанный программно-аппаратный комплекс, основные компоненты которого показаны на рис. 3.6.

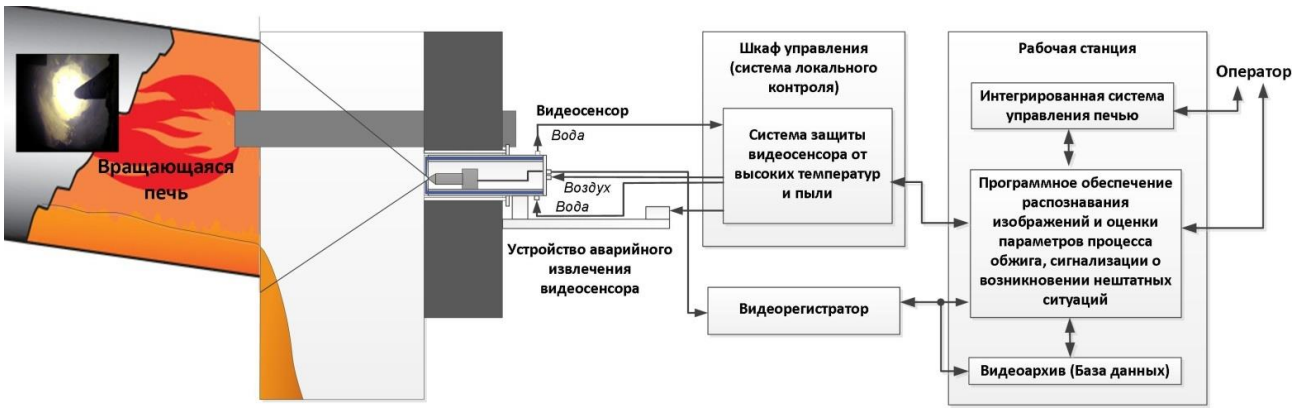
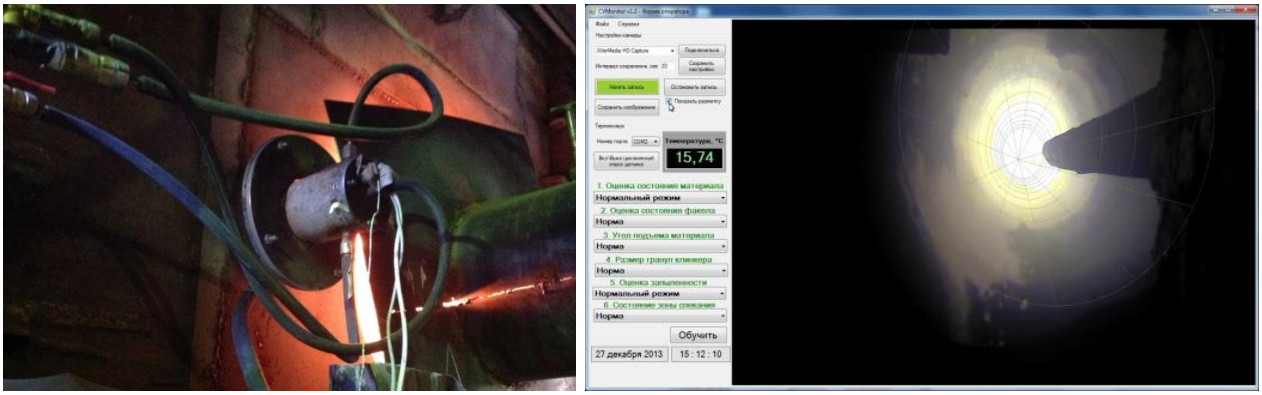


Рис. 3.6. Программно-аппаратный комплекс, реализующий структуру многоагентной системы управления вращающейся печью с техническим зрением

Анализ работы аппаратного комплекса (рис. 3.7а) показал эффективность его применения в промышленных условиях: при температуре в месте установки свыше +300 °С и высокой запыленности. Температура видеокамеры в процессе работы кожуха не превышает +20 °С; обеспечен захват изображения процесса обжига высокого качества с разрешением 1920×1080 с частотой кадров 1/25 с.

Разработан программный комплекс, реализующий функциональность агента технического зрения (программы для ЭВМ №2013618121 и №2012617408). С применением локальной базы данных осуществлена программная реализация модуля оператора (рис. 3.7б), модуля настройки алгоритма распознавания изображений, модуля работы с архивом, модуля настроек программы.



а) б)

Рис. 3.7. Программно-аппаратный комплекс системы мониторинга и оперативного управления вращающимися печами на основе технического зрения: а) термокожух с жидкостным и воздушным охлаждением для защиты видеокамеры; б) экранная форма модуля оператора

Результаты испытаний программно-аппаратного комплекса автоматизированной системы на вращающейся печи № 1 ЗАО «Осколцемент» показали его пригодность для работы в реальном масштабе времени.

Применение разработанной трехагентной системы устраняет необходимость для оператора осуществлять непосредственное визуальное наблюдение за процессом обжига в печи во вредных для организма человека

условиях окружающей среды, что улучшает условия труда, снижает нагрузку на оператора, повышает оперативность принятия управляющих решений в среднем на 12% [15], повышает качество принятия оператором управляющих решений.

3.6. Выводы. Найденные оценки параметров процесса обжига и структура автоматизированной многоагентной системы управления с применением технического зрения могут быть применены в системах управления вращающимися печами в различных отраслях промышленности: при производстве керамзита, извести, в цветной металлургии и др., в том числе, существующих.

Предложенная база правил советующего управления затрагивает применение только трех параметров работы печи для принятия управляющего решения: оценки состояния зоны спекания Y, получаемой на основе анализа изображений процесса обжига, периода одного оборота печи $T_{об}$ и относительного изменения температуры отходящих газов $D_{Tог}$. С одной стороны, она охватывает лишь часть режимов работы печи и требует расширения и дополнения, а с другой стороны, разработанная база правил сама по себе может быть встроена в систему советующего управления всей печью.

4. Формализация и анализ дискретных организационно-технологических систем со структурированными агентами на индикаторных сетях[4]

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук с такой темой [33] была подготовлена аспирантом кафедры технической кибернетики Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова – А.В. Чуевым, под научным руководством В.З. Магергута, и защищена 8 июня 2016 года, уже после ухода из жизни Валерия Залмановича. В данном разделе статьи представлены основные результаты этого диссертационного исследования.

4.1. Актуальность. В настоящее время при автоматизации технологических процессов и управлении организационными системами достаточно часто стали применяться дискретные технологии. С одной стороны, это связано с развитием компьютерной техники, а с другой – со сложностями или, в некоторых случаях, невозможностью использования аналоговых технологий. Одним из перспективных направлений создания дискретных организационно-технологических систем (ОТС), в том числе их устройств управления, являются интеллектуальные системы, в которых широко применяются сетевые технологии. Перспективным является создание дискретных ОТС на основе сетей, образующих структурированные интеллектуальные агенты. Однако при создании «агентоцентрических» систем

[4] Эта часть статьи написана А.В. Чуевым по результатам его диссертационных исследований, выполненных под руководством проф. В.З. Магергута.

возникает ряд трудностей, связанных с формированием структуры и поведения агентов. Поэтому многие работы по подобной тематике имеют в основном описательный характер. Следовательно, развитие формализованных технологий построения и анализа агентоцентрических ОТС на основе моделей, базирующихся на сетях разного типа, является актуальной задачей с точки зрения практического применения идей агентного моделирования. Такие технологии позволяют создать более качественные системы, ориентированные на учет конкретных особенностей создаваемого проекта.

Таким образом, технологии, основанные на интеллектуальных агентах и сетях, являются формальным аппаратом построения и анализа дискретных ОТС различного назначения, в том числе технических и технологических, административных и социальных, систем массового обслуживания и др. Такие модели могут быть использованы при автоматизации технологических процессов в части их моделирования и построения устройств управления, а также для анализа систем массового обслуживания в части рационализации прохождения агентов-заявок через систему и распределения нагрузки между агентами обеспечения. В связи с этим актуальна задача развития аппарата агентоцентрических систем и построения на его основе новых методов формализации дискретных ОТС.

Поскольку вопросы агентного моделирования относятся к области искусственного интеллекта (ИИ), сделаем небольшой обзор по этой тематике. Вклад в становление ИИ внесли многие из отечественных и зарубежных ученых: М.М. Бонгард, М.А. Гаврилов, Д.А. Поспелов, М.Л. Цетлин, У. Мак-Каллок, Дж. Маккарти, М. Минский, Ф. Розенблатт, А. Тьюринг и др. Исследованиями в области многоагентных систем (МАС) – одного из направлений ИИ, занимались В.Н. Бурков, Ю.А. Ивашкин, В.Л. Конюх, Д.А. Новиков, В.Б. Тарасов А.К. Тугенгольд, С.А. Юдицкий, Е.И. Юревич, К. Сикара, И. Шоэм и др.

В основу работы помимо агентного подхода положено использование и сетевых технологий. Одним из сетевых инструментариев для моделирования дискретных процессов является аппарат сетей Петри и его модификаций. Большой вклад в развитие сетей Петри внесли О.Л. Бандман, В.Е. Котов, С.А. Юдицкий, Дж. Денис, К. Петри, Дж. Питерсон, Д. Табак, М. Хэк, А. Хольт и др.

Приведем наиболее общее определение агента. **Агентом** является все, что может рассматриваться как воспринимающее свою среду с помощью датчиков и воздействующее на эту среду с помощью исполнительных механизмов (рис. 4.1) [34].

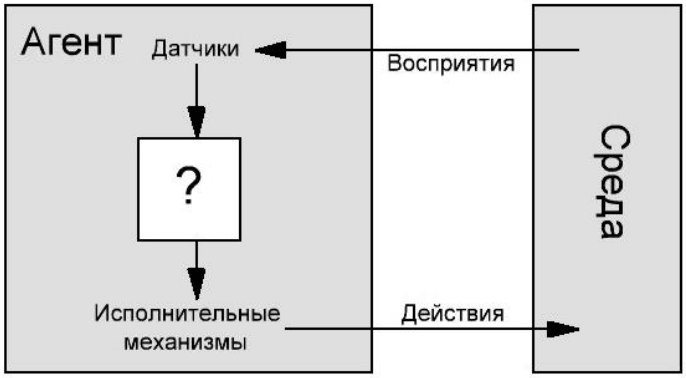


Рис. 4.1. Структура взаимодействия агента со средой

4.2. Моделирование систем на основе индикаторных сетей. Сочетание приведенных подходов, как будет показано далее, использовано автором при моделировании систем и процессов различной природы.

Итак, рассмотрим понятие индикаторной сети. *Индикаторная сеть* [35] – это набор $IS=<G, F, \beta, \pi_1, \pi_2>$, где G – двудольный граф, $F=\{F_i, i=1, \ldots, e\}$ – множество индикаторных выражений, $\beta: T \to F$ – функция, задающая пометку переходов графа дополнительными условиями, заданными экспертом, π_1: $P \times T \to N$, π_2: $T \times P \to N$ – функции «взвешивания» числами натурального ряда соответственно входных и выходных дуг переходов, $N=\{2, 3, \ldots, n\}$. Если дуга графа не помечена, то по-умолчанию ее вес равен 1; если не помечен переход, то дополнительное условие для него отсутствует.

Динамика индикаторной сети отображается *лентой поведения*, которая строится с учетом ограничений на порядок срабатывания переходов двудольного графа (например, в момент времени τ может сработать не более одного перехода, и для любого перехода известно подмножество переходов, которые могут сработать в следующий момент $\tau+1$).

Индикаторной сетью можно промоделировать любую дискретную систему, а также представить типовые фрагменты ряда известных расширений сетей Петри [35].

Под бинарной индикаторной сетью (БИС) и бинарным структурированным агентом будем понимать совокупность двух взаимодействующих индикаторных сетей – подагентов (PA), именуемых графом целей и графом действий:

$$BIS = \{PA_u, PA_\partial\}.$$

Пример графового описания БИС дан на рис. 4.2 (сверху – граф целей, снизу – граф действий). Срабатывание перехода q_i на графе целей, а также t_j на графе действий зависит от количества маркеров в его входных позициях, весов его входных дуг, а также дополнительных условий, помечающих переход: внешних условий v_k, оценок состояния системы s_n, ресурсов r_m, воздействий на среду w_p.

Графовую форму представления можно преобразовать в алгебраическое описание БИС в виде набора индикаторных выражений, моделирующих переходы (алгебраическое описание эффективно для внутреннего представления в компьютере сложных БИС).

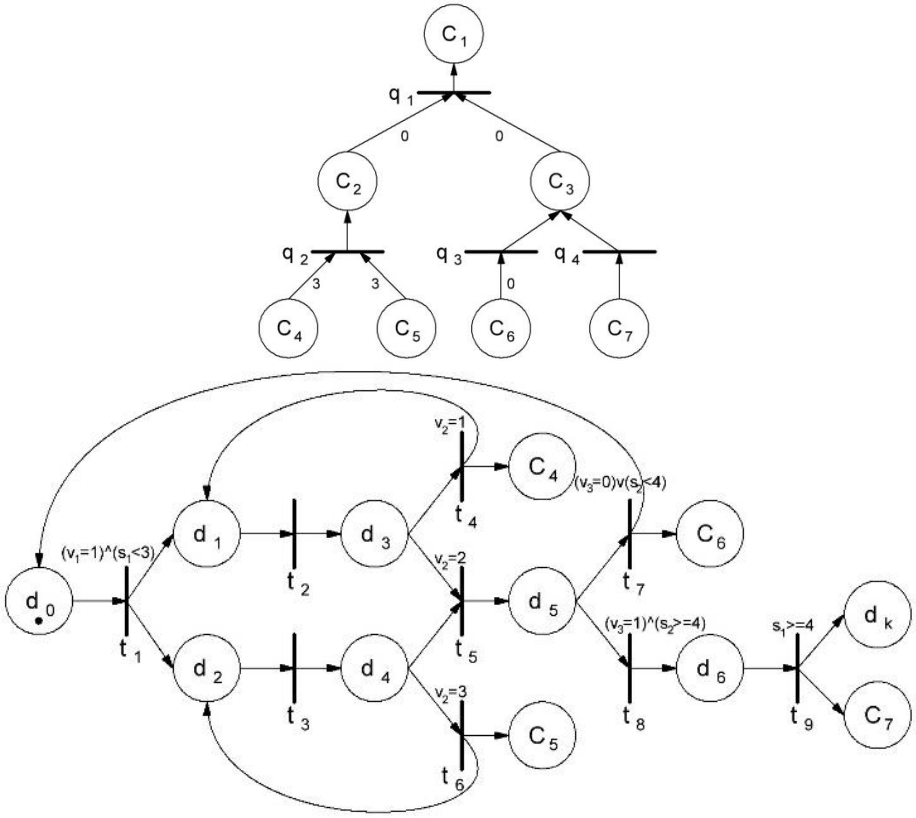


Рис. 4.2. Пример бинарной индикаторной сети

Приведем набор индикаторных выражений для БИС, представленной на рис. 4.2.

Для графа целей:

$F(q_1)$: $(C_2(\tau)=1)\wedge(C_3(\tau)=1)\rightarrow(C_1(\tau+1)=C_1(\tau)+1)$;

$F(q_2)$: $(C_4(\tau)=3)\wedge(C_5(\tau)=3)\rightarrow(C_4(\tau+1)=0)\wedge(C_5(\tau+1)=0)\wedge(C_2(\tau+1)=1)$;

$F(q_3)$: $(C_6(\tau)=1)\rightarrow(C_3(\tau+1)=C_3(\tau)+1)$;

$F(q_4)$: $(C_7(\tau)=1)\rightarrow(C_3(\tau+1)=C_3(\tau)+1)\wedge(C_7(\tau+1)=0)$.

Для графа действий:

$F(t_1)$: $(v_1(\tau)=1)\wedge(s_1(\tau)<3)\wedge(r_1(\tau)\geq 4)\wedge(r_2(\tau)\geq 4)\wedge(d_0(\tau)=1)\rightarrow(d_0(\tau+1)=0)\wedge$
$\wedge(d_1(\tau+1)=1)\wedge(d_2(\tau+1)=1)\wedge(r_1(\tau+1)=r_1(\tau)-0,2)\wedge(r_2(\tau+1)=r_2(\tau)-0,2)$;

$F(t_2)$: $(r_3(\tau)\geq 4)\wedge(d_1(\tau)=1)\wedge(\tau>1)\wedge(\tau<4)\rightarrow(d_1(\tau+1)=0)\wedge$
$\wedge(d_3(\tau+1)=1)\wedge(r_3(\tau+1)=r_3(\tau)-0,1)$;

$F(t_3)$: $(r_4(\tau)\geq 4)\wedge(d_2(\tau)=1)\wedge(\tau>1)\wedge(\tau<4)\rightarrow(d_2(\tau+1)=0)\wedge$
$\wedge(d_4(\tau+1)=1)\wedge(r_4(\tau+1)=r_4(\tau)-0,2)$;

$F(t_4)$: $(v_2(\tau)=1)\wedge(d_3(\tau)=1)\wedge(r_3(\tau)>3)\rightarrow(d_1(\tau+1)=1)\wedge(C_4(\tau+1)=C_4(\tau)+1)\wedge$
$\wedge(d_3(\tau+1)=0)\wedge\wedge(r_3(\tau+1)=r_3(\tau)-0,5)$;

$F(t_5)$: $(v_2(\tau)=2)\wedge(d_3(\tau)=1)\wedge(d_4(\tau)=1)\wedge(r_3(\tau)>3)\wedge(r_4(\tau)>3)\rightarrow(d_5(\tau+1)=1)\wedge$
$\wedge(d_3(\tau+1)=0)\wedge\wedge(d_4(\tau+1)=0)\wedge(r_3(\tau+1)=r_3(\tau)-0,3)\wedge(r_4(\tau+1)=r_4(\tau)-0,3)$;

$F(t_6)$: $(v_2(\tau)=3)\wedge(d_4(\tau)=1)\wedge(r_4(\tau)>3)\rightarrow(d_2(\tau+1)=1)\wedge(d_4(\tau+1)=0)\wedge$
$\wedge(C_5(\tau+1)=C_5(\tau)+1)\wedge\wedge(r_4(\tau+1)=r_4(\tau)-0,5)$;

$F(t_7)$: $((v_3(\tau)=0)\vee(s_2<4))\wedge(d_5(\tau)=1)\wedge(r_1(\tau)>3,5)\wedge(r_2(\tau)>3,5)\rightarrow(d_0(\tau+1)=1)\wedge$
$\wedge(d_5(\tau+1)=0)\wedge(C_6(\tau+1)=C_6(\tau)+1)\wedge(r_1(\tau+1)=r_1(\tau)-0,1)\wedge(r_2(\tau+1)=r_2(\tau)-0,1)$;

$F(t_8)$: $(v_3(\tau)=1)\wedge(s_2\geq 4)\wedge(d_5(\tau)=1)\wedge(r_1(\tau)>3)\wedge(r_2(\tau)>3)\rightarrow(d_6(\tau+1)=1)\wedge$

$\wedge (d_5(\tau+1)=0)\wedge \wedge (r_1(\tau+1)=r_1(\tau)-0{,}4)\wedge (r_2(\tau+1)=r_2(\tau)-0{,}4)$;

$F(t_9)$: $(s_1(\tau)\geq 4)\wedge (d_6(\tau)=1)\wedge (r_4(\tau)>2)\rightarrow (d_k(\tau+1)=1)\wedge (d_6(\tau+1)=0)\wedge$

$\wedge (C_7(\tau+1)=1)\wedge (r_4(\tau+1)=r_4(\tau)-0{,}1)$.

Та или иная позиция графа целей C_i может достигаться, в том числе при выполнении операций d_j графа действий. При этом достигнутая в ней маркировка автоматически переносится в позицию-копию C_i на графе целей.

Алгоритм построения дискретных систем и анализа процессов с помощью интерактивных моделей на основе БИС показан на рис. 4.3.

Шаги 1.1 – 1.4 алгоритма на рис. 4.3:

1.1.Формирование конфигурации графа целей;

1.2.Формирование конфигурации графа действий;

1.3.Установление связей между графами;

1.4.Составление индикаторных выражений.

Преобразование БИС для следующего периода стабильности (этап 3, рис. 4.3) осуществляется с помощью метода «графохирургии».

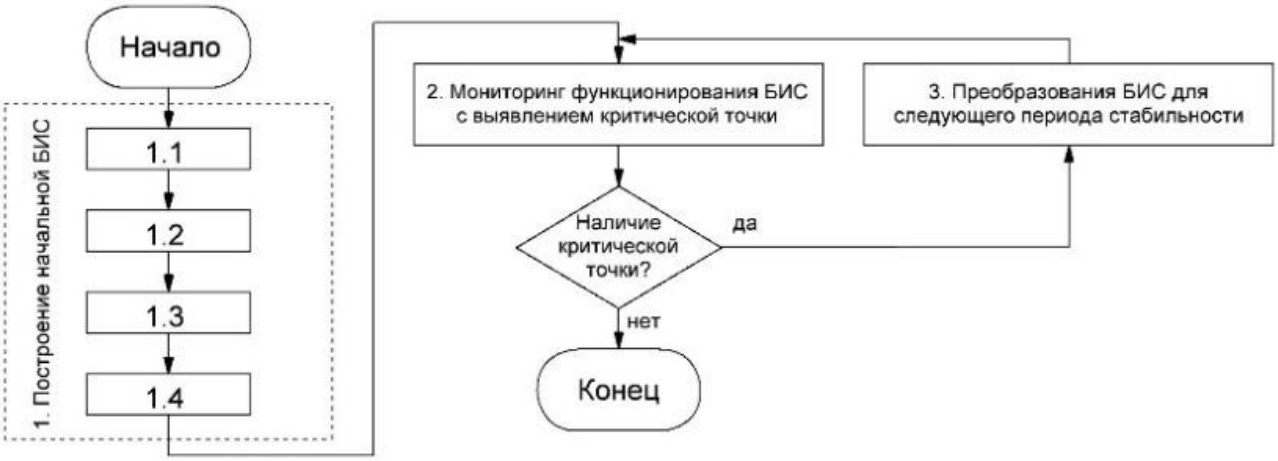


Рис. 4.3. Блок-схема алгоритма построения дискретных систем и анализа процессов на основе БИС

Для проведения имитационного эксперимента с помощью БИС разработана программа «Приложение для моделирования бинарных индикаторных сетей» [36].

По сравнению с триадной сетью [35] БИС имеет упрощенную структуру, что сокращает затраты на проектирование систем.

Для моделирования систем массового обслуживания (СМО) предложена еще одна сетевая агентоцентрическая модель, основанная на индикаторных сетях. Она названа ООО-моделью (или «три О» моделью). Формальное описание ООО-модели (три «О» модели) представляется в виде:

$$ЗОМ = <\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3>,$$

где: $\Gamma_1 = \{\Gamma_{11}, \Gamma_{12}, \ldots, \Gamma_{1m}\}$ – множество графов (агентов) **обеспечения**, причем при m=1 имеет место один канал обеспечения (к примеру, один пункт приема товара в магазине), и это множество вырождается в один граф Γ_1, а при m>1 имеет место распределенная система обеспечения, то есть система со множеством агентов-поставщиков;

$\Gamma_2 = \{\Gamma_{21}, \Gamma_{22}, \ldots, \Gamma_{2n}\}$, $n>1$ – множество графов (агентов) **обслуживания**, описывающих возможные варианты действий каждого агента-заявки;

Γ_3 – граф **отчетности**, включающий ключевые показатели работы систем и целевые ориентиры требуемых значений этих показателей.

Покажем методику построения ООО-модели на примере магазина самообслуживания. На рис. 4.4, 4.5 показан каждый из трех уровней модели – Обеспечения, Обслуживания, Отчетности (рис. 4.4 – сверху уровень обеспечения, снизу уровень обслуживания; рис. 4.5 – уровень отчетности). Текстовые описания позиций графов и наборы индикаторных формул даны ниже.

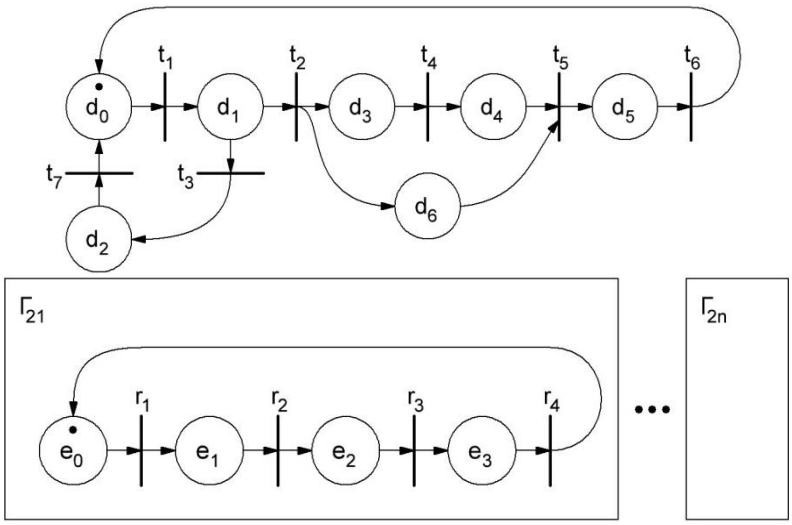


Рис. 4.4. Граф Γ_1 (сверху) приема партии товара – уровень Обеспечения, Граф Γ_{2i} (снизу) – взаимодействие с покупателем – уровень Обслуживания

Описание позиций графа Γ_1 уровня обеспечения: d_0 – ожидание партии товара; d_1 – приемка и проверка товаров по количеству и качеству; d_2 – возврат партии поставщику (в случае неудовлетворительного качества товара); d_3 – доставка товаров в зону хранения (склад); d_4 – предпродажная обработка (развешивание, упаковка и т.д.); d_5 – поступление в торговый зал; d_6 – сообщение о поступившем товаре в базу данных.

Индикаторные формулы для графа Γ_1:

$F(t_1)$: $(d_0=1)\wedge(d_1=0)\wedge(K_0<=K_{0крит})\rightarrow(d_0=0)\wedge(d_1=1)$;

$F(t_2)$: $(d_1=1)\wedge(d_3=0)\wedge(d_6=0)\wedge(K_1>=K_{1min})\wedge$
$\wedge (K_2=K_{2зак})\rightarrow (d_1=0)\wedge(d_3=1)\wedge(d_6=1)$;

$F(t_3)$: $(d_1=1)\wedge(d_2=0)\wedge(K_1<K_{1min})\wedge(K_2<>K_{2зак})\rightarrow(d_1=0)\wedge(d_2=1)$;

$F(t_4)$: $(d_3=1)\wedge(d_4=0)\rightarrow(d_3=0)\wedge(d_4=1)$;

$F(t_5)$: $(d_4=1)\wedge(d_6=1)\wedge(d_5=0)\rightarrow(d_4=0)\wedge(d_6=0)\wedge(d_1=1)$;

$F(t_6)$: $(d_5=1)\wedge(d_0=0)\rightarrow(d_5=0)\wedge(d_0=1)\wedge(K_0=K_0+K_2)$;

$F(t_7)$: $(d_2=1)\wedge(d_0=0)\rightarrow(d_2=0)\wedge(d_0=1)$.

Описание позиций графа Γ_{2i}: e_0 – ожидание покупателя; e_1 – отбор товаров (в корзину); e_2 – расчет в кассе; e_3 – сообщение в базу данных.

Индикаторные формулы, дополняющие каждый из графов Γ_{2i}:

$F(r_1)$: $(e_0=1)\wedge(e_1=0)\wedge(S_1=1)\rightarrow(e_0=0)\wedge(e_1=1)$;
$F(r_2)$: $(e_1=1)\wedge(e_2=0)\wedge(K_3=K_п)\rightarrow(e_1=0)\wedge(e_2=1)$;
$F(r_3)$: $(e_2=1)\wedge(e_3=0)\wedge(S_2=S_т)\rightarrow(e_2=0)\wedge(e_3=1)$;
$F(r_4)$: $(e_3=1)\wedge(e_0=0)\rightarrow(e_3=0)\wedge(e_0=1)\wedge(S_1=0)$.

В индикаторные формулы помимо переменных-позиций d_i и e_j введены дополнительные переменные, задающие условия срабатывания переходов (K_0 –фактическое количество товара, $K_{0крит}$ – критическое количество товара (максимальная вместимость склада), K_1 – качество товара, K_{1min} – минимальное качество товара, при котором товар принимается от поставщика, K_2 – полученное количество товара, $K_{2зак}$ – количество товара, которое было заказано,
S_1 – появление в магазине нового покупателя (0 – покупателя нет, 1 – покупатель зашел в магазин), K_3 – количество товара в корзине, $K_п$ – количество товара, необходимое покупателю, S_2 – сумма денег, переданная покупателем кассиру,
S_m – стоимость товаров в корзине покупателя).

Основные показатели финансово-хозяйственной деятельности предприятия: p_1 – рентабельность; p_2 – чистая прибыль; p_3 – маржинальная прибыль;
p_4 – постоянные затраты; p_5 – налоги; p_6 – выручка; p_7 – переменные расходы; p_8 – расходы по оплате труда персонала; p_9 – затраты на закупку и транспортировку; p_{10} – маркетинговые расходы; p_{11} – объем продаж.

Индикаторные формулы для уровня отчетности магазина самообслуживания:

$F(q_0)$: $(p_1=1)\wedge(p_7=0)\wedge(p_8=0)\wedge(p_9=0)\wedge(p_{10}=0)\wedge(p_{11}=0)\rightarrow(p_1=0)\wedge$
$\wedge(p_7=1)\wedge(p_8=1)\wedge\wedge(p_9=1)\wedge(p_{10}=1)\wedge(p_{11}=1)$;
$F(q_1)$: $(p_2=1)\wedge(p_1=0)\wedge(P_2\geq P_{2min})\rightarrow(p_2=0)\wedge(p_1=1)$;
$F(q_2)$: $(p_3=1)\wedge(p_4=1)\wedge(p_5=1)\wedge(p_2=0)\wedge(P_3\geq P_{3min})\wedge(P_4\leq P_{4max})\wedge$
$\wedge(P_5\leq P_{5max})\rightarrow\rightarrow(p_3=0)\wedge(p_4=0)\wedge(p_5=0)\wedge(p_2=1)$;
$F(q_3)$: $(p_6=1)\wedge(p_7=1)\wedge(p_3=0)\wedge(P_6\geq P_{6min})\wedge(P_7\leq P_{7max})\rightarrow(p_6=0)\wedge$
$\wedge(p_7=0)\wedge(p_3=1)$;
$F(q_4)$: $(p_8=1)\wedge(p_9=1)\wedge(p_{10}=1)\wedge(p_4=0)\wedge(P_8\leq P_{8max})\wedge(P_9\leq P_{9max})\wedge$
$\wedge(P_{10}\leq P_{10max})\rightarrow\rightarrow(p_8=0)\wedge(p_9=0)\wedge(p_{10}=0)\wedge(p_4=1)$;
$F(q_5)$: $(p_{11}=1)\wedge(p_6=0)\wedge(P_{11}\geq P_{11min})\rightarrow(p_{11}=0)\wedge(p_6=1)$.

Здесь заглавными буквами (P_i) обозначены значения показателей, а строчными (p_i) – позиции графа Γ_3, обозначающие достижение нормативных значений соответствующих показателей. Маркеры сначала заносятся в нижние позиции графа (на рис. 4.5 это позиции p_7 – p_{11}) по достижению соответствующих значений показателей, а затем движутся по сети при срабатывании переходов.

На рис. 4.6 приведена блок-схема алгоритма анализа систем на основе ООО-моделей.

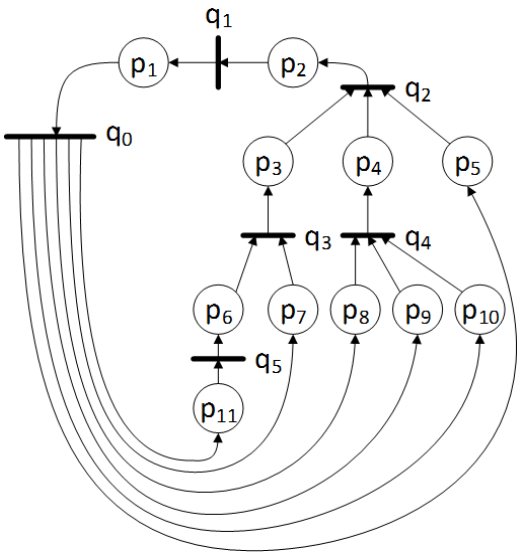


Рис. 4.5. Граф Γ_3 – основные показатели финансово-хозяйственной деятельности предприятия – уровень Отчетности

Рис. 4.6. Алгоритм ООО-моделирования

Общность подходов к их рассмотрению и предложенные сетевые модели показаны на рис. 4.7.

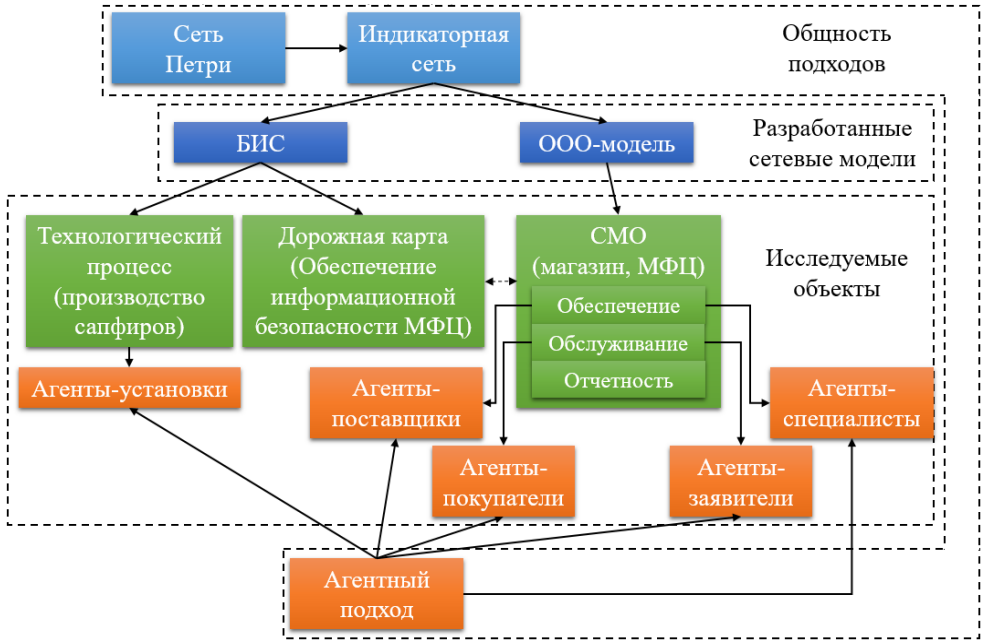


Рис. 4.7. Разработанные сетевые модели, исследуемые объекты, общность подходов при их рассмотрении

Описанные сетевые модели применены при построении и анализе ряда реальных систем и процессов, в частности: построена БИС, описывающая установку по выращиванию искусственных сапфиров; на основе БИС построен управляющий автомат для регулирования скорости вытягивания кристалла сапфира, построена имитационная модель для проведения экспериментов по модернизации технологического процесса; построена ООО-модель многофункционального центра предоставления государственных и муниципальных услуг (МФЦ); разработана бинарная сетевая дорожная карта «Обеспечение информационной безопасности МФЦ».

4.3. Выводы. Таким образом, в главе показаны основные идеи, реализованные при выполнении диссертационной работы А.В. Чуевым под руководством В.З. Магергута. Главным результатом этой работы стало введение новой формальной конструкции – бинарного структурированного агента, описываемого с помощью бинарной индикаторной сети. Предложенный подход, который назван агентоцентричным (агентоориентированным), обладает универсальностью, что подтверждается его успешным применением при моделировании и построении реальных систем совершенно разного типа, а также простотой и наглядностью для предметных специалистов.

Заключение

Данная статья написана в память о профессоре В.З. Магергуте, его идеях и методах, которые уже воплотились и будут активно воплощаться в жизнь его учениками. Сформулированные и решаемые им задачи, направлены на достаточно широкую прикладную область для различных объектов технологического и технического характера. Каждое из представленных направлений формируется в отдельную ветвь научных исследований и активно развивается.

Методы и подходы, представленные в настоящей статье, разработаны и исследованы в рамках проекта РФФИ № 14-41-08016, руководителем которого с 2014 по 2016 годы был проф. В.З. Магергут.

Литература

1. Ломазов В. А., Петросов Д. А., Игнатенко В. А. Обзор графоаналитических инструментальных средств моделирования в задачах синтеза систем // Новая наука: опыт, традиции, инновации. 2015. № 6. С. 167-170.

2. Игнатенко В. А., Магергут В. З. Описание динамических процессов при помощи информационной сети Петри // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. № 13. С. 161-179.

3. Юдицкий С. А., Магергут В. З. Логическое управление дискретными процессами. Модели, анализ, синтез. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.

4. Игнатенко В. А., Магергут В. З. Информационная сеть Петри как инструмент для параллельной обработки алгоритмов управления // Научные

ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. № 19. С. 119-126.

5. Бажанов А. Г. Управление вращающейся печью для обжига цементного клинкера на основе нечетких диаграмм поведения ее узлов: дис. канд. техн. наук: 05.13.06: защищена 26.06.13: утв. 21.10.13. – Белгород: БГТУ. 2013. – 149 с.

6. Магергут В. З., Юдицкий С. А., Перов В. Л. Построение логических моделей химико-технологических объектов (первичные и исходные модели). – М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1988. – 80 с.

7. Бажанов А. Г., Магергут В. З. Нечеткая диаграмма поведения узла нагрузки главного привода цементной печи // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 5. С. 163-167.

8. Бажанов А. Г., Ващенко Р. А., Магергут В. З. Нечеткие диаграммы поведения узлов для сложных технологических объектов, принципы их построения и использования // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2014. № 9. С. 26-34.

9. Ицелев Р. И., Кацман А. Д., Шидлович В. И. Автоматизированное управление обжигом при производстве цемента. – Л.: Стройиздат Ленингр. отд-ние. 1978. – 151 с.

10. Бернштейн Л. Г. Цементная промышленность США и пути реконструкции цементной промышленности России // Научно-испытательный центр «Гипроцемент-Наука» [Электронный ресурс]. 2011. – URL: http://www.giprocement.ru/about/articles.html/p=10 (дата обращения 15.05.2016).

11. Magergut V. Z., Bazhanov A. G., Vashchenko R. A. Algorithmic Approaches to Synthesis Fuzzy Control Systems for Objects with Continuous Technology // World Applied Sciences Journal. 2013. № 24 (10). Pp. 1291-1295. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.10.7003.

12. Магергут В. З., Игнатенко В. А., Бажанов А. Г., Шаптала В. Г. Подходы к построению дискретных моделей непрерывных технологических процессов для синтеза управляющих автоматов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 100-102.

13. Bazhanov A., Magergut V., Vashchenko R. Operation model of the cement kiln node “Material temperature in the drying zone” as a fuzzy behavior chart // Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies, IEEE Xplore. Zilina. 2015. Pp. 35-38. doi: 10.1109/DT.2015.7222947.

14. Ващенко Р.А., Бажанов А.Г., Магергут В.З., Кариков Е.Б. Советующая система для управления вращающейся печью // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. №2013618589. 2013.

15. Юдин Д. А. Автоматизированная система управления вращающимися печами с применением технического зрения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – 203 с.

16. Zhang Jing, Tong Tiaosheng, Li Fengcai, Lin Changxi. Rotary kiln intelligent control based on flame image processing. IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems ICIPS '97, 1997, vol. 1, pp. 796-792.

17. Zhang X., Chen H., Zhang J. The Predictive Control of Sintering Temperature in Rotary Kiln Based on Image Feedback and Soft Computing. Proceeding of: Third International Conference on Natural Computation ICNC 2007, 2007, vol. 3. Pp. 39-43. doi: 10.1109/ICNC.2007.734.

18. Zhang X., Chen H., Zou Z., Li J. Content-Based Rotary Kiln Flame Image Retrieval. Proceeding of Congress on Image and Signal Processing. 2008. CISP '08. Vol. 2. Pp. 490-494. doi: 10.1109/CISP.2008.578.

19. Wei Z. Y. Optical flow algorithm and research on its application to rotary kiln status recognition [D]. – Shenyang: Northeastern University. 2005. – 78 p.

20. Szatvanyi G. Improving quality and combustion control in pyrometallurgical processes using multivariate image analysis of flames. Master's thesis. – Quebec: Department of chemical engineering. Faculty of science and engineering, Laval University, 2006.

21. Liu J., Zhu Y., Sun P. Sintering status recognition system for cement rotary kiln. ICCASM 2010. Vol. 13. Pp. 212-216.

22. Порхало В. А., Рубанов В. Г., Шаптала В. Г. Автоматизация печи обжига клинкера на основе каскадной и многосвязной систем управления // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 69-72.

23. Чурагулова О. А. Автоматизация производства цемента в России. Опыт компании «Сименс» // Цемент, известь, Гипс. 2008. №4. С. 156-157.

24. FLSmidth website. Process Control [Электронный ресурс]. – URL: http://www.flsmidth.com/en-US/Industries/Cement/Products/Electrical+and+ Automation (дата обращения 20.06.2016).

25. ABB – Решения для цементной промышленности // Цемент и его применение. № 6. 2008. С. 24-30. – URL: http://www05.abb.com/global/scot/scot393.nsf/veritydisplay/cb31605c0466ac65c1257b350030731a/$file/Solutions%20for%20the%20Cement%20Industry.pdf (дата обращения 20.06.2016).

26. Система промышленного телевидения для обжиговых печей [Электронный ресурс]. – URL: http://telesen.ru/index.php?main=services&id=100002&subid=100048 (дата обращения 20.06.2016).

27. Бехер Р. Анализ теплового процесса для оптимизации управления цементной печью на основе бесконтактного измерения температуры // Цемент и его применение. 2008. № 3. С. 64-65.

28. Юдин Д. А., Магергут В. З. Программный комплекс системы технического зрения для оценки состояния процесса обжига // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 257-262.

29. Юдин Д. А., Магергут В. З. Сегментация изображений процесса обжига с применением текстурного анализа на основе самоорганизующихся карт // Информационные технологии. 2013. № 4. С. 65-70.

30. Юдин Д. А., Магергут В. З. Применение метода экстремального обучения нейронной сети для классификации областей изображения // Научные

ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2013. Т. 26. № 8-1. С. 107-117.

31. Юдин Д. А., Магергут В. З. Оптимизация набора текстурных характеристик изображения на основе генетического алгоритма // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2014. № 4 (54). С. 67-71.

32. Yudin D., Magergut V., Rubanov V. Fuzzy control of rotary cement kiln using sintering zone image recognition // 10th International Conference on Digital Technologies (DT). 2014. Pp. 365-370. doi: 10.1109/DT.2014.6868741.

33. Чуев А. В. Формализация и анализ дискретных организационно-технологических систем со структурированными агентами на индикаторных сетях. Дис. ... канд. техн. наук. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – 164 с.

34. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.

35. Юдицкий С. А. Моделирование динамики многоагентных триадных сетей. – М.: СИНТЕГ, 2012. – 112 с.

36. Юдицкий С. А., Магергут В. З., Чуев А. В. Программно-алгоритмическое обеспечение моделирования процессов на бинарных индикаторных сетях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2014. № 9. С. 11-18.

References

1. Lomazov V. A., Petrosov D. A., Ignatenko V. A. Overview of graphic-analytical simulation tools in synthesis of systems problems. *Novaya nauka: opyt, traditsii, innovatsii*, 2015, vol. 6, pp. 167-170 (in Russian).

2. Ignatenko V. A., Magergut V. Z. Description of dynamic processes with information network of Petri. *Belgorod State University Scientific bulletin*, 2011, vol. 13, pp. 161-179 (in Russian).

3. Yudickij S. A., Magergut V. Z. *The logical control of discrete processes. Model, Analysis, synthesis.* Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1987. 176 p. (in Russian).

4. Ignatenko V. A., Magergut V. Z. Information Petri net as a tool for concurrency control algorithms. *Belgorod State University Scientific bulletin*, 2011, vol. 19, pp. 119-126 (in Russian).

5. Bazhanov A. G. *Upravlenie vraschauscheisya pech'u dlya obzhiga cementnogo klinkera na osnove nechetkih diagramm povedeniya eyo uzlov*. *D*is. cand. tekhn. nauk [Rotary kiln control for cement clinker calcination based on fuzzy behavior charts of its nodes]. Belgorod, Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, 2013. 149 p. (in Russian).

6. Magergut V. Z., Yuditskiy S. A., Perov V. L. *Postroenie logicheskih modeley khimiko-tehnologicheskih ob'ektov (pervichnie i ishodnie modeli)* [The construction of logical models for chemical and technological facilities (primary and original models)]. Moscow, Mendeleev Institute of Chemical Technology of Russia, 1988. 80 p. (in Russian).

7. Bazhanov A. G., Magergut V. Z. Fuzzy behavior chart of main drive load node. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, n. 5, pp. 163-167 (in Russian).

8. Bazhanov A. G., Vashchenko R. A., Magergut V. Z. Fuzzy nodes behavior charts for complex technological objects, principles of its construction and usage. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2014, vol. 9, pp. 26-34 (in Russian).

9. Icelev R. I., Kacman A. D., Shidlovich V. I. *Avtomatizirovannoe upravlenie obzhigom pri proizvodstve cementa* [Automated control of calcination in cement production]. Leningra, Stroiizdat Leningr. Otdelenie, 1978. 151 p. (in Russian).

10. Bernshtein L. G. *Cementa promishlennost' SShA I puti rekonstrukcii cementnoi promishlennosti Rossii* [Cement industry of USA and paths for reconstruction of cement industry of Russia]. Research and Testing Center "GiproCement Science and Quality Control" Ltd., 2011. Available at: http://www.giprocement.ru/about/articles.html/p=10 (accessed 15 May 2016) (in Russian).

11. Magergut V. Z., Bazhanov A. G., Vashchenko R. A. Algorithmic Approaches to Synthesis Fuzzy Control Systems for Objects with Continuous Technology. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 24, no. 10, pp. 1291-1295. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.10.7003

12. Magergut V. Z., Ignatenko V. A., Bazhanov A. G., Shaptala V. G. Approaches to the construction of discrete models of continuous technological processes for control automata synthesis. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*, 2013, vol. 2, pp. 100-102 (in Russian).

13. Bazhanov A., Magergut V., Vashchenko R. Operation model of the cement kiln node "Material temperature in the drying zone" as a fuzzy behavior chart. *Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies*, IEEE Xplore. Zilina, 2015, pp. 35-38. doi: 10.1109/DT.2015.7222947

14. Vashchenko R. A., Bazhanov A. G., Magergut V. Z., Karkiov E. B. *Sovetuyuschaya sistema dlya upravleniya vraschauscheisya pech'u*. *Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programm dlya EVM* [Advising system for control of rotary kiln. The Certificate on Official Registration of the Computer Program]. No. 2013618589, 2013 (in Russian).

15. Yudin D.A. *Avtomatizirovannaya sistema upravleniya vrashchayushchimisya pechami s primeneniyem tekhnicheskogo zreniya*: dis. kand. tekhn. nauk: 05.13.06 [Automated control system for rotary kilns using machine vision. Ph.D. Thesis]. Belgorod, BSTU n.a. V.G.Shukhov, 2014. 203 p. (in Russian).

16. Zhang J., Tong T., Li F., Lin C. Rotary kiln intelligent control based on flame image processing. *IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems*, *ICIPS '97*, 1997, vol. 1, pp. 796-792.

17. Zhang X., Chen H., Zhang J. The Predictive Control of Sintering Temperature in Rotary Kiln Based on Image Feedback and Soft Computing. *Proceeding of Third International Conference on Natural Computation, ICNC-2007*, 2007, vol. 3, pp. 39-43. doi: 10.1109/ICNC.2007.734.

18. Zhang H., Chen X., Zou Z., Li J. Content-Based Rotary Kiln Flame Image Retrieval. *Proceeding of Congress on Image and Signal Processing, CISP-'08*, 2008, vol. 2, pp. 490-494. doi: 10.1109/CISP.2008.578.

19. Wei Z. Y. *Optical flow algorithm and research on its application to rotary kiln status recognition*. Shenyang: Northeastern University, 2005, 78 p.

20. Szatvanyi G. *Improving quality and combustion control in pyrometallurgical processes using multivariate image analysis of flames. Master's thesis*. Quebec, Department of chemical engineering, Faculty of science and engineering, Laval University. 2006.

21. Liu J., Zhu Y., Sun P. Sintering status recognition system for cement rotary kiln. *ICCASM*, 2010, vol. 13, pp. 212-216.

22. Porhalo V. A., Rubanov V. G., Shaptala V. G. Avtomatizatsiya pechi obzhiga klinkera na osnove kaskadnoy i mnogosvyaznoy sistem upravleniya [Clinker kiln automation based on multiply connected and cascade control systems]. *Bulletin of BSTU n.a. V. G. Shukhov*, 2013, vol. 2, pp. 69-72 (in Russian).

23. Churagulova O. A. Avtomatizatsiya proizvodstva tsementa v Rossii. Opyt kompanii «Simens». [Cement production automation in Russia. Experience of Siemens Company]. *Tsement, izvest, gips* [Cement, Lime, Gypsum], 2008, vol. 4, pp. 156-157 (in Russian).

24. FLSmidth website. Process Control. Available at: http://www.flsmidth.com/en-US/Industries/Cement/Products/Electrical+and+Automation (accessed 20 June 2016).

25. ABB – Resheniya dlya tsementnoy promyshlennosti [ABB - Decisions for cement industry]. *Cement and its Applications*, 2008, vol. 6, pp. 24-30 (in Russian).

26. System of industrial television for kilns. Available at: http://telesen.ru/index.php?main=services&id=100002&subid=100048 (accessed 20 June 2016) (in Russian).

27. Bokher P. Analiz teplovogo protsessa dlya optimizatsii upravleniya tsementnoy pechyu na osnove beskontaktnogo izmereniya temperatury [Thermal process analysis to optimize the cement kiln control based on contactless temperature measurement]. *Cement and its Applications*, 2008, vol. 3, pp. 64-65 (in Russian).

28. Yudin D. A., Magergut V. Z. Programmnyy kompleks sistemy tekhnicheskogo zreniya dlya otsenki sostoyaniya protsessa obzhiga [Computer vision system software for assessment of firing process]. *Software and systems*, 2013, vol. 2, pp. 257-262 (in Russian).

29. Yudin D. A., Magergut V. Z. Segmentatsiya izobrazheniy protsessa obzhiga s primeneniyem teksturnogo analiza na osnove samoorganizuyushchikhsya kart [Image segmentation of firing process with texture analysis based on self-organizing maps]. *Information technologies*, 2013, vol. 4, pp. 65-70 (in Russian).

30. Yudin D. A., Magergut V. Z. Primeneniye metoda ekstremal'nogo obucheniya neyronnoy seti dlya klassifikatsii oblastey izobrazheniya [Application of extreme learning machines for classification of image areas]. *Scientific bulletin of BelSU*, 2013, no. 26/1, pp. 107-117 (in Russian).

31. Yudin D. A., Magergut V. Z. Optimizatsiya nabora teksturnykh kharakteristik izobrazheniya na osnove geneticheskogo algoritma [Optimization of a

set of image texture features on base of genetic algorithm]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo*, 2014, vol. 4, no. 54, pp. 67-71 (in Russian).

32. Yudin D., Magergut V., Rubanov V. Fuzzy control of rotary cement kiln using sintering zone image recognition. *10th International Conference on Digital Technologies (DT)*, 2014, pp. 365-370. doi: 10.1109/DT.2014.6868741.

33. Chuev A. V. *Formalizaciya i analiz diskretnyh organizacionno-tekhnologicheskih sistem so strukturirovannymi agentami na indikatornyh setyah. Diss. kand. tehn. nauk* [The formalization and analysis of discrete organizational and technological systems with structured agents on the indicator networks]. Ph. D. Thesis. Belgorod, BSTU n.a. V.G.Shukhov, 2016, 164 p. (in Russian).

34. Rassel S., Norvig P. *Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod* [Artificial Intelligence: A Modern Approach]. Moscow, Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2006, 1408 p. (in Russian).

35. Yudickij S. A. *Modelirovanie dinamiki mnogoagentnyh triadnyh setej* [Modeling the dynamics of multi-agent triad networks]. Moscow, SINTEG Publ., 2012, 112 p. (in Russian).

36. Yudickij S. A., Magergut V. Z., Chuev A. V. Programmno-algoritmicheskoe obespechenie modelirovaniya processov na binarnyh indikatornyh setyah [Software and algorithmic support of processes modeling on binary indicator networks]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika*, 2014, vol. 9, pp. 11-18 (in Russian).

Информация об авторах

Игнатенко Владимир Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и информационных технологий. ФГБОУ ВО Белгородский государственный аграрный университет. Область научных интересов: сети Петри, промышленная автоматика, микропроцессорная техника. E–mail: bigsom@mail.ru

Адрес: 308033, Россия, г. Белгород, пр-кт. Ватутина, д. 8, кв. 26.

Бажанов Александр Геральдович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Область научных интересов: нечеткие системы, алгоритмизация технологических процессов, сетевые алгоритмы, имитационное моделирование и интеллектуальные системы управления. E–mail: all_exe@mail.ru

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Юдин Дмитрий Александрович – кандидат технических наук. Старший преподаватель кафедры технической кибернетики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Область научных интересов: системы технического зрения, робототехника. E–mail: yuddim@yandex.ru

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чуев Александр Викторович – кандидат технических наук. Программист Государственное автономное учреждение Белгородской области

"Многофункциональный центр предоставления государственных и муниципальных услуг" (ГАУ БО "МФЦ"). Область научных интересов: сети Петри, имитационное моделирование систем. E–mail: chuev_a@mail.ru

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Юдицкий Семен Абрамович – профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник. Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук. Область научных интересов: системный анализ, логическое моделирование, организационно-технологические системы. E–mail: yuseab32@yandex.ru

Адрес: 117321, Москва, Профсоюзная ул. 132, кор. 8, Московский дом-пансионат ветеранов науки, ком. 305.

Agent Centric Modeling of Organizational and Technological Systems

V. A. Ignatenko, A. G. Bazhanov, D. A. Yudin, A. V. Chuev, S. A. Yuditsky

Formulation of the problem: *development of effective control systems for organizational and technological systems (OTS) requires their modeling and hardware and software implementation that enhance the rising of products quality of the process, reducing production costs, improving productivity and working conditions of staff. For some objects, such as rotary kilns of wet cement production method, sapphire crystals growing plants, there is a difficult to build an analytical model of the control system. So we propose the research of intelligent methods and network-based approaches for implementation of this task.* ***The objective of work*** *is the development, expansion and formalization of the OTS modeling methodology within the work carried out in Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov under the supervision of prof. V.Z. Magergut. To achieve this objective there has been used a several conceptual ways: the usage of the network model for analog data processing, the application of fuzzy behavior charts of nodes for modeling and synthesis of control automata for complex technological objects, the usage of machine vision in the control system for complex technological object, formalization and analysis of discrete organizational and technological systems with structured agents on the indicator networks.* ***Used methods:*** *as methods for solving the problem of agent-centric modeling used methods of Petri nets, including their modifications - information and binary indicator nets, methods of fuzzy behavior charts of nodes, methods of neural networks, in particular, Kohonen maps, methods of data classification, including, support vector method and extreme training method.* ***Novelty:*** *the elements of novelty of presented solutions are the proposed information Petri net for analog data processing, the method of models construction and synthesis of control automata for complex technological objects on the basis of fuzzy behavior charts of nodes, the method of assessing the state of the sintering zone and the parameters of the kiln calcination process based on image recognition, structure of advising control system for rotary cement kiln using machine vision, the proposed OTS network model based on binary indicator networks and concept "Maintenance-Service-Reporting".* ***Result:*** *described in this article approaches have shown its efficiency in solving practical problems. Modeling of the closed-loop control system was successfully carried out with the help of an information Petri net. Application of fuzzy behavior charts of nodes has allowed to adequately generate the advice for rotary kiln control. Application of machine vision system has allowed to carry out evaluation of the sintering zone state with an average accuracy of above 94%, as well as to use the visual data in the kiln control system, thereby improving the efficiency of decision-making of operators on 12%. By using the binary indicator networks was obtained an adequate model of the installation of the artificial sapphires growing, was developed a binary network roadmap of information security support in the regional multi-functional center.* ***Practical value:*** *the results are implemented at the cement plant JSC "Oskolcement» (Stary Oskol), in the multifunctional center of state and municipal services of Belgorod region.*

Keywords: *agent-based approach, information Petri net, binary indicator Petri net, fuzzy behavior chart, fuzzy control, vision system, state estimation, extreme training method, rotary cement kiln.*

Information about Authors

Vladimir Alexandrovich Ignatenko – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Information Technology. Belgorod State Agricultural Univerisity named after V. Gorin. Field of research: Petri net, industrial automation, microprocessor technology. E–mail: bigsom@mail.ru.

Address: Russia, 308033, Belgorod, Vatutina pr-kt, 8-26.

Alexander Geraldovich Bazhanov – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Cybernetics. Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov. Field of research: fuzzy systems, algorithmization of technological processes, net algorithms, simulation and intelligent control systems. E–mail: all_exe@mail.ru

Address: Russia, 308012, Belgorod, Kostukova street, 46.

Dmitry Aleksandrovich Yudin – Ph.D. of Engineering Sciences. Senior lecturer of the Technical Cybernetics Department of Cybernetics. Belgorod State Technological University after V.G. Shukhov. Field of research: machine vision systems, robotics. E–mail: yuddim@yandex.ru

Address: Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46.

Aleksandr Viktorovich Chuev – Ph.D. of Engineering Sciences. Programmer. State autonomous institution of the Belgorod region "Multifunctional center of public and municipal services" (SAI BR "MFC"). Field of research: Petri net, simulation systems. E–mail: chuev_a@mail.ru

Address: Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46.

Semen Abramovich Yuditsky – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor. Chief Researcher. V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences. Field of research: system analysis, logic modeling, organizational and technological systems. E–mail: yuseab32@yandex.ru

Address: Russia, 117321, Moscow, Profsoyuznaya street, 132, Bld. 8, Ft. 305, Moscow Pension House of Science Veterans.

УДК 62–50; 519.7; 519.8

Раздетерминизация – новый подход к исследованию функций с неопределенностью в особых точках

Левин В. И.

Актуальность. *При моделировании организационно-технических систем в ряде случаев возникают сложности в исследовании функционирования таких систем, в случае если они формализованы на основе аналитико-детерминированных функций. В работе предложен новый метод – раздетерминизация, предназначенный для решения проблемы вычисления детерминированных функций, имеющих так называемые особые точки, в которых у функции не существует определенного значения.* ***Цель статьи.*** *Целью является разработка подхода, позволяющего осуществлять деление на нуль и тем самым исключать особые точки функций.* ***Метод.*** *Предложенный метод заключается в переходе от проблематичной, с точки зрения вычисления, детерминированной функции к соответствующей недетерминированной, а именно, интервальной функции, путем замены детерминированных параметров функции соответствующими интервальными параметрами. Благодаря этой замене значения функции в особых точках становятся интервальными и вполне определенными значениями. Последнее и позволяет решить проблему вычисления функции.* ***Новизна.*** *Решение этой проблемы достигается легализацией деления на нуль путем интервализации вычислений. При этом используется принцип вырезания окрестности нуля из интервала, являющегося делителем интервальной дроби, представляющей исследуемую функцию.* ***Результат.*** *Путем вырезания интервальной функции выведены рабочие формулы, основанные на основных положениях интервальной математики и позволяющие легко вычислять значения этой функции. Предложенный в статье подход к решению проблемы вычисления функций с особыми точками имеет важное значение для всех тех классов прикладных систем, в которых эта проблема реально существует. Речь здесь идет о тех системах, функции-характеристики которых имеют некоторое число особых точек. Подобные системы встречаются чаще всего в телеметрии, теории и практике надежности, гуманитарной сфере и ряде др. областей. Особенности этих областей в том, что в них не всегда применимы классические методы детерминистской математики. Это побуждает искать новые подходы к решению возникающих здесь задач.*

Ключевые слова: *интервал, интервальная функция, интервальные вычисления, раздетерминизация, деление на нуль.*

Введение

Появление в XX веке разнообразных сложных систем (системы управления экономикой, ракетно-космические системы, атомная энергетика и др.) выдвинуло новые сложные задачи по их изучению. Современная наука и практика обработки информации уже вполне успешно справляется с задачами исследования различных сложных систем с полностью определенными (детерминированными) параметрами. Эти задачи обычно формулируются как задачи расчета, анализа и синтеза тех или иных функций с детерминированными параметрами, служащих соответствующими характеристиками изучаемых систем. Но на практике часто встречаются другие системы – системы с неточно известными, т.е. неполностью определенными

(недетерминированными) параметрами. Причины появления таких систем заключаются в естественной неопределенности, свойственной многим реальным процессам, происходящим в системах; в неточном задании параметров большинства систем из-за неизбежных погрешностей при их вычислении или измерении; в изменении во времени параметров систем; в необходимости или целесообразности совместного исследования целых семейств однотипных систем, имеющих одинаковые функции-характеристики и различающихся лишь значениями параметров этих функций. Учет неопределенности систем особенно важен при их проектировании, поскольку полная определенность в работе системы появляется лишь на последних этапах ее создания.

Исследование введенных неопределенных систем формулируется в виде задач расчета, анализа и синтеза различных функций с недетерминированными параметрами, служащих соответствующими характеристиками данных систем. Все эти задачи значительно сложнее их вышеупомянутых детерминированных аналогов, которые приходится решать при исследовании систем с детерминированными параметрами. Это усложнение связано с тем, что алгебра недетерминированных чисел сложнее алгебры детерминированных чисел. В связи с этим для решения указанных задач приходится применять тот или иной специализированный математический аппарат: теорию вероятностей [1], теорию нечетких множеств [2], интервальную математику [3], многозначные функции [4].

Применение этого математического аппарата позволяет строить и изучать более адекватные математические модели сложных систем с недетерминированными параметрами, учитывающие неопределенность поведения таких систем [5–13].

Однако на практике встречаются еще более трудные для изучения классы сложных систем, в которых даже математические модели с детерминированными параметрами приводят к задачам, не имеющим определенного решения. Таковы, например, сложные системы, изучение которых сводится к решению системы линейных уравнений, определитель которой в некоторых случаях может быть равен нулю. Именно для подобных систем раздетерминизация, т.е. переход к соответствующей недетерминированной системе позволяет получить необходимое решение. Так, для сложных систем, изучение которых сводится к решению системы линейных уравнений (с возможно нулевым определителем), определитель после раздетерминизации становится численно равным интервалу, включающему, кроме нуля, также ненулевые значения, что открывает возможность получения решения.

В настоящей статье рассматриваются задачи изучения именно таких классов сложных систем. В качестве раздетерминизации используется процедура перехода от системы с детерминированными параметрами к системе с недетерминированными – интервальными параметрами. В качестве математического аппарата используется интервальная математика, точнее – интервальная алгебра. Раздетерминизация является процедурой, обратной по

отношению к детерминизации, широко используемой в работах автора по изучению поведения неопределенных систем [14–19].

1. Постановка задачи

Предположим, что имеется некоторая практическая задача, сводящаяся с математической точки зрения к изучению (расчету и анализу поведения) некоторой детерминированной функции одной независимой переменной – характеристики изучаемой системы

$$y = f(x), \qquad (1)$$

однозначно отображающей заданное множество $X = \{x\}$ независимых переменных x в заданное множество $Y = \{y\}$ зависимых переменных y, в соответствии с законом f, который и называется функцией. Хорошо известно, что задача расчета (вычисления значений) функции (1) принципиально всегда решается с помощью адекватного этой задаче математического аппарата алгебры вещественных чисел, с использованием подходящих методов вычислений, а задача анализа поведения функции (1) – с помощью адекватного ей математического аппарата классического дифференциального исчисления.

Рассмотрим далее распространенную ситуацию, когда изучаемая функция (1) имеет вид дроби

$$f(x) = f_1(x)/f_2(x), \qquad (2)$$

с числителем – функцией $f_1(x)$ и знаменателем – функцией $f_2(x)$. В этой ситуации расчет и анализ поведения функции (1) затрудняется, поскольку в каждой точке с нулевым знаменателем эта функция не существует (если в этой точке числитель не равен нулю) либо принимает бесконечное множество значений, т.е. не имеет определенного значения (если в этой точке числитель равен нулю). Очевидно, что для функций с указанными точками (их естественно называть особыми) должны быть разработаны специальные методы расчета и анализа поведения функций, позволяющие исключить эффект влияния таких особых точек. Задача настоящей работы состоит в построении двух систематических процедур, связанных с изучением поведения детерминированных функций вида (2). А именно:

1) процедура расчета (т.е. вычисления значений) детерминированной функции типа (2), содержащей особые точки;
2) процедура анализа поведения такой же детерминированной функции.

2. Обзор литературы

Ниже мы будем изучать поведение детерминированных функций типа (2), содержащих особые точки, имея в виду преодоление трудности, связанной с наличием таких точек, путем раздетерминизации, т.е. перехода от функции (2) к соответствующей недетерминированной функции (функции с недетерминированными, точнее – с интервальными параметрами). В связи с этим представляет интерес обзор литературы посвященной изучению различных неопределенных объектов.

Проблема изучения объектов, характеризуемых той или иной неопределенностью, впервые возникла в начале Второй мировой войны, в связи с необходимостью управления огнем зенитной артиллерии, в условиях случайного движения воздушных целей. Соответствующими задачами занимались выдающиеся математики-вероятностники Н. Винер [5] и А.Н. Колмогоров [6] и их многочисленные последователи. Однако широкое развитие исследований по изучению гражданских объектов, работающих в условиях неопределенности, началось только в конце 1950-х – начале 1960-х гг., в рамках математической статистики и ее новых направлений – обработка данных и планирование экспериментов [7, 8].

Исследования, выполненные в 1970-е–80-е годы, привели к более широкому пониманию неопределенности, включившей в себя теперь не только случайность, но и незнание, неединственность возможных исходов, неопределенность целей, многокритериальность при решении задач оптимизации. В связи с этим появились новые подходы к описанию неопределенности: теория нечетких множеств, принцип недоопределенной модели, принятие решений в многокритериальных задачах [2, 9, 10].

С 1980-х годов начал интенсивно применяться подход к описанию неопределенности, базирующийся на интервальной математике, позволяющей получать оценки характеристик неопределенных систем с гарантированной точностью [11–18]. При этом указанный подход применялся сначала в метрологии для определения интервального значения известной функции при интервальных значениях аргументов. Затем его развитие пошло по двум направлениям. За рубежом этот подход развивался как средство автоматического учета ошибок округления при численном решении задач на компьютерах, в то время как в СССР и России ученые развивали его с целью нахождения области возможных значений результата вычислений с учетом структуры данных и функций, заданных в символьном виде.

Наконец, с 1990-х годов начала изучаться очень важная в практических приложениях задача исследования поведения произвольной недетерминированной функции с интервальными параметрами, являющейся аналогом хорошо известной задачи математического анализа – исследования поведения детерминированной функции средствами дифференциального исчисления [20].

3. Используемые методы

Изложим сначала основную идею предлагаемого метода. Рассмотрим детерминированную функции вида дроби (2), с возможными особыми точками, т.е. точками, в которых знаменатель функции (2) равен нулю. В таких точках, как уже говорилось в п. 1, функция (2) либо не существует, либо не имеет определенного значения. Мы предлагаем метод, позволяющий придать функции (2) одно определенное значение во всех ее точках, включая и особые, тем самым исключается влияние особых точек на характер поведения функции.

Предлагаемый метод состоит в переходе от детерминированной функции (2) к соответствующей недетерминированной – интервальной функции

$$\tilde{f}(x) = \tilde{f}_1(x) / \tilde{f}_2(x) \qquad (3)$$

путем замены всех точно заданных параметров исходной функции соответствующими интервальными параметрами. Эту процедуру естественно назвать *раздетерминизацией*. В результате раздетерминизации все точные значения числителя $y_1 = f_1(x)$ и знаменателя $y_2 = f_2(x)$ исходной функции $f(x)$ переходят в соответствующие интервальные значения $\tilde{y}_1 = \tilde{f}_1(x), \tilde{y}_2 = \tilde{f}_2(x)$, где $\tilde{y}_1$, $\tilde{y}_2$ – интервалы $\tilde{y}_1 = [y_{11}, y_{12}]$, $\tilde{y}_2 = [y_{21}, y_{22}]$, а все точные значения самой исходной функции $y = f(x)$ – в соответствующие интервальные значения этой функции $\tilde{y} = \tilde{f}(x)$, где $\tilde{y} = [y_1, y_2]$. При этом все особые точки исходной функции после раздетерминизации можно исключить из рассмотрения. Действительно, в каждой такой точке знаменатель $f_2(x)$ исходной функции равен нулю, но раздетерминизируемый знаменатель $\tilde{f}_2(x)$ в этой точке равен уже не нулю, а интервалу, содержащему нуль. Деление на такой интервал в интервальной математике не рассматривается и предполагается невозможным [3]. Однако это ошибочная точка зрения, поскольку, если вырезать из интервала малый подынтервал, содержащий нуль, то оставшаяся, большая часть интервала уже не будет содержать нуля и деление на такой интервал по методологии интервальной математики окажется вполне возможным. Таким образом, использование метода раздетерминизации исходной детерминированной функции(2) в сочетании с вырезанием нуля из интервала возможных значений раздетерминизируемого знаменателя этой функции позволяет ликвидировать все особые точки исходной функции (2) и применить к изучению поведения этой функции обычные методы изучения поведения интервальной функции [3, 11, 14, 19, 20].

Разумеется, предлагаемый нами метод изучения поведения детерминированной функции, содержащей особые точки, является приближенным, поскольку при вырезании интервала, содержащего нуль, отбрасывается часть возможных значений подфункции – знаменателя изучаемой функции. Однако погрешность такого приближения может быть сделана как угодно малой путем уменьшения ширины вырезаемого интервала.

Опишем теперь метод раздетерминизации подробнее. Как известно из интервальной математики [3], любая операция над интервалами определяется как теоретико-множественное обобщение соответствующей операции над точными вещественными числами. Т.е. если a, b – точные вещественные числа, $\tilde{a} = [a_1, a_2]$, $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ – интервалы, $\bullet$ – операция над точными вещественными числами, а $\circ$ – соответствующая операция над интервалами, то по определению получаем

$$\tilde{a} \circ \tilde{b} \equiv [a_1, a_2] \circ [b_1, b_2] \equiv \{a \cdot b \,|\, a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}. \qquad (4)$$

Также получаем формулу для операции деления двух интервалов

$$\tilde{a}/\tilde{b} \equiv [a_1,a_2]/[b_1,b_2] \equiv \{a/b \,|\, a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\},\ 0 \notin \tilde{b}\ . \qquad (5)$$

Дополнительное требование относительно нуля в этой формуле связано с невозможностью деления вещественного числа на нуль. Учитывая, что операция деления вещественных чисел обратна операции умножения, формулу (5) можно переписать в терминах операции умножения

$$\tilde{a}/\tilde{b} \equiv [a_1,a_2]/[b_1,b_2] \equiv [a_1,a_2]\cdot[1/b_1,1/b_2],\ 0 \notin \tilde{b}\ . \qquad (6)$$

А операция умножения интервалов, как известно из [3], выполняется по формуле такого вида

$$\tilde{c}\cdot\tilde{d} \equiv [c_1,c_2]\cdot[d_1,d_2] = [\min_{i,j}(c_i\cdot d_j), \max_{i,j}(c_i\cdot d_j)]. \qquad (7)$$

Соединяя формулы (6), (7), получаем окончательную формулу для операции деления двух интервалов

$$\tilde{a}/\tilde{b} \equiv [a_1,a_2]/[b_1,b_2] = [\min_{i,j}(a_i/b_j), \max_{i,j}(a_i/b_j)],\ 0 \notin \tilde{b}\ . \qquad (8)$$

Эта формула, однако, пригодна для выполнения операции деления двух интервалов только в тех случаях, когда интервал-делитель $\tilde{b}=[b_1,b_2]$ не содержит нуля. А что делать, если он содержит нуль? Интервальная математика не отвечает на этот вопрос [3].

Мы предлагаем следующий ответ на него. Будем считать, что интервал-делитель содержит нуль внутри себя (а не на одном из концов). Вырежем из интервала-делителя $\tilde{b}=[b_1,b_2]$ в формуле (8) деления двух интервалов некоторый достаточно малый подынтервал $\tilde{b}^*=[b_1',b_2']$, содержащий нуль, тем самым заменив интервал $\tilde{b}$ биинтервалом

$$\tilde{b}''' = \tilde{b}/\tilde{b}^* = \tilde{b}'\cup\tilde{b}'', \qquad (9)$$

где $\tilde{b}'=[b_1,b_1']$, $\tilde{b}''=[b_2',b_2]$ (см. рис. 1).

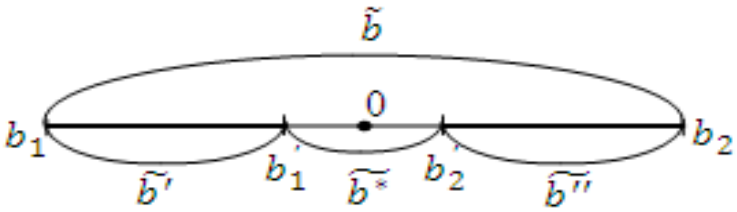


Рис. 1.

Произведенную выше операцию естественно назвать операцией вырезания подынтервала из указанного интервала. Объективный смысл этой операции – это приближение исходного интервала $\tilde{b}=[b_1,b_2]$ биинтервалом (объединением двух непересекающихся интервалов) вида $\tilde{b}'\cup\tilde{b}''$, выражающимся по формуле (9), таким образом, чтобы полученный биинтервал не содержал неприемлемого для нас множества точек. В данном случае это

множество точек – интервал $\tilde{b}^{*}=[b_1',b_2']$, содержащий нуль. Таким образом, если мы хотим разделить интервал $\tilde{a}=[a_1,a_2]$ на интервал $\tilde{b}=[b_1,b_2]$, содержащий нуль, надо заменить в общей формуле деления (5) интервал $\tilde{b}$ биинтервалом $\tilde{b}'''$ вида (9), не содержащим нуль. Явный вид этой формулы найдем, используя общий принцип теоретико-множественного обобщения операций над точными вещественными числами (4). Имеем

$$\tilde{a}/\tilde{b}\approx\tilde{a}/(\tilde{b}\setminus\tilde{b}^{*})=\tilde{a}/(\tilde{b}'/\tilde{b}'')=\{a/b\,|\,a\in\tilde{a},b\in\tilde{b}'\cup\tilde{b}''\}=\{(a/b')\cup(a/b'')|a\in\tilde{a},$$

$$b'\in\tilde{b}',b''\in\tilde{b}''\}=\{a/b'|a\in\tilde{a},b'\in\tilde{b}'\}\cup\{a/b''|a\in\tilde{a},b''\in\tilde{b}''\}=(\tilde{a}/\tilde{b}')\cup(\tilde{a}/\tilde{b}'').$$

Итак, деление интервала $\tilde{a}$ на интервал $\tilde{b}$, содержащий нуль, можно выполнить по приближенной формуле

$$\tilde{a}/\tilde{b}=(\tilde{a}/\tilde{b}')\cup(\tilde{a}/\tilde{b}''), \qquad (10)$$

где $\tilde{b}'$ и $\tilde{b}''$ – подынтервалы интервала $\tilde{b}$, не содержащие нуля, объединение которых приближенно равно $\tilde{b}$ (рис. 1). Поскольку $\tilde{b}'$ и $\tilde{b}''$ не содержат нуля, обе скобки в правой части (10) можно вычислять по формуле (8). В развернутом виде формула (10) переписывается как

$$[a_1,a_2]/[b_1,b_2]\equiv[a_1,a_2]/[b_1,b_1']\cup[a_1,a_2]/[b_2',b_2]. \qquad (11)$$

4. Рабочие формулы деления интервала на интервал, содержащий нуль

Общую формулу (10) деления на интервал, содержащий нуль, или эквивалентную ей формулу (11) можно значительно упростить и конкретизировать, рассмотрев возможные типы области делимого $\tilde{a}=[a_1,a_2]$ (рис. 2). В процессе упрощения используем соотношения для делителя $\tilde{b}=[b_1,b_2]$ (рис. 1)

$$\underbrace{b_1<b_1'}_{<0}<\underbrace{b_2'<b_2'}_{>0}. \qquad (12)$$

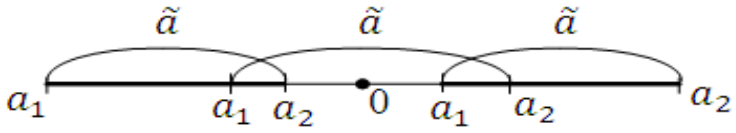


Рис. 2.

Случай 1:

$$\tilde{a}=[a_1,a_2]\geq 0. \qquad (13)$$

В этом случае, вычисляя скобки в правой части формулы (10) по формуле (8), найдем формулу деления интервала $\tilde{a}=[a_1,a_2]$ на интервал $\tilde{b}=[b_1,b_2]$, содержащий нуль, в виде биинтервала

$$\tilde{a}/\tilde{b}=[\underbrace{a_2/b_1',a_1/b_1}_{<0}]\cup[\underbrace{a_1/b_2,a_2/b_2'}_{>0}],\ \text{при}\ \tilde{a}=[a_1,a_2]\geq 0. \qquad (14)$$

Случай 2:

$$\tilde{a} = [a_1, a_2] \le 0. \qquad (15)$$

Здесь, вычисляя аналогично предыдущему скобки в правой части формулы (10) по формуле (8), получим формулу деления интервала $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ на интервал $\tilde{b} = [b_1, b_2]$, содержащий нуль, в виде биинтервала

$$\tilde{a} / \tilde{b} = [\underbrace{a_1 / b_2', a_2 / b_2}_{<0}] \cup [\underbrace{a_2 / b_1, a_1 / b_1'}_{>0}], \text{ при } \tilde{a} = [a_1, a_2] \le 0. \qquad (16)$$

Случай 3:

$$\tilde{a} = [a_1, a_2] \text{ такой, что } a_1 < 0 < a_2. \qquad (17)$$

В этом случае, вычисляя аналогично предыдущему скобки в правой части (10) по формуле (8), получим формулу деления интервала $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ на интервал $\tilde{b} = [b_1, b_2]$, содержащий нуль, сначала в виде объединения 4 интервалов

$$\tilde{a} / \tilde{b} = (\tilde{a} / \tilde{b}') \cup (\tilde{a} / \tilde{b}'') = [a_1, a_2] / [b_1, b_1'] \cup [a_1, a_2] / [b_2', b_2] = [a_1, 0] / [b_1, b_1'] \cup$$

$$\cup [0, a_2] / [b_1, b_1'] \cup [a_1, 0] / [b_2', b_2] \cup [0, a_2] / [b_2', b_2] = \underline{[0, a_1 / b_1']} \cup \underline{\underline{[a_2 / b_1', 0]}} \cup \underline{[a_1 / b_2', 0]} \cup \underline{\underline{[0, a_2 / b_2']}},$$

далее, после объединения одинаково подчеркнутых интервалов, в виде объединения 2 интервалов

$$\tilde{a} / \tilde{b} = [\underbrace{a_1 / b_2'}_{<0}, \underbrace{a_1 / b_1'}_{>0}] \cup [\underbrace{a_2 / b_1'}_{<0}, \underbrace{a_2 / b_2'}_{>0}],$$

и, наконец, используя операции непрерывной логики

$$\wedge = \min, \ \vee = \max, \qquad (18)$$

в виде одного интервала

$$\tilde{a} / \tilde{b} = [a_1 / b_2' \wedge a_2 / b_1', a_1 / b_1' \vee a_2 / b_2']. \qquad (19)$$

5. Случай деления интервалов, симметричных относительно нуля

Особый практический интерес представляет один подслучай случая 3, когда оба интервала – делимое $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ и делитель $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ – расположены симметрично относительно нуля, в соответствии с чем естественно и вырезаемый из интервала $\tilde{b}$ подынтервал $\tilde{b}^* = [b_1', b_2']$ сделать симметричным относительно нуля. Тогда условия симметричности интервалов относительно нуля

$$a_2 = -a_1, \ b_2 = -b_1, \ b_2' = -b_1'. \qquad (20)$$

Подставляя соотношения (20) в формулу (19), найдем

$$\tilde{a} / \tilde{b} = [a_1, a_2] / ([b_1, b_1'] \cup [b_2', b_2]) = [\underbrace{(-a_2 / b_2') \wedge (a_2 / -b_2')}_{<0}, \underbrace{(-a_2 / -b_2') \vee (a_2 / b_2')}_{>0}].$$

Окончательно

$$\tilde{a} / \tilde{b} = [a_1, a_2] / ([b_1, b_1'] \cup [b_2', b_2]) = [-a_2 / b_2', a_2 / b_2')]. \qquad (21)$$

Как видно из (21), деление интервальных чисел, симметричных относительно нуля, дает интервальное число, симметричное относительно нуля.

Интерпретацию формулы (21) легко дать, учитывая, что a_2 – это полуширина интервала делимого $\tilde{a}=[a_1,a_2]$, а b_2' – полуширина интервала – выреза $\tilde{b}^*=[b_1',b_2']$ в интервале-делителе $\tilde{b}=[b_1,b_2]$, обеспечивающего отсутствие в этом интервале нуля и тем самым – возможность деления интервала $\tilde{a}$ на интервал $\tilde{b}$. Таким образом, смысл формулы (21) таков: частное от деления интервала $\tilde{a}$ на интервал $\tilde{b}$, содержащий нуль (в случае, если эти интервалы симметричны относительно нуля, как и вырез в интервале $\tilde{b}$, обеспечивающий отсутствие в нем нуля), равно интервалу (также симметричному относительно нуля), левая граница которого равна частному от деления ширины интервала-делимого $\tilde{a}$ на ширину интервала-выреза $\tilde{b}^*$, взятому со знаком минус, а правая граница – этому же частному, взятому со знаком плюс.

Формуле (21) можно придать более ясную форму, в которой числитель и знаменатель вычисляемой интервальной дроби представлены в явном виде. Для этого обозначим ширину интервала-делимого $\tilde{a}$ через a, ширину интервала-делителя $\tilde{b}$ через b, ширину интервала-выреза $\tilde{b}^*$ через b^*. Далее, обозначим через β долю ширины выреза b^* от ширины b всего интервала, в котором этот вырез производится $(0<\beta<1)$ (коэффициент вырезания). Тогда величины в правой части (21) выражаются в виде

$$a_2=a/2,\ b_2'=b^*/2=\beta b/2,$$

и формула (21) принимает искомую форму

$$\tilde{a}/\tilde{b}=[-0{,}5a,\ 0{,}5a]/[-0{,}5b,\ 0{,}5b]=[-a/\beta b,\ a/\beta b]. \qquad (22)$$

Коэффициент β в формуле (22) должен выбираться достаточно близким к нулю, поскольку чем он ближе к нулю, тем точность приближенной формулы (22) выше.

Пример 1. Вычислить дробь $[-2,2]/[-5,5]$, полученную делением двух интервальных чисел, симметричных относительно нуля. Примем коэффициент вырезания $\beta=0{,}1$. Далее, учтем, что в нашем случае ширина интервала-делимого равна $a=2-(-2)=4$, а ширина интервала-делителя $b=5-(-5)=10$, тогда по формуле (22) получим

$$[-2,2]/[-5/5]=[-4/(0{,}1\cdot 10),4/(0{,}1\cdot 10)]=[-4/4].$$

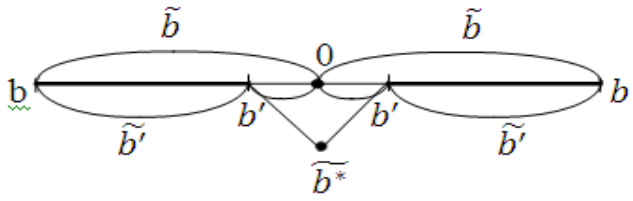
Как и следовало ожидать, результатом деления оказалось также интервальное число, симметричное относительно нуля.

6. Случай деления интервала на интервал с нулем на конце

В п. 3, 4, 5 мы рассмотрели случай, когда интервал-делитель содержит нуль внутри себя. В случае, когда нуль находится на одном из концов интервала-делителя, формулы деления интервалов изменяются. Это связано с тем, что в этом случае интервал-делитель $\tilde{b}=[b_1,b_2]$ приобретает одну из двух

конкретных форм, отличных от ранее рассмотренной формы, указанной на рис. 1, и эти две формы таковы

$$1)\ \tilde{b}=[0,b] \text{ или } 2)\ \tilde{b}=[b,0]. \qquad (23)$$



форма 2 форма 1

Рис. 3.

Они показаны на рис. 3. Последующий вывод рабочих формул деления интервала $\tilde{a}=[a_1,a_2]$ на интервал $\tilde{b}$ проведем отдельно для каждого возможного сочетания типа интервала $\tilde{a}$ и типа интервала $\tilde{b}$.

Исходная приближенная формула для выполнения операции деления интервала $\tilde{a}$ на интервал $\tilde{b}$ такова

$$\tilde{a}/\tilde{b}=\tilde{a}/(\tilde{b}\setminus\tilde{b}^*). \qquad (24)$$

Формула (24) имеет для рассматриваемого здесь случая тот же смысл, что и формула (10) для случая нахождения нуля внутри интервала-делителя. Вывод рабочих формул деления начнем со случая формы 1 интервала-делителя $\tilde{b}$ (см. рис. 3). В этом случае скобка в формуле (24) равна

$$(\tilde{b}\setminus\tilde{b}^*)=[0,b]\setminus[0,b']=[b,b'], \text{ где } 0<b'<b. \qquad (25)$$

Как видно из (25), интервал-делитель в правой части формулы (24) не содержит нуля. Поэтому деление в этой формуле можно выполнять по формуле (8). Получение соответствующих рабочих формул проведем отдельно для возможных трех типов интервала-делимого $\tilde{a}=[a_1,a_2]$.

1) $\tilde{a}=[a_1,a_2]\geq 0$. Тога по формуле (8) получаем из формулы (24) следующую рабочую формулу

$$\tilde{a}/\tilde{b}=\tilde{a}/(\tilde{b}\setminus\tilde{b}^*)=[a_1,a_2]/[b',b]=[a_1/b,a_2/b']=[a_1/b,a_2/\beta b], \qquad (26)$$

где $\beta=b'/b$ – коэффициент ширины выреза b' в интервале-делителе $\tilde{b}$;

2) $\tilde{a}=[a_1,a_2]\leq 0$. Тогда по формуле (8) получаем из формулы (24) такую рабочую формулу

$$\tilde{a}/\tilde{b}=\tilde{a}/(\tilde{b}\setminus\tilde{b}^*)=[a_1,a_2]/[b',b]=[a_1/b',a_2/b]=[a_1/\beta b,a_2/b], \qquad (27)$$

где β – тот же коэффициент.

3) $\tilde{a}=[a_1,a_2]$ такой, что $a_1<0<a_2$. Тогда из формулы (24) по формуле (8) получаем следующую рабочую формулу

$$\tilde{a}/\tilde{b}=\tilde{a}/(\tilde{b}\setminus\tilde{b}^*)=[a_1,a_2]/[b',b]=[a_1/b',a_2/b']=[a_1/\beta b,a_2/\beta b], \qquad (28)$$

где β – тот же коэффициент.

Теперь проделаем ту же процедуру для случая формы 2 интервала-делителя $\tilde{b}$ (см. рис. 3).

В этом случае скобка в формуле (24) равна

$$(\tilde{b} \setminus \tilde{b}^*) = [b,0] \setminus [b',0] = [b,b'], \text{ где } b < b' < 0. \quad (29)$$

Как видно из (29), интервал-делитель в правой части формулы (24) и в этом случае не содержит нуля. Поэтому деление и здесь можно выполнять по формуле (8). Как и в случае формы 1 интервала-делителя $\tilde{b}$, рассматриваем возможные три типа интервала-делимого $\tilde{a} = [a_1, a_2]$.

1) $\tilde{a} = [a_1, a_2] \geq 0$. По формуле (8) из формулы (24) получаем следующую рабочую формулу

$$\tilde{a} / \tilde{b} = \tilde{a} / (\tilde{b} \setminus \tilde{b}^*) = [a_1, a_2] / [b, b'] = [a_2 / b', a_1 / b] = [a_2 / \beta b, a_1 / b], \quad (30)$$

где $\beta = b' / b$ – коэффициент ширины выреза b' в интервале-делителе $\tilde{b}$;

2) $\tilde{a} = [a_1, a_2] \leq 0$. По формуле (8) из (24) получаем такую рабочую формулу

$$\tilde{a} / \tilde{b} = \tilde{a} / (\tilde{b} \setminus \tilde{b}^*) = [a_1, a_2] / [b, b'] = [a_2 / b, a_1 / b'] = [a_2 / b, a_1 / \beta b], \quad (31)$$

где β – тот же коэффициент:

3) $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ такой, что $a_1 < 0 < a_2$. По формуле (8) получаем из (24) такую рабочую формулу

$$\tilde{a} / \tilde{b} = \tilde{a} / (\tilde{b} \setminus \tilde{b}^*) = [a_1, a_2] / [b, b'] = [a_2 / b', a_1 / b'] = [a_2 / \beta b, a_1 / \beta b], \quad (32)$$

где β – тот же коэффициент.

Сравнение рабочих формул деления интервалов (26) с (30), (27) с (31) и (28) с (32) показывает, что эти двойственные формулы (в них интервал-делимое $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ одного и того же типа, а интервал-делитель $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ противоположного типа) различаются лишь тем, что выражение для нижней границы результата деления в одной формуле является выражением для верхней границы результата деления в другой формуле и наоборот.

7. Алгоритм решения поставленных задач

Обратимся к двум задачам, поставленным в п. 1. Будем решать эти задачи в условиях, когда обычные методы математического анализа, основанные на понятии предельного перехода в особую точку, не работают, ввиду отсутствия предела, так что получить решение невозможно даже для простейших особых точек – вида $0/0$. Поэтому для получения решения используем здесь принципиально иной подход, основанный на интервальной раздетерминизации, т.е. переходе от исходной детерминированной функции к соответствующей недетерминированной – интервальной путем замены детерминированных параметров исходной функции соответствующими интервальными параметрами. В полученной таким образом интервальной функции особым точкам вида $0/0$ и $a/0$ $(a \neq 0)$ исходной детерминированной функции соответствуют особые интервальные точки вида $\tilde{0}/\tilde{0}$ и $\tilde{a}/\tilde{0}$ ($\tilde{0}$ – интервал, содержащий 0, $\tilde{a}$ – интервал, не содержащий 0). После этого для решения задачи расчета функции следует вычислить значения функции во всех ее интервальных неособых точках, используя общеизвестные методы вычисления интервальных функций [3], и во всех интервальных особых точках, используя

изложенные выше специальные методы вычислений. После этого совокупность проведенных вычислений с помощью предложенных ранее методов анализа [20] позволит выполнить анализ поведения имеющейся функции. Из всех указанных процедур новыми являются только процедуры вычисления интервальных функций в интервальных особых точках с помощью специальных методов вычислений, изложенных выше в пп.4, 5, 6. Поэтому ниже мы ограничимся демонстрацией выполнения только этих процедур при решении прикладных задач.

Пример 2. Найти решение следующей детерминированной системы линейных уравнений

$$\left.\begin{aligned} 3x_1 + 4x_2 = 5 \\ 3x_1 + 4x_2 = 6 \end{aligned}\right\}. \qquad (33)$$

Сразу видно, что в заданной детерминированной постановке система уравнений (33) не имеет решений, поскольку при равенстве левых частей обоих уравнений их правые части различны, так что эти уравнения противоречивы. О том же говорит и алгебра: определитель системы (33)

$$D = \begin{vmatrix} 3 & 4 \\ 3 & 4 \end{vmatrix} = 3 \cdot 4 - 3 \cdot 4 = 0,$$

т.е. равен нулю, а производные от него определители D_1, D_2, полученные заменой 1-го и 2-го столбцов столбцом свободных членов,

$$D_1 = \begin{vmatrix} 5 & 4 \\ 6 & 4 \end{vmatrix} = 5 \cdot 4 - 6 \cdot 4 = -4, \; D = \begin{vmatrix} 3 & 5 \\ 3 & 6 \end{vmatrix} = 3 \cdot 6 - 3 \cdot 5 = 3,$$

не равны 0, так что система (33) несовместна, т.е. не имеет решений. Однако система (33) вполне реалистична и может, например, представлять собой результат повторных измерений одного и того же объекта, т.е. процесс последовательного накопления информации в некотором реальном объекте. Поэтому система уравнений (33) может иметь реальное решение, если постановку задачи изменить, приблизив ее к реальности. Этим изменением может быть более близкая к реальности совокупность недетерминированных (интервальных) коэффициентов уравнений, например, такая: вместо $3 \to [2,4]$, вместо $4 \to [3,5]$, вместо $5 \to [4,6]$, вместо $6 \to [5,7]$. Тогда система (33) запишется в виде

$$\left.\begin{aligned} [2,4]\tilde{x}_1 + [3,5]\tilde{x}_2 = [4,6] \\ [2,4]\tilde{x}_1 + [3,5]\tilde{x}_2 = [5,7] \end{aligned}\right\}. \qquad (34)$$

Под решением интервальной линейной системы уравнений (34) будем понимать интервальную версию выражений Крамера для решения этой системы (33), т.е.

$$\tilde{x}_1 = \left(\begin{vmatrix} [4,6] & [3,5] \\ [5,7] & [3,5] \end{vmatrix}\right) \Big/ \left(\begin{vmatrix} [2,4] & [3,5] \\ [2,4] & [3,5] \end{vmatrix}\right),$$

$$\tilde{x}_2 = \left(\begin{vmatrix} [2,4] & [4,6] \\ [2,4] & [5,7] \end{vmatrix}\right) \Big/ \left(\begin{vmatrix} [2,4] & [3,5] \\ [2,4] & [3,5] \end{vmatrix}\right). \qquad (35)$$

С использованием общих методов вычисления интервальной функции [3] вычисляем определители в правых частях (35)

$$\begin{vmatrix}[2,4] & [3,5]\\ [2,4] & [3,5]\end{vmatrix} = [2,4]\cdot[3,5]-[2,4]\cdot[3,5] = [2\cdot 3,4\cdot 5]-[2\cdot 3,4\cdot 5] =$$
$$= [6,20]-[6,20] = [-14,14];$$
$$\begin{vmatrix}[4,6] & [3,5]\\ [5,7] & [3,5]\end{vmatrix} = [4,6]\cdot[3,5]-[5,7]\cdot[3,5] = [4\cdot 3,6\cdot 5]-[5\cdot 3,7\cdot 5] =$$
$$= [12,30]-[15,35] = [\text{-}23,15];$$
$$\begin{vmatrix}[2,4] & [4,6]\\ [2,4] & [5,7]\end{vmatrix} = [2,4]\cdot[5,7]-[2,4]\cdot[4,6] = [2\cdot 5,4\cdot 7]-[2\cdot 4,4\cdot 6] =$$
$$= [10,28]-[8,24] = [-14,20].$$

Подставляя вычисленные определители в выражения (35) для $\tilde{x}_1$, $\tilde{x}_2$, используя формулу (19) для деления интервалов, содержащих нуль, и учитывая, что в выражении для $\tilde{x}_1$ у делимого $a_1 = -23$, $a_2 = 15$, в выражении для $\tilde{x}_2$ у делимого $a_1 = -14$, $a_2 = 20$ и в обоих выражениях ширина делителя имеет значение $b_2 - b_1 = 14-(-14) = 28$, принимая ширину выреза нуля в 10% от ширины делителя и симметрично относительно нуля, т.е. $b_2' - b_1' = \beta(b_2 - b_1) = 0{,}1\cdot 28 = 2{,}8$, так что $b_1' = -1{,}4$, а $b_2' = 1{,}4$, находим значения $\tilde{x}_1$, $\tilde{x}_2$:

$$\tilde{x}_1 = [-23,15]/[-14,14] = [(-23/1,4)\wedge(15/-1,4),(-23/-1,4)\vee(15/1,4)] =$$
$$= [-16,4;16,4];$$
$$\tilde{x}_2 = [-14,20]/[-14,14] = [(-14/1,4)\wedge(20/-1,4),(-14/-1,4)\vee(20/1,4)] =$$
$$= [-14,3;14,3]. \qquad (36)$$

Мы видим, что система линейных уравнений, которая в детерминированном варианте (33) не имела решения, после интервальной раздетерминизации приобретает форму (34), которая уже имеет решение (36).

8. Обсуждение

Выше мы убедились в том, что предложенная процедура раздетерминизации, т.е. переход от модели детерминированной системы к модели недетерминированной интервальной системы придает изучаемой системе новое важное свойство: в точках, в которых знаменатель функции-характеристики прежней системы обращался в нуль (особые точки), из-за чего характеристика в этих точках не существовала, знаменатель функции-характеристики новой системы равен интервалу, включающему кроме нуля, бесконечное множество ненулевых значений, что делает возможным существование характеристики системы и в особых точках. Благодаря этому свойству предложенная очень простая процедура раздетерминизации, заключающаяся в замене детерминированных параметров характеристики изучаемой системы соответствующими интервальными параметрами позволяет изучать исчерпывающим образом системы, характеристики которых в базовой детерминированной модели не везде существуют. Примерами таких систем могут служить разнообразные неклассические информационные системы, используемые в телеметрии, надежности, гуманитарной сфере и т.д. Их

особенность заключается в том, что они не могут быть описаны средствами классической детерминированной математики. Поэтому для их адекватного описания нужно либо придумать новый, адекватный проблеме математический аппарат, либо придумать новую математическую модель системы, поддающуюся адекватному описанию средствами какого-нибудь известного математического аппарата. Примером первого подхода может служить предложенный для описания гуманитарных систем аппарат нечетких множеств [2]. Примером второго подхода служит предложенный в этой статье раздетерминизационный подход.

9. Заключение

В работе предложен метод раздетерминизации для решения проблемы вычисления детерминированных функций, имеющих так называемые особые точки, в которых определенного значения у функции не существует. Предложенный метод состоит в переходе от проблемной детерминированной функции к соответствующей недетерминированной (интервальной) функции путем замены детерминированных параметров функции соответствующими интервальными параметрами. Благодаря этому значения функции в особых точках становятся вполне определенными интервальными значениями, что и позволяет решить проблему. Решение проблемы достигается легализацией деления на нуль путем интервализации вычислений. Предложенный подход к решению проблемы вычисления функций с особыми точками имеет важное значение для некоторых классов прикладных систем, в которых эта проблема существует. Такие системы встречаются в телеметрии, надежности, гуманитарной сфере и некоторых других областях, в которых не всегда применимы классические методы детерминистской математики. Это и заставляет искать новые подходы к решению возникающих здесь задач.

Литература

1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. М.: Наука, 2004. 350 с.

2. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

3. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. М.: Мир, 1987. 360 с.

4. Горбань И. И. Феномен статистической устойчивости. Киев: Наукова Думка, 2014. 370 с.

5. Wiener N. Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. – New-York: Technology Press and Wiley, 1949. 180 p.

6. Колмогоров А.Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Известия АН СССР. Серия: математика. 1941. № 5. С. 3–14.

7. Канторович Л. В. О некоторых новых подходах к вычислительным методам и обработке наблюдений // Сибирский математический журнал. 1962. Т. 3. № 5. С. 3–14.

8. Налимов В. В., Чернова Н. А. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 320 с.

9. Нариньяни А. С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1986. № 5. С. 3–28.

10. Hyvonen E. Constraint Reasoning Based on Interval Arithmetic: the Tolerance Propagation Approach // Artificial Intelligence. 1992. Vol. 58. P. 19.

11. Вощинин А. П., Сотиров Г. Р. Оптимизация в условиях неопределенности. М.: МЭИ София: Техника, 1989. 226 с.

12. Вощинин А. П., Бочков А. Ф., Сотиров Г. Р. Интервальный анализ данных // Заводская лаборатория. 1990. № 7. С. 76–81.

13. Куржанский А. Б. Задача идентификации – теория гарантированных оценок // Автоматика и телемеханика. 1991. № 4. С. 75–89.

14. Левин В. И. Дискретная оптимизация в условиях неопределенности // Автоматика и телемеханика. 1992. № 77. С. 97–106.

15. Левин В. И. Булево линейное программирование с интервальными коэффициентами // Автоматика и телемеханика. 1994 № 7. С. 111–122.

16. Левин В. И. Интервальное дискретное программирование // Кибернетика и системный анализ. 1994. № 6. С. 92–103.

17. Левин В. И. Нелинейная оптимизация в условиях интервальной неопределенности // Кибернетика и системный анализ. 1999. № 2. С. 138–146.

18. Левин В. И. Методы оптимизации систем в условиях интервальной неопределенности параметров // Информационные технологии. 2012. № 4. С. 52–59.

19. Левин В. И. Методология оптимизации в условиях неопределенности методом детерминизации // Информационные технологии. 2014. № 5. С. 14–21.

20. Левин В.И. Анализ поведения неточно заданных функций с помощью интервально-дифференциального исчисления // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 3. С. 163–170.

References

1. Gnedenko B. V. *Kurs teorii veroiatnostei* [Probability theory]. Moscow, Nauka Publ., 2004. 350 p. (in Russian).

2. Zadeh L. A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. *Information Sciences*, 1975, no. 8, pp. 199–249, 301–357; no. 9, pp. 43–80.

3. Alefeld G., Herzberger J. *Introduction to Interval Computation*. New-York, Academic Press, 1983. 352 p.

4. Gorban I. I. *Fenomen statisticheskoi ustoichivosti* [The phenomenon of statistical stability]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2014. 370 p. (in Russian).

5. Wiener N. *Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series*. New-York, Technology Press and Wiley, 1949. 180 p.

6. Kolmogorov A. N. Interpolirovanie i ekstrapolirovanie statsionarnykh sluchainykh posledovatel'nostei [Interpolation and extrapolation of stationary random sequences]. *Mathematics of the USSR - Izvestiya*, 1941, no. 5,. pp. 3–14.

7. Kantorovich L. V. O nekotorykh novykh podkhodakh k vychislitel'nym metodam i obrabotke nabliudenii [Some new approaches to computational methods and treatment of observations]. *Siberian Mathematical Journal*, 1962, vol. 3, no. 5,. pp. 3–14 (in Russian).

8. Nalimov V. V., Chernova N. A. Teoriia eksperimenta [The theory of the experiment]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 320 p. (in Russian).

9. Narin'iani A. S. Nedoopredelennost' v sisteme predstavleniia i obrabotki znanii [Nudepreteens in the system of representation and processing of knowledge]. *Izvestiia AN SSSR. Tekhnicheskaia kibernetika*. 1986. № 5. pp. 3–28 (in Russian).

10. Hyvonen E. Constraint Reasoning Based on Interval Arithmetic: the Tolerance Propagation Approach. *Artificial Intelligence*, 1992, vol. 58, p. 19.

11. Voshchinin A. P., Sotirov G. R. *Optimizatsiia v usloviiakh neopredelennosti* [Optimization under uncertainty]. Moscow, MEI Publ., 1989, 224 p (in Russian).

12. Voshchinin A. P., Bochkov A. F., Sotirov G. R. Interval'nyi analiz dannykh [Interval data analysis]. *Zavodskaia laboratoriia*, 1990, no. 7, pp. 76–81 (in Russian).

13. Kurzhanskii A. B. Identification Problem – Theory of Guaranteed Estimates. *Automation and Remote Control*, 1991, vol. 52, no. 4, part 1, pp. 447–465.

14. Levin V. I. Discrete Optimization under Interval Uncertainty. *Automation and Remote Control*, 1992, vol. 53, no. 7. P. 1039–1047.

15. Levin V. I. Boolean Linear Programming with Interval Coefficients. *Automation and Remote Control*, 1994, vol. 55, no. 7. pp. 1019–1028.

16. Levin V. I. Interval Discrete Programming. *Cybernetics and Systems Analysis*, 1994, vol. 30, no. 6, pp. 866–874.

17. Levin V. I. Nonlinear Optimization under Interval Uncertainty. *Cybernetics and Systems Analysis*, 1999, vol. 35, no. 2, pp. 297–306.

18 Levin V. I. Metody optimizatsii sistem v usloviiakh interval'noi neopredelennosti parametrov [Systems Optimization Methods in Conditions of Interval Uncertainty of Parameters]. *Information Technologies*, 2012, no. 4, pp. 52-59 (in Russian).

19. Levin V. I. Metodologiia optimizatsii v usloviiakh neopredelennosti metodom determinizatsii [The Methodology of Optimization in Condition of Uncertainty by Determination Method]. *Information Technologies*, 2013, no. 5, pp. 13-21 (in Russian).

20. Levin V. I. The Analysis of Inexactly Specified Functions by Interval-differential Calculus. *Information Technologies*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 163–170 (in Russian).

Статья поступила 19 июля 2016 г.

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.

Dedetermination as New Approach to Analysis of Functions with Uncertainty in Singular Points

V. I. Levin

Relevance. *In this paper we propose the dedetermination as new method designed to solving a problem of calculation of deterministic functions with the so-called singular points where the function does not take a certain value.* ***Purpose.*** *The aim is to develop an approach that allows for division by zero and thus exclude singular points of functions.* ***Method.*** *The proposed method is to move from problematic (from point of view of calculating) determined function to the corresponding not determined (interval) function by replacing determined function parameters by corresponding interval parameters. Due to this change the values of the function at the singular points will be well-defined interval and values. The latter allows you to solve the problem of calculating the function.* ***Novelty.*** *The solution to this problem is achieved by legalization division by zero by intervalization of calculations. It uses the principle of cutting out a neighborhood of zero in the interval being the denominator of the fraction representing studied function.* ***Result.*** *For the simplified by cutting out interval function the effective formulas are derived based on the main provisions of interval mathematics and make it easy to calculate the value of this function. The proposed in the article approach to the problem of calculating functions with singular points is important for all those classes of systems in which the problem really exists. It is about the systems which functions have any number of specific points. Such systems are found mostly in telemetry, reliability theory and practice, humanitarian and many others areas. The features of these areas is that they do not always apply the classical methods of deterministic mathematics. This leads to search for new approaches to solving problems that arise here.*

Keywords: *interval, interval function, interval calculation, dedetermination, division by zero.*

Information about Author

Vitaly Ilich Levin – Doctor of Technical Sciences, Full Professor. Honoured Scientist of Russia. Penza State Technological University. Field of Research: logic; mathematical modeling in technics, economics, sociology, history; decision making, optimization, recognition, automata theory, reliability theory, history of science, problems of education. E-mail: vilevin@mail.ru

Address: Russia, 440039, Penza, pr. Baydukova / Gagarin st., 1a/11.